

---

---

## XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica 25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.

---

---

# Caracterización espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales por rayo en Aragón desde una perspectiva sinóptica

Cristina Lafragüeta<sup>a</sup>, Juan de la Riva<sup>bc\*</sup>

<sup>a</sup>FADOT-Fundación Aragonesa para el Desarrollo de la Observación de la Tierra, P.T.Walqa, Cuarte

<sup>b</sup>Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza

<sup>c</sup>Grupo GEOFOREST-IUCA, Universidad de Zaragoza

---

### Resumen

La determinación del riesgo de incendio forestal es una cuestión fundamental en la gestión del territorio. La elevada incidencia de igniciones ocasionadas por rayo en Aragón -el 30%, frente al 4% de la media nacional- y la dificultad de su gestión para el operativo de incendios, debido a la simultaneidad de su ocurrencia, a menudo en lugares inaccesibles, son razones de peso para profundizar en el conocimiento del fenómeno. Muestra de ello son los episodios de incendios más devastadores sufridos en Aragón durante las dos últimas décadas: el del Maestrazgo en 1994 y, más recientemente, el de la Ibérica turolense en 2009.

Hasta el momento, numerosos autores han estudiado la ignición asociada a descargas eléctricas, con el fin último de desarrollar modelos numéricos que permitiesen predecir su desencadenamiento, valiéndose de cuatro tipos de variables fundamentales: fisiografía, tipo y contenido de humedad de la vegetación y ocurrencia de descargas eléctricas. Sin embargo, pese al carácter decisivo de la convección en este tipo de igniciones, son escasos los trabajos que han empleado una aproximación sinóptica para estudiar la ocurrencia del fenómeno.

El objetivo de este trabajo es analizar el patrón de ocurrencia espacio-temporal de las igniciones ocasionadas por rayo, como etapa previa al desarrollo de un modelo de predicción. Etapa en la que queda patente el papel fundamental de los SIG -mediante el uso de técnicas geoestadísticas- en la modelización de este tipo de procesos naturales.

---

\* E-mail: [cristina@fundacionfadot.com](mailto:cristina@fundacionfadot.com)

Como resultado del trabajo se obtiene una cartografía que, por sí misma, constituye una herramienta de apoyo en la planificación de las labores de prevención frente a incendios ocasionados por rayo en Aragón; por otra parte, el trabajo pone de manifiesto la idoneidad del enfoque sinóptico en el estudio del fenómeno y, por tanto, en el desarrollo futuro de un modelo de predicción de la ocurrencia de incendios ocasionados por rayo en Aragón.

Palabras clave: situación sinóptica; riesgo de incendio; tormenta; rayo; convección; Aragón

---

## 1. Introducción

El origen y la propagación de los incendios forestales vienen determinados, en gran medida, por las condiciones meteorológicas diarias y estacionales. Tanto es así, que la determinación del riesgo meteorológico constituye una herramienta fundamental de planificación en la gestión de incendios.

La elevada ocurrencia de incendios ocasionados por rayo en Aragón (30%) en relación a la media nacional (4%), la dificultad de gestión que entraña este tipo de emergencia para el operativo -por la simultaneidad habitual en las igniciones-, junto con su desencadenamiento frecuente en territorios de difícil acceso, conduce a la necesidad de estudiar los fenómenos tormentosos y su incidencia en el origen de los incendios en Aragón. La ocurrencia por rayo en la provincia de Teruel constituye el 52% y representa el 70% de los grandes incendios forestales de causa conocida (Hernández, 2007); muestra de ello son los devastadores episodios ocurridos en el Maestrazgo turolense en 1994 y la Ibérica turolense en 2009, con aproximadamente 18.000 y 12.000 ha afectadas respectivamente.

