

# ESTABILIDAD Y SEQUEDAD COMO BASE PARA DETERMINAR EL RIESGO DE INCENDIO EN EL NOROESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Santiago Domínguez Martín<sup>(1)</sup>, Eulogio Luis García Díez<sup>(1)</sup>, Fernando de Pablo Dávila<sup>(2)</sup>, Luis Rivas Soriano<sup>(2)</sup> y Clemente Tomás Sánchez<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales. Universidad de Salamanca, Filiberto Villalobos 119-129 37007, a37050@usal.es elga@usal.es

<sup>(2)</sup> Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca. Plaza de los Caídos s/n Ed. Trilingüe 37008, fpd123@usal.es ljrs@usal.es cts50@usal.es

## Introducción

Los incendios constituyen uno de los pilares de la problemática ambiental. Son bien conocidas sus consecuencias negativas sobre el medio natural y humano. Además constituyen una fuente muy importante de emisiones de CO<sub>2</sub> y son destructores de sumidero, jugando un doble papel en el problema del Calentamiento Global. Se hace necesario abordar este problema por parte de la comunidad científica y la relación estrecha de los incendios con las condiciones atmosféricas constituye una línea de investigación de enorme interés.

El primer objetivo de este trabajo es analizar estadísticamente el papel que juegan la estabilidad y la sequedad en la aparición de incendios forestales, y si dicho papel coincide con el que establece el modelo GD de la bibliografía. De ser así se confirmaría estadísticamente que el modelo GD es un adecuado sistema para la gestión de los incendios. Para ello son presentados los valores diarios de estabilidad y sequedad y su relación con la aparición de incendios en la región de máxima actividad de fuego de la Península Ibérica, Galicia.

El segundo objetivo es evaluar la posibilidad de que el modelo GD de riesgo de fuego, basado en estos dos parámetros, pueda utilizarse en un área continental del centro peninsular (Extremadura, Madrid y Guadalajara). Podría utilizarse también allí si el comportamiento de la actividad de fuego ante la estabilidad y sequedad es similar en ambas zonas. De no ser así el modelo GD sólo podría ser aplicable a un área costera como Galicia. Para ello hallamos la actividad de fuego diaria normalizada para todo el periodo de estudio (NDFR, Normalized Daily Fire Risk) en función de los diferentes estados de estabilidad y de sequedad tanto en Galicia como en la región del centro.

La literatura muestra diferentes aspectos sobre el arte, y hemos hecho uso aquí como análisis del estado de la cuestión, de las conclusiones de algunos trabajos. En la literatura está ampliamente admitido que tanto el contenido de humedad atmosférica como la situación de estabilidad determinan la

actividad de fuego. Autores como Chunmei et al (2003) demostraron la relación existente entre la estabilidad atmosférica y el fuego. Concretamente, Jenkins (2002, 2004), y Potter (2002) declaran que la inestabilidad seca en la atmósfera guarda una estrecha relación con el desarrollo de fuego. Anteriormente, Haines (1988) ya consideraba el problema del fuego como una dinámica vertical a escala meso, considerando la estabilidad y la humedad en la columna para la definición de un índice de riesgo. El fundamento que aplica Haines es el que convencionalmente se usa en el desarrollo convectivo, pero ocurre que dicho fundamento está generalmente orientado a determinar condiciones de convección húmeda (tormentas), pero en el problema del fuego se dirige a la determinación de convección seca en el lugar. En Teoría de convección Arakawa y Schubert (1974) y Lord y Arakawa (1980) realizaron una parametrización de los procesos convectivos húmedos desde un punto de vista energético muy interesante para la interpretación de la estabilidad y la humedad en la columna atmosférica. En esa línea García et al (1988) estudiaron la actividad convectiva en España. Posteriormente Rivas Soriano et al (1994), también en términos energéticos, trasladaron el análisis de la convección del dominio húmedo al dominio seco, lo que permitió establecer el riesgo de fuego bajo este formulismo. Así fue publicado el modelo GD de determinación de riesgo incendios, (García Díez et al. 1994) que se basa precisamente en este planteamiento.

