

# ÍNDICE DE RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES PARA ARAGÓN

Evelio Álvarez Lamata (1)  
Cristina De La Fuente Jiménez (2)  
María Angela García Ortega (2)

(1) GPV del CMT en Aragón, La Rioja y Navarra. INM.

(2) Estadística. Dirección General del Medio Natural. Diputación General de Aragón.

## RESUMEN

De todos es conocida la importancia, tanto en el ámbito económico como medioambiental, de la lucha contra los incendios forestales. Estos, se producen durante todo el año debido a causas que van desde negligencias, hasta motivos intencionados, pasando por los causados por accidentes de todo tipo. En la Comunidad Autónoma de Aragón, es en los meses centrales del año cuando se produce un aumento sustancial del número de siniestros con origen predominantemente natural. Este aumento viene determinado fundamentalmente por unas condiciones meteorológicas adversas, caracterizadas por altas temperaturas, bajas humedades relativas, abundante número de rayos y, en ocasiones, con episodios de viento fuerte.

### 1. Introducción

Dada la infraestructura ya existente en la Comunidad Autónoma, tanto a nivel organizativo como material y humano para la lucha contra los incendios, se creyó conveniente implementar una herramienta de predicción con funciones de alerta temprana, sobre condiciones meteorológicas adversas desde el punto de vista de la ignición y propagación de los incendios forestales en zonas diferenciadas del territorio aragonés. Con este objetivo se llegó a la firma de un Acuerdo entre la Dirección General del Medio Natural de la Diputación General de Aragón y la Dirección General del Instituto Nacional de Meteorología para la elaboración, validación y puesta en operación de un nuevo Índice combinado de riesgo de incendios forestales.

Los trabajos comenzaron en noviembre de 1996 y durante las campañas estivales de 1998 y 1999 ha estado en fase preoperacional de validación. Diariamente, hacia las 8 horas oficiales, se envía la información al Centro de Emergencias (SOS Aragón) a través de un enlace informático, desde el que se distribuye a las distintas dependencias con responsabilidades en la lucha contra incendios. A su vez, en el Centro Meteorológico, se recibe diariamente la información de retorno sobre los incendios detectados el día anterior. Esta información permite realizar un seguimiento del índice en tiempo real e incorporar sucesivas mejoras al ir ajustando los resultados.

### 2. Estudios previos

El punto de partida lo constituye la base de datos de estadística de incendios forestales de Aragón, proporcionada por la Dirección General del Medio Natural de la Diputación General de Aragón, que comprende información sobre localización, causa, superficie afectada, día y hora de detección, entre otras características de los incendios ocurridos. Se ha considerado el período de 1983 a 1996, incluyendo únicamente los meses de mayo a octubre, de mayor riesgo de incendios forestales. Los datos de esta base se han cruzado con los de la base climatológica (precipitación, temperatura, etc.) existente en el Centro Meteorológico, realizándose el estudio estadístico de las variables relacionadas al nivel de término municipal.

Los resultados de los primeros análisis pusieron de manifiesto la heterogeneidad del territorio aragonés a efectos de incendios, lo que condujo a una zonificación de la Comunidad, por regiones afines. Las variables discriminantes de las distintas zonas resultaron ser latitud, longitud, altitud, número de incendios, proporción de superficie forestal y proporción de superficie forestal arbolada. Un análisis

estadístico, mediante técnicas de agrupamiento, permitió diferenciar nueve zonas, sometidas a la aprobación de los técnicos forestales usuarios del índice (Figura 1).

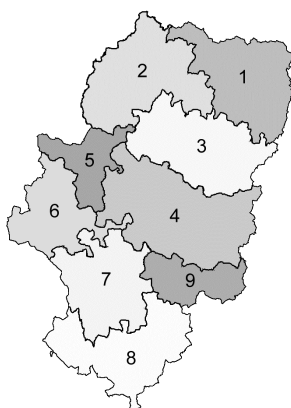


Figura 1: Zonificación de Aragón a efectos de incendios.

### 3. Índice combinado de riesgo de incendios forestales

Con el fin de englobar la totalidad de los fenómenos meteorológicos influyentes en el inicio y propagación de los incendios, se decidió elaborar un índice combinado de riesgo de incendios forestales, definido a través de los cuatro resultados parciales siguientes: Índice de Ignición, Factor de Propagación, Índice de Peligrosidad e Imagen de Seguimiento.

#### 3.1 Índice de ignición

El Índice de Ignición trata de determinar las condiciones ambientales que definen las circunstancias propicias para el desencadenamiento de los incendios por cualquiera de las posibles causas. Los resultados del análisis estadístico muestran que las variables más correlacionadas son: la existencia de rayos, la temperatura máxima (tmax), la humedad relativa (humedad) y la cantidad de precipitación recogida en los últimos tres días (acum).