Muchos autores han basado el estudio de la ocurrencia de incendios por rayo en cuatro aspectos fundamentales: fisiografía (Díaz-Ávalos *et al.*, 2001; Podur *et al.*, 2003; Castedo *et al.*, 2009), vegetación (Díaz-Ávalos *et al.*, 2001; Latham & Williams, 2001; Castedo *et al.*, 2009), estado del combustible (Wotton y Martell, 2005; Chuvieco *et al.*, 2010) y ocurrencia de descargas eléctricas. Tradicionalmente, las variables meteorológicas consideradas han estado más relacionadas con la disponibilidad del combustible y con ciertas características de la actividad ceraúnica (Flannigan & Wotton, 1991; Larvajavaara *et al.*, 2005) que con la convección, pese al papel decisivo de ésta en el desencadenamiento de los incendios por rayo.

Álvarez *et al.* (2012) caracterizan los fenómenos convectivos desde una perspectiva sinóptica y desarrollan un modelo de predicción de tormentas para Aragón. Dicho estudio constituye la base para el presente trabajo, cuyo objetivo es caracterizar la ocurrencia espacio-temporal de los incendios ocasionados por rayo y cuya ulterior finalidad es implementar un nuevo modelo que permita predecir si la ocurrencia de las tormentas desencadena igniciones.

## 2. Metodología

La caracterización de la ocurrencia espacio-temporal de los incendios asociados a descargas eléctricas se aborda mediante la elaboración de una cartografía de incendios forestales provocados por rayo, para analizar la incidencia de los fenómenos convectivos sobre el fuego forestal. Por coherencia con el estudio previo de la convección (Álvarez *et al.*, 2012), dicha cartografía se elabora para el semestre cálido (abril-septiembre), atendiendo al periodo de ocurrencia de tormentas en Aragón, en el intervalo temporal 2002-2009, según cuatro criterios: global, anual, mensual y tipo de situación sinóptica.

### 2.1. *Compartimentación del territorio*

La ocurrencia asociada a rayo se cartografía a través de la localización espacial de sus puntos de inicio mediante coordenadas UTM, obtenidos de la Estadística General de los Incendios Forestales (EGIF); un total de 836 igniciones en 320 días.

Dada la naturaleza puntual de la variable a representar, el elevado volumen de información y la circunstancia de que la ocurrencia por rayo no siempre puede atribuirse a una única descarga eléctrica con cierta probabilidad, se analiza la ocurrencia de descargas eléctricas y de incendios por dicha causa en términos de densidad, agregando los registros puntuales en celdas (Wotton & Martell, 2005).

Se compartimenta el territorio en pequeñas parcelas, cuyo tamaño debe resultar como mínimo el error máximo de localización de las descargas. Por otra parte, atendiendo al objetivo final en relación a la predicción de incendios por rayo, resulta previsible la necesidad de relacionar la ocurrencia con el conjunto de variables meteorológicas y forestales a considerar en el futuro modelo. En este sentido, dada la heterogeneidad del territorio, se supone que una mayor resolución mejoraría la predicción. Tomando en consideración ambos aspectos, se adopta una malla con tamaño de celda de 0,2° de latitud y longitud.

La generación de la malla se realiza a partir de las coordenadas geográficas de los puntos centrales de cada celda, procurando su coincidencia con los puntos para los que existe predicción meteorológica del modelo HIRLAM 0,5°. Así, en un entorno de trabajo SIG, se genera la malla sobre el área de estudio configurada por 165 celdas y adaptada a los límites territoriales de Aragón.

### 2.2. *Identificación rayo-incendio*

La identificación del rayo que causa el incendio requiere información tanto de las igniciones asociadas a descargas eléctricas como de las descargas ocurridas en los días en los que se han registrado dichas igniciones, así como de los días anteriores para incendios originados por rayos dormidos. Los datos sobre descargas eléctricas, procedentes de Aemet, deben depurarse en función del tamaño de la elipse de error en la localización asociada a cada descarga, estableciendo la longitud máxima del semieje mayor de la elipse <6 km.

La identificación del rayo causante del incendio se realiza en función de la malla de compartimentación. Para ello es preciso atribuir con anterioridad tanto los incendios como los rayos a sus celdas de ocurrencia para cada día, según un criterio de mínima distancia entre el punto de ignición o de la ocurrencia del rayo y el punto central de las celdas adyacentes. Posteriormente, se establece un área de incertidumbre en torno al punto de inicio del incendio para limitar espacialmente la identificación del rayo causante de la ignición a un radio <6 km.