## Metodología

Para evaluar en este trabajo la actividad de fuego y su relación respecto los parámetros de estabilidad y sequedad utilizaremos el fundamento teórico establecido por el modelo GD. Los parámetros de estabilidad y sequedad son calculados diariamente, desde el 1 de julio al 30 de septiembre del periodo 1999-2005, a partir de información de las estaciones de radiosondeo de A Coruña (08001), y Madrid-Barajas (08221) a las 00:00 UTC. El factor de

estabilidad ( $e$ ) es un parámetro de estrato que viene dado por la ecuación:

$$e = S_{700} - S_{850} \quad (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (1)$$

donde  $S$  es el Potencial de Montgomery o Energía Estática Seca en 700 y 850 hPa respectivamente.  $e$  viene a significar en forma discreta la estabilidad del estrato 850-700 hPa en dimensiones de energía por unidad de masa. Estadísticamente se establece un valor medio de  $e = 6 \text{ kJ/kg}$  para la zona de Galicia. Valores de  $e$  iguales o inferiores a dicho valor vienen a caracterizar en un abuso del lenguaje los denominados días inestables; para los días en que  $e$  supera ese valor se habla de días estables.

En cuanto al factor de sequedad ( $D$ ) se trata de un parámetro de nivel que viene dado por la ecuación:

$$D = (h^* - h)_{850} \quad (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (2)$$

donde  $h$  y  $h^*$  son la Energía Estática Húmeda, y Energía Estática Húmeda Saturante a 850 hPa respectivamente.  $D$  representa al déficit de saturación en el nivel representativo 850 hPa en dimensiones de energía por unidad de masa. En la bibliografía existen muchas formas de representar tanto el campo de estabilidad como el de humedad, pero la ventaja del uso de los potenciales como establecemos aquí, nos permite describir ambos parámetros en las mismas dimensiones y unidades. Los datos de incendios diarios utilizados en este estudio proceden de la base de datos INCENPAR gestionada por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Concretamente, han sido extraídos de dicha base de datos los incendios diarios desde el 1 de julio al 30 de septiembre del periodo 1999-2005.

### Resultados y Discusión

En este trabajo mostramos los resultados estadísticos de  $e$  y  $D$  con el número de incendios, obtenidos para el área de Galicia. La relación de  $D$  con los incendios registrados diariamente en Galicia durante el periodo estival 1999-2005 puede examinarse en la figura 1.

La nube de puntos y la recta de regresión, estadísticamente, nos muestran una relación directa con una alta significación entre la sequedad y los incendios. El resultado del coeficiente de correlación entre ambos conjuntos de datos ha sido de 0.41. En cambio el análisis del parámetro  $e$  y el número de incendios en verano en Galicia durante el mismo periodo ha originado la nube de puntos recta de regresión mostrada en la figura 2.

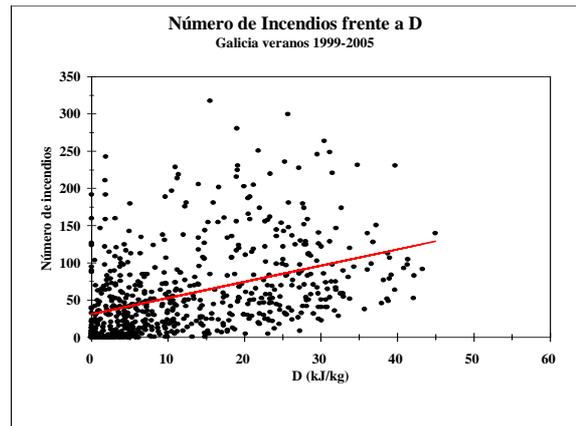


Figura 1.- Recta de regresión de  $D$  (A Coruña) frente al número de incendios en Galicia veranos 1999-2005.

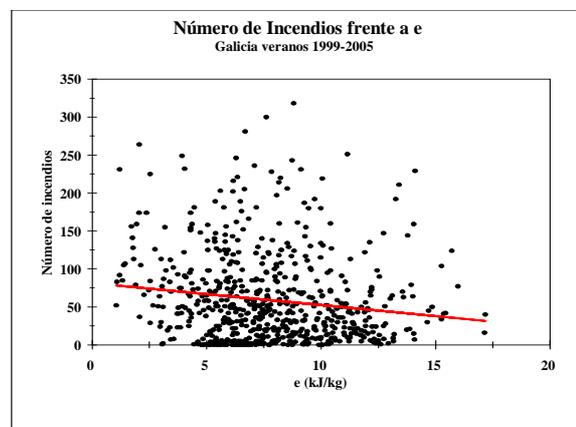


Figura 2.- Recta de regresión de  $e$  (A Coruña) frente al número de incendios en Galicia veranos 1999-2005.

A primera vista, la relación entre ambos conjuntos de datos en este caso es inversa desde un punto de vista estadístico. El coeficiente de correlación entre  $e$  y el número de incendios es -0.15.