Al ser el rayo la principal causa de incendio en Aragón se realiza en primer lugar una predicción de las tormentas con descargas eléctricas, esperadas para el periodo de validez del índice. Este periodo cubre las 24 horas siguientes, realizándose actualmente los cálculos para las horas 14h, 17h, 20h y 23h oficiales y reteniendo en cada punto geográfico el máximo valor de las cuatro predicciones.

Se parte de las salidas de los dos modelos numéricos de predicción operativos en el Instituto Nacional de Meteorología (HIRLAM-0.5 y HIRLAM-0.2) y los resultados se presentan en una imagen compuesta.

La influencia de las variables anteriores es distinta para cada una de las nueve zonas definidas y ha sido determinada a partir de un análisis de regresión múltiple. Las fórmulas obtenidas mediante este análisis han sido de uno de los dos tipos siguientes:

$$Y=A-B*acum-C*\ln(humedad)+D*(tmax)^2 : [\text{Ecuación 1}]$$

$$Y=A'-B'*acum-C'*humedad+D'*(tmax)^2 : [\text{Ecuación 2}]$$

A su vez, se determina el estado de humedad de la cubierta vegetal, a partir del Índice de Vegetación (NDVI) obtenido mediante imágenes de satélite (TIROS-NOAA). Se utiliza una combinación de dos productos: Diferencias Relativas Semanales de NDVI y Máximo Semanal de NDVI. Para eliminar la superficie no forestal, con el fin de que los cultivos agrícolas no distorsionen los resultados, se ha logrado que la base de datos sobre "usos del suelo" del Ministerio de Agricultura en la zona de Aragón, sea interpretada como un área por el sistema SAIDAS, utilizando dicha imagen como máscara

Estas contribuciones se combinan adecuadamente dando como resultado el Índice de Ignición con una resolución de cuadrícula de 17 por 22 kilómetros, que se presenta plotado sobre el mapa de Aragón.

A efectos de facilitar la interpretación por parte del usuario de cuál es el porcentaje del Índice debido a la

actividad tormentosa, además del valor del Índice de Ignición, en el plotado diario se presenta como fondo el riesgo máximo de tormentas del día, de acuerdo a una escala a pie de página (Figura 2).

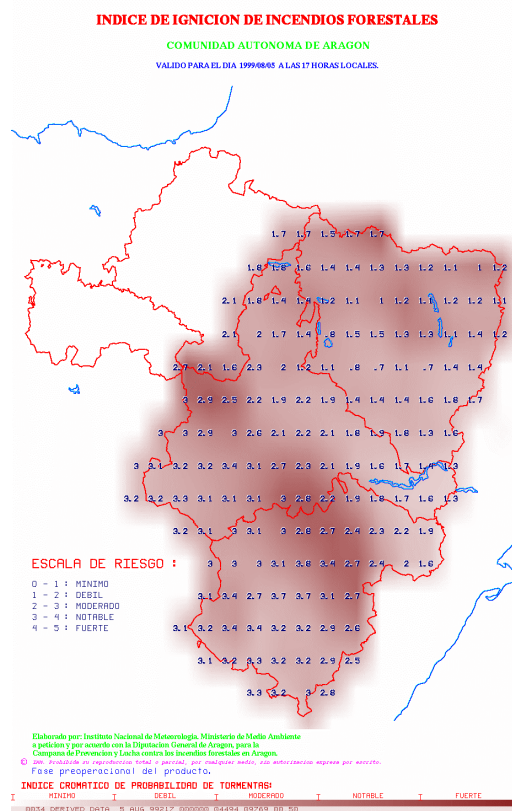


Figura 2: Imagen del Índice de Ignición

Se ha realizado la verificación de las fórmulas con los datos de los incendios registrados en los años 1998 y 1999 en cada una de las zonas. Esta verificación se ha hecho para cada uno de los factores del Índice. Las técnicas estadísticas utilizadas han sido: test de normalidad (test de Shapiro-Wilk), tablas de contingencia y tests de diferencias de medias (test de Kruskal-Wallis y test suponiendo normalidad). Todos estos cálculos se han realizado para cada una de las zonas obteniéndose resultados similares. A continuación se presentan, como ejemplo, los resultados obtenidos para la zona de Teruel.