Este proceso revela que en el 67% de los incendios estudiados existe correspondencia espacial y temporal (diaria) en la ocurrencia rayo-incendio, mientras el 33% restante corresponde a incendios por rayos dormidos. Además, determina que el 95% de los incendios son detectados durante los tres días posteriores a la ocurrencia del rayo causante; por lo que, en el caso de igniciones por rayos dormidos, el proceso de asignación rayo-incendio se remonta como máximo hasta tres días antes del incendio; todo ello extiende el periodo de estudio a 430 días, frente a los 320 iniciales en los que se registraba, al menos, un incendio por rayo.

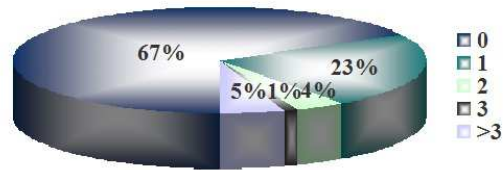


Fig. 1. Distribución del número de incendios según el número de días transcurrido entre la caída del rayo y la detección del incendio

### 2.3. Criterios y técnicas cartográficas

En entorno SIG se realiza el cálculo por celdas de los promedios global, anual, mensual y por tipo de situación sinóptica del número de incendios por rayo, además de convertir dichos valores promedio a términos de densidad de incendios al considerar la superficie de cada celda.

Para la cartografía según tipos de situación sinóptica se sigue la metodología de Álvarez *et al.* (2012) para la asignación de cada día a una de las nueve configuraciones atmosféricas por ellos definidas. Un aspecto a tener en cuenta es el doble criterio de atribución del tipo de situación a los incendios por rayo: en función del día en que tiene lugar la descarga que desencadena la ignición, “ocurrencia”, o en función del día en el que se detecta, “detección”.

La representación de los incendios por rayo para el período global, semestre cálido 2002-2009, mediante técnicas de interpolación espacial, a partir de registros puntuales (puntos centrales de cada celda en la malla), permite determinar su densidad para el continuo territorial. Para ello, inicialmente se consideran tres métodos de interpolación: el inverso de la distancia (*Inverse Distance Weighting*, IDW), el krigeado (*Kriging*) y las funciones radiales (*Radial Basis Functions*, RBF). La estimación -a partir de los residuales- de los errores medio cuadrático (RMSE) y medio absoluto (MAE) para estos tres métodos revela el krigeado como el más adecuado. No obstante, la cartografía de los errores absolutos derivados de este método manifiesta ciertas áreas del territorio en las que la densidad es infravalorada, así como otras en las que es sobreestimada; para subsanarlo, los resultados iniciales de la interpolación son corregidos mediante los residuales.

Tabla 1. Errores según métodos de interpolación considerados en la elaboración de la cartografía para el periodo global de estudio

Tipo de error	IDW	Krigeado	RBF
RMSE	$28,63 \cdot 10^{-3}$	$28,37 \cdot 10^{-3}$	$29,17 \cdot 10^{-3}$
MAE	$13,44 \cdot 10^{-3}$	$13,11 \cdot 10^{-3}$	$13,53 \cdot 10^{-3}$

En el análisis según los criterios anual, mensual y por tipo de situación sinóptica, la escasez de igniciones asignadas a algunos periodos de tiempo y situaciones sinópticas dificulta la obtención de una cartografía fiable mediante la utilización de métodos de interpolación. Así, la representación según estos criterios se realiza mediante implantación superficial, tomando como base la celda de tamaño 0,2° de latitud y de longitud de la malla.

### 3. Resultados

A grandes rasgos, la ocurrencia de incendios por rayo durante el semestre cálido en Aragón muestra una correlación con los principales sistemas montañosos, donde la ocurrencia de fenómenos convectivos, y por tanto de descargas eléctricas, es habitual. El Sistema Ibérico oriental es el territorio más afectado en términos de extensión y densidad, seguido del Prepirineo y la parte alta de las cuencas del Jalón y del Jiloca, tal y como apuntaban estudios anteriores (Amatulli *et al.*, 2006).