Los resultados estadísticos obtenidos del análisis de  $D$  sí cobran un sentido físico ya que la sequedad juega siempre el mismo papel en relación al fuego independientemente del estado de estabilidad. A más sequedad más incendios. Sin embargo, en cuanto a la  $e$  se refiere hay que tener en cuenta su singular influencia en el fuego. Actúa de forma opuesta dependiendo de si nos encontramos en medio seco o húmedo (García Díez et al. 1994). En dominio seco una menor estabilidad aumenta la aparición de fuego pero en dominio húmedo una menor estabilidad la reduce. Debido a ello no tiene mucho sentido realizar una correlación directa de  $e$  frente al número de incendios. Dicha correlación cobraría más sentido si se realizara discriminando los días de dominio seco o de dominio húmedo. En las figuras 3 y 4 se muestran respectivamente los resultados de la regresión teniendo en cuenta dicha discriminación.

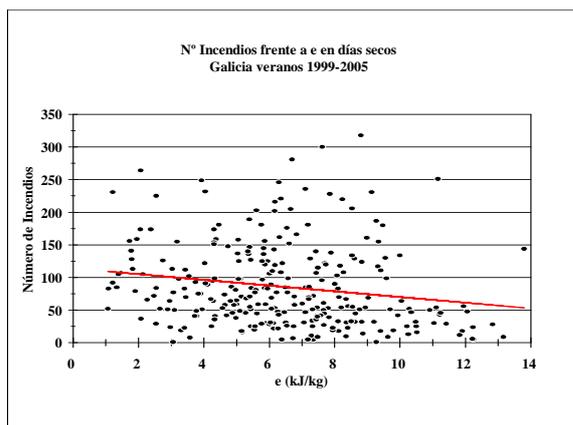


Figura 3.- Recta de regresión de e (A Coruña) frente al número de incendios en días secos Galicia veranos 1999-2005.

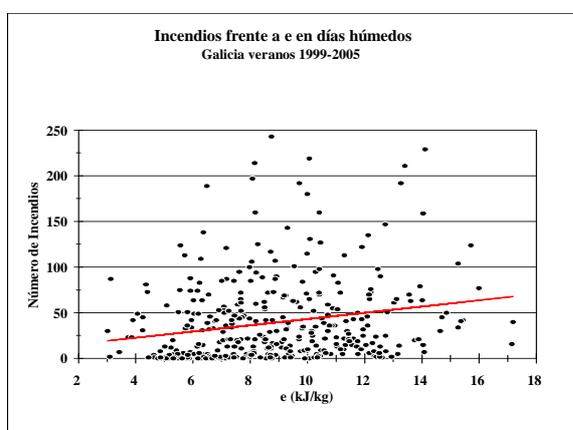


Figura 4.- Recta de regresión de e (A Coruña) frente al número de incendios en días húmedos Galicia veranos 1999-2005.

En el primer caso el coeficiente de correlación es -0.18. En el segundo caso es 0.21. Aquí queda reflejado el verdadero papel que juega la estabilidad en la aparición de los incendios tal y como es establecido en el modelo GD de riesgo de fuego.

En todo caso, lo que también puede interesar, más allá de los valores estadísticos, es tratar de resolver el enigma de porqué unos días hay más incendios que otros, como resuelve el modelo GD. Además puede ser interesante analizar si la solución es válida no sólo en áreas costeras sino también continentales. A tal efecto, para Galicia se han diferenciado los días secos de los húmedos y los estables de los inestables en los veranos del periodo de estudio (con radiosondeo de A Coruña), y posteriormente se ha valorado su actividad de fuego mediante el NDFR (Normalized Daily Fire Risk), que representa el peso de actividad de fuego diario con carácter adimensional. El DFR (Daily Fire Risk) es el número de incendios por día para cada campaña. El NDFR se calcula a partir de los DFR medios de un periodo dado, en este caso 1999-2005. Los resultados se muestran en las tablas 1 y 2.

De forma análoga hemos extendido este análisis para un área continental del centro peninsular (Extremadura, Madrid y Guadalajara) teniendo en cuenta esta vez el radiosondeo de Madrid- Barajas. En este caso los resultados son presentados en las tablas 3 y 4.