Tabla 1.: De contingencia - ÍNDICE / OCURRENCIA DE INCENDIOS

	NO	SÍ	TOTAL
[0, 2)	88	6	94
[2, 5]	34	14	48
TOTAL	122	20	142

Tabla 2: Estadísticos para la tabla: ÍNDICE / OCURRENCIA DE INCENDIOS:

Estadístico	Valor	Grados de Libertad	p_valor
Chi-cuadrada de Pearson	13,6306	1	0,0002
Test Exacto de Fisher (1-cola)			0,0004
Test Exacto de Fisher (2-colas)			0,0005

Tabla 3: De Porcentajes por filas:

	NO	SÍ	TOTAL
[0, 2)	94	6	100
[2, 5]	71	29	100
TOTAL	86	14	100

Tabla 3: De Porcentajes por columnas:

	NO	SÍ	TOTAL
[0, 2)	72	30	66
[2, 5]	28	70	34
TOTAL	100	100	100

Tabla 4: De Porcentajes totales:

	NO	SÍ	TOTAL
[0, 2)	62	4	66
[2, 5]	24	10	34
TOTAL	86	14	100

Obteniéndose una Probabilidad de detección (P.O.D) = 0.70, con una Probabilidad de Falsa Alarma (F.A.R) = 0.71. Debe destacarse que solo en cuatro ocasiones se produjo incendio habiéndose dado un índice comprendido entre 0 y 2. El que la falsa alarma sea tan alta es debido a la forma elegida para la construcción del índice. Se han utilizado solamente los días de verano en los que ha ocurrido algún incendio, días por lo general de temperatura máxima alta, humedad relativa baja y poca precipitación acumulada, características que en el verano en Aragón se dan con mucha frecuencia y por lo tanto el índice refleja la elevada peligrosidad, independientemente de que se produzcan o no incendios para un lugar y momento determinado.

En el análisis se observa que en el 70% de los días en que se produjo incendio, se registró un valor del índice estadístico superior a 2 y que únicamente el 28% de los días en los que el valor del Índice estaba por debajo del umbral ocurrió algún incendio.

- Del estadístico utilizado (Chi-cuadrado) se deduce que existe una dependencia entre la ocurrencia o no de incendios y cada una de las categorías en que se ha dividido al Índice, ya que el p\_valor asociado es 0,0002, que es inferior al 0,05 (elegido para nuestro análisis).

- Fijándonos en la tabla de porcentajes totales, las predicciones correctas alcanzan el valor de:  $59,15 + 9,15 = 68,3\%$ .

Tabla 5: Estadística descriptiva:

	N	Media	D. Típica	D. Típica (Media)
INDICE	142	1,7248	0,6107	0,0513
NO	122	1,6376	0,5775	0,0523
SÍ	20	2,2566	0,5452	0,1219

- En las estadísticas descriptivas se observa que el valor promedio del Índice de Ignición es mayor en los días en los que ha ocurrido algún incendio (2,2566), frente a los días en los que no ha ocurrido ningún incendio (1,6376). Para comprobar si esta diferencia de medias es significativa recurrimos al test de Kruskal - Wallis.

Tabla 6: Test de Kruskal - Wallis:

Grupo	Frecuencia	Suma de rangos
NO	122	8024
SÍ	20	2129

Estadístico de Kruskal - Wallis = 16,98039. con P\_valor = 0,00004, usando una distribución Chi-cuadrado con un grado de libertad y habiéndose utilizado el test de Kruskal - Wallis debido a que no se puede suponer una distribución normal del índice de ignición.

- Dado que el p\_valor es considerablemente inferior a 0,05 se puede decir que la probabilidad de que las dos medias sean iguales es muy pequeña y por lo tanto, con un nivel de confianza del 95% se puede afirmar que la media del Índice de los días en los que ha ocurrido algún incendio es mayor que la de los días en los que no ha ocurrido ninguno.

También se ha enfocado la verificación de las predicciones desde un punto de vista probabilístico definiendo cinco clases que coinciden con los cinco valores que puede tomar el índice y enfrentándolos a la ocurrencia o no de incendios. Los resultados se presentan en la tabla 7.

Tabla 7 : Valores Obs/Pred Mínimo Débil Moderado Notable Fuerte Total

	MINIMO- (1)	DEBIL - (2)	MODER- (3)	NOTABLE- (4)	FUERTE- (5)	TOTAL
NO INC.	14	73	33	1	0	121
SI INC.	0	6	12	2	0	20
TOTAL	14	79	45	3	0	141

resultados obtenidos con un p-valor de Pearson de 0.0005, que nos da idea de la bondad de los resultados obtenidos.

Tomando el valor de 5 como una probabilidad de 1 de que ocurran incendios, se puede pensar en una predicción probabilística y se puede calcular como parámetro de calidad el Índice de Brier Score = 0.14. que es próximo a cero y por lo tanto muy bueno.

A partir del año 2000 se construyó únicamente un Índice para todo el día, sin considerar intervalos, en el cual se utilizó la temperatura máxima prevista del día y la humedad relativa a las 15 horas por ser el periodo que ofrecía mayores riesgo de incendio independientemente de la actividad tormentosa. Esto hizo que las zonas de Jaca y de Sobrarbe, donde el Índice ofrecía valores bajos, alcanzaran valores más altos y se ajustaran mucho mejor a los incendios que se detectaron..