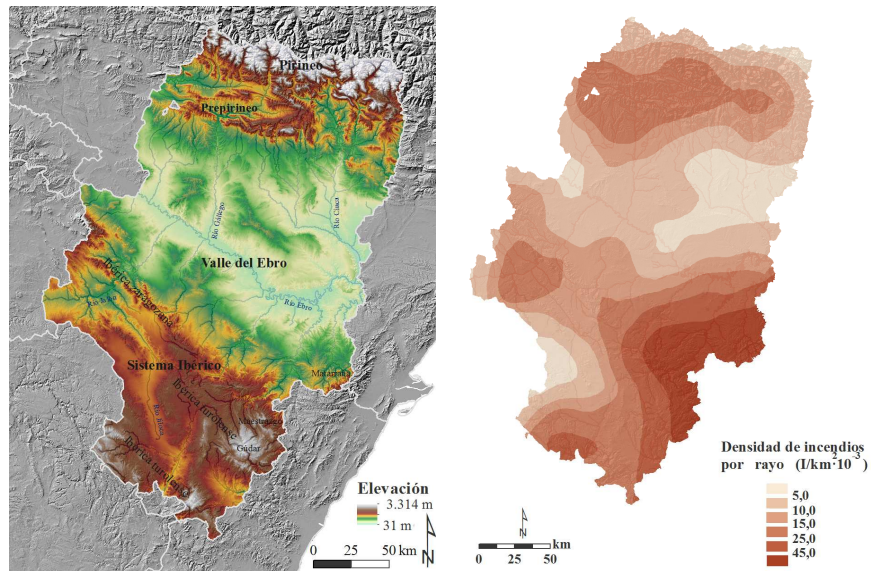


Fig. 2. (a) elevación; (b) densidad de incendios por rayo, semestre cálido 2002-2009

Del análisis de la ocurrencia de igniciones asociadas a descargas eléctricas por temporada se deduce que, pese a mantenerse las zonas afectadas, el grado de afección varía considerablemente entre campañas, lo que parece estar ligado a la ocurrencia variable de fenómenos convectivos a lo largo de la misma (Álvarez *et al.*, 2012).

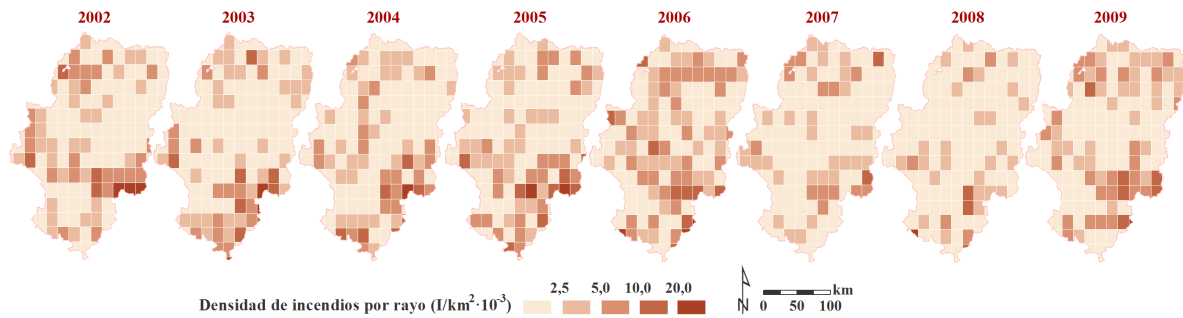


Fig. 3. Densidad anual de incendios por rayo, semestre cálido 2002-2009

Los meses de junio, julio y agosto resultan los más propicios al desencadenamiento de incendios por rayo, siendo agosto el que mayor número registra, previsiblemente en función de la mayor probabilidad de ocurrencia de tormentas secas, 30% según Álvarez *et al.* (2012). En cualquier caso, la mayor ocurrencia de descargas eléctricas no siempre lleva asociada una mayor ocurrencia de incendios por rayo, como sucede en la comarca del Matarraña o en la parte alta de las cuencas del Jalón y del Jiloca.