Año	seco			húmedo		
	f	d	DFR	f	d	DFR
1999	2852	40	71.3	1836	52	35.31
2000	4353	37	117.6	2828	55	51.42
2001	3413	36	94.81	1571	56	28.05
2002	3307	31	106.7	3051	61	50.02
2003	3827	45	85.04	1518	47	32.3
2004	2349	36	65.25	1500	56	26.79
2005	3425	49	69.9	2112	43	49.12
Total	23526	274		14416	370	
DFR (medio)			87.2			38.9
NDFR			0.69			0.31

Tabla 1. Resultados dominio seco y húmedo, veranos Galicia 1999-2005

Año	estable			inestable		
	f	d	DFR	f	d	DFR
1999	2953	60	49.22	1735	32	54.22
2000	4809	64	75.14	2372	28	84.71
2001	3518	67	52.51	1466	25	58.64
2002	4919	72	68.32	1439	20	71.95
2003	2775	62	44.76	2570	30	85.67
2004	2443	68	35.93	1406	24	58.58
2005	3779	72	52.49	1758	20	87.9
Total	25196	465		12746	179	
DFR (medio)			54.05			71.67
NDFR			0.43			0.57

Tabla 2. Resultados dominio estable e inestable, veranos Galicia 1999-2005

Año	seco			húmedo		
	f	d	DFR	f	d	DFR
1999	673	75	8.97	47	17	2.76
2000	1054	87	12.11	26	5	5.2
2001	971	78	12.44	70	14	5
2002	1062	76	13.97	81	16	5.06
2003	1131	81	13.96	106	11	9.63
2004	1131	81	13.96	88	11	8
2005	605	74	8.17	103	18	5.72
Total	6627	552		521	92	
DFR (medio)			11.94			5.91
NDFR			0.67			0.33

Tabla 3. Resultados dominio seco y húmedo, veranos zona centro 1999-2005

Año	estable			inestable		
	f	d	DFR	f	d	DFR
1999	116	23	5.04	604	69	8.75
2000	151	15	10.06	929	77	12.06
2001	136	10	13.60	905	82	11.04
2002	150	14	10.71	993	78	12.73
2003	214	18	11.89	1023	74	13.82
2004	222	19	11.68	997	73	13.66
2005	131	15	8.73	577	77	7.49
Total	1120	114		6028	530	
DFR (medio)			10.25			11.36
NDFR			0.47			0.53

Tabla 4. Resultados dominio estable e inestable, veranos zona centro 1999-2005

Un examen comparativo nos permite visualizar una semejanza casi total entre los resultados del área costera (Galicia) con los del área continental (Extremadura, Madrid y Guadalajara). Esta extraordinaria semejanza de comportamientos nos debe hacer recapacitar sobre el hecho de que realmente e y D están describiendo correctamente la incidencia meteorológica sobre el fuego, tanto en una zona como en otra. Si ello fuera así, no habría causa para no aplicar el modelo GD en una región puramente continental. Queda por lo tanto abierto para futuros trabajos la validación del modelo GD en áreas continentales del centro peninsular.

## Referencias

Arakawa, A. & W. H. Schubert, 1974: Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment. Part I. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **31**, 674-701.

Chunmei, X., Yousuff Hussaini, M. Cunningham, P., Rodman, R. Linn and Scott L. Goodrick., 2003: Numerical study of effects of atmosphere temperature profile on wildfire behaviour. *Paper J2.3 in Proceeding of the 5th Symposium on Fire and Forest Meteorology*. 17-20 November 2003, Orlando, Florida. American Meteorological Society, Boston, M.A.

García Díez , E.L., Labajo, J.L., Alcalá, A. and Labajo, A., 1988: Prediction of convection over Spain. *Proceedings 7<sup>th</sup> Meteosat scientific user's meeting*, Madrid. Instituto Nacional de Meteorología. SIN 1011-3932.

García Díez E. L., Rivas Soriano L., de Pablo Dávila F., García Díez A., 1994: An Objective Model for the Daily Outbreak of Forest Fires Based on Meteorological Considerations. *Journal of Applied Meteorology*, **33**, 519-526.

Haines, D. A., 1988: A Lower Atmosphere Severity Index for Wildland Fires. *National Weather Digest*, **13** (2), 23-27.

Jenkins, M.A., 2002: An examination of the sensitivity of numerically simulated wildfires to low-level atmospheric stability and moisture, and the consequences for the Haines Index. *International Journal and Wildland fire*, **11**, 213-232.

Jenkins, M.A., 2004: Investigating the Haines Index using parcel model theory. *International Journal of Wildland Fire*, **13**, 297-309.

Lord, S.J. and Arakawa, A., 1980: Interaction of a Cumulus Cloud Ensemble with the large-Scale Environment. Part II. *Journal of Atmospheric Sciences*, **37**, 2677-2692.

Potter, B.E., 2002: A dynamics based view of atmosphere-fire interactions. *International Journal of Wildland Fire*, **11**, 247-255.

Rivas Soriano L.J., García Díez E.L. and De Pablo F., 1994: Generalized Static Energy and Its Conservation. *Journal of Atmospheric Sciences*, **51**, nº 22, 3281-3285.