### 3.2 Factor de Propagación.

Si bien, el viento no contribuye a la ignición propiamente dicha, en la Comunidad Autónoma de Aragón si son frecuentes los episodios con vientos fuertes, que siguen al paso de las tormentas que se generan los días con altas temperaturas y bajas humedades relativas. Estos vientos, normalmente racheados y de componente norte, pueden perdurar varios días, convirtiéndose en el principal vector de propagación de los focos originados por dichas tormentas u otras causas.

Con el fin de proporcionar una perspectiva, tanto espacial como temporal del viento a lo largo del día, se suministran, gráficamente y con la misma resolución de cuadrícula, predicciones de dirección y fuerza con intervalos de 6 horas, a partir de las 8 horas oficiales.

### 3.3 Índice de Peligrosidad.

A partir del Índice de Ignición y del Factor de Propagación se obtiene el Índice de Peligrosidad esperado, presentándose el resultado en el mismo formato y resolución que los productos anteriores. Al igual que en el Índice de Ignición, la escala de este producto también está dividida en cinco intervalos. Para facilitar la interpretación por parte del usuario, además del valor del Índice de Peligrosidad, se presenta como fondo de la imagen la fuerza del viento de acuerdo a la escala cromática que figura a pie de página.

### 3.4 Imagen de Seguimiento.

El elevado porcentaje de incendios ocasionados por descargas eléctricas nube-tierra y, a veces, la permanencia de sus efectos en estado de latencia por un periodo de varias horas e incluso días antes de detectarse el incendio, indujo a crear un producto para servir de guía en la determinación de las rutas a seguir por los medios destinados a labores de vigilancia de los focos puntuales. Así, diariamente se facilita una imagen en que aparecen ploteados los rayos correspondientes a los datos obtenidos en tiempo real por los sensores de la red de descargas del INM, y se adjunta información complementaria de polaridad, hora de la descarga, etc (Figura 3).

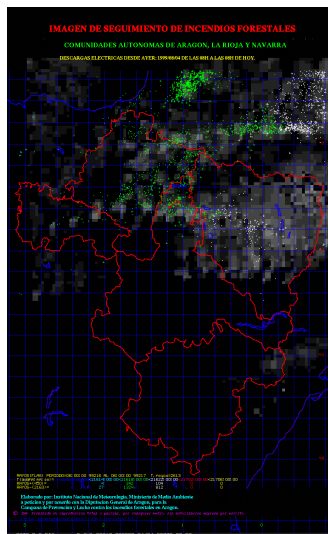


Figura 3: Imagen de Seguimiento (Descargas eléctricas)

#### 4. Operativa diaria

Diariamente se elaboran y envían de forma automática, mediante conexión directa por red informática, un conjunto de siete mapas. El primero muestra las tormentas previstas por intervalos horarios (14, 17, 20 y 23 horas oficiales). Los dos siguientes, los Índices de Ignición y Peligrosidad, para las nueve zonas en las que se ha dividido la Comunidad de Aragón, referidos a las 17 horas locales. El cuarto es una imagen del Índice de Vegetación, coloreada de acuerdo a una escala previamente definida, que proporciona información con una resolución de 1,1 km por 1,1 km. Los mapas quinto y sexto constituyen el Índice de Propagación (uno facilita el viento en formato vector y el otro la velocidad del viento en kilómetros/hora). Finalmente, en el séptimo, sobre una imagen radar de la precipitación recogida el día anterior, se presentan todos los rayos registrados desde el último envío. Así mismo, el programa permite hacer predicciones para el día siguiente.

#### 5. Conclusiones

Los resultados que se han ido obteniendo y la continua retroalimentación de información han aconsejado realizar un ajuste de los campos iniciales de temperatura y humedad en las zonas montañosas, con el fin de reproducir más satisfactoriamente las condiciones reales que se dan en estas zonas. Cualquier modificación que se considere pertinente introducir dará como resultado una progresiva optimización del Índice. En el momento actual el Índice combinado reproduce satisfactoriamente fenómenos como olas de calor, tormentas, entradas de aire frío y seco, etc., que, en última instancia, son los responsables meteorológicos de la mayor incidencia de incendios.

#### Referencias

- G. Bovio, B. Sol y D.X. Viegas, 1994, "Synthese des travaux sur l'intercomparasion des indices de danger meteorologique d'incendie".
- Luc Pouliot, 1991, "Forecasting fires weather indices".
- M.D. Flannigan y J.B. Harrington, "A study of the relationship of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada 1953-1980".
- Servicio de Aplicaciones Climatológicas (SAC).INM, "Índices de peligro de incendios forestales".
- T. Abrantes, I. Gomes, C. Tavares y L. Mota, 1993, "Análise de risco de incêndios forestais em Portugal "