La distribución mensual de la ocurrencia de los incendios por rayo parece relacionarse bien con el proceso de traslación experimentado por la actividad convectiva hacia el Mediterráneo a lo largo del verano, especialmente en lo que respecta a los incendios asociados a los pasillos de tormentas, más frecuentes durante junio y julio en la mitad occidental (Jalón-Gállego) y durante julio y agosto en la parte oriental (Cinca).

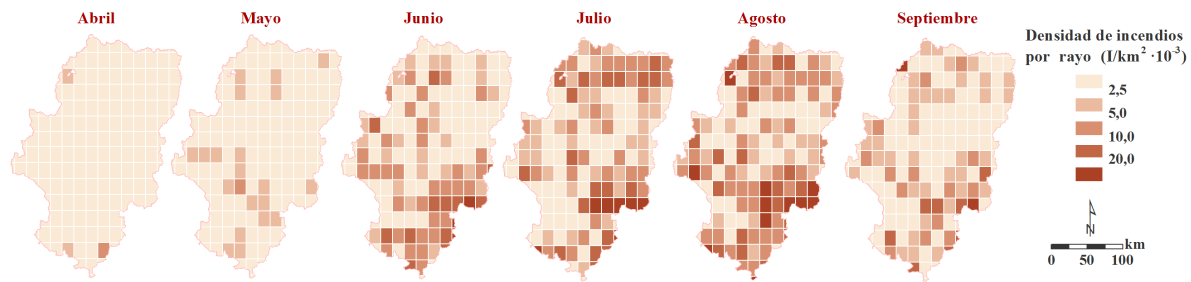


Fig. 4. Densidad mensual de incendios por rayo semestre cálido 2002-2009

El análisis de la ocurrencia de incendios asociados a actividad ceraúnica según las situaciones sinópticas revela que las más proclives al desencadenamiento de la convección no siempre son las más propicias para el desarrollo de estos incendios, siendo las situaciones del sur ejemplo de ello.

Destaca la incidencia de los incendios por rayo detectados en situaciones poco dadas al desarrollo de la convección, como las ondas largas del noroeste, pudiendo ésta encontrar su desencadenamiento en la entrada habitual de flujos secos de cierta intensidad, tras el paso de frentes de carácter convectivo; también, en el caso opuesto, la elevada propensión de las situaciones del sur a ocasionar incendios por rayo dormido.

Por último, cabe apuntar cierta tendencia temporal a la ocurrencia de episodios con incendio por rayo según el tipo de situación sinóptica a lo largo del semestre cálido; siendo julio más propicio a los episodios asociados a oclusiones y agosto a situaciones de suroeste y masa de aire.

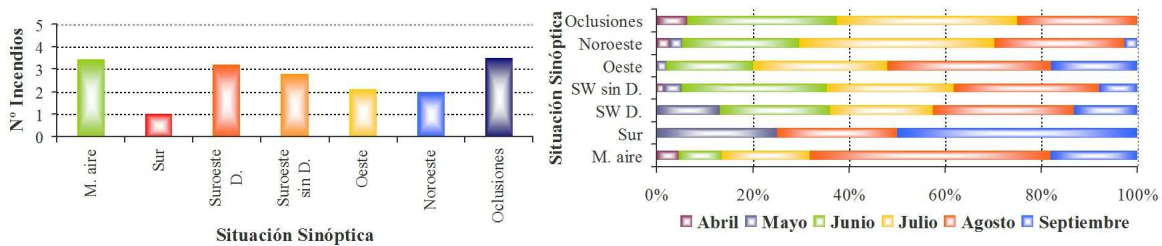


Fig. 5. (a) frecuencia mensual de la ocurrencia de incendios por rayo; (b) simultaneidad diaria de igniciones por rayo

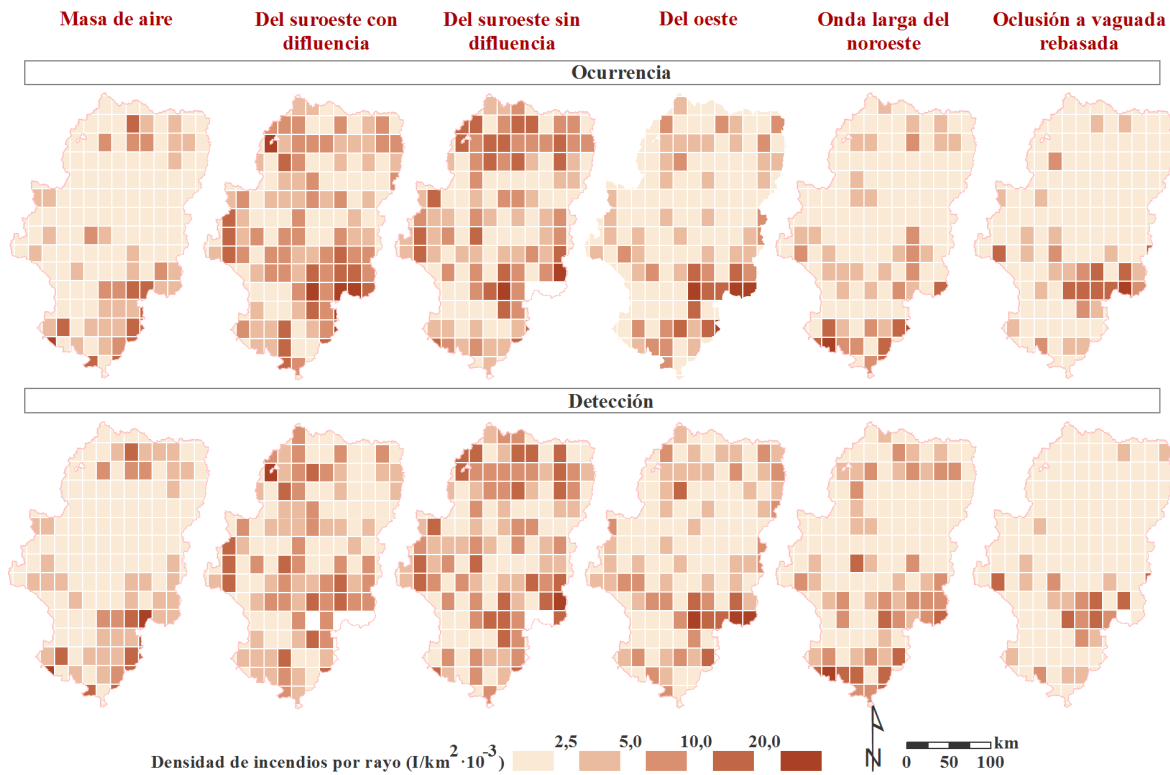


Fig. 6. Densidad de incendios por rayo (ocurrencia y detección) según situaciones sinópticas (se representan las más activas)

#### 4. Conclusiones

Este trabajo da continuidad al de Álvarez *et al.* (2012), en lo relativo al estudio de los fenómenos convectivos y su incidencia en el origen de los incendios forestales en Aragón, una vez concluida la caracterización sinóptica de los procesos convectivos.

El análisis abordado proporciona información con base científica que permite profundizar en las relaciones causa-efecto de la causalidad de los incendios desencadenados por rayo en Aragón y resulta de utilidad para abordar el paso siguiente del trabajo, el desarrollo de la metodología para la predicción de igniciones asociadas a actividad eléctrica ligada a convección, poniendo de manifiesto la idoneidad del enfoque sinóptico.

Por otra parte, de estas cartografías se obtienen conclusiones aplicables al ámbito de la planificación operativa del dispositivo de incendios forestales, convirtiéndose éstas en una herramienta orientativa para la gestión del territorio en las labores de planificación frente a este tipo de incendios.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al convenio de colaboración existente entre la Aemet y la Dirección General de Gestión Forestal del Gobierno de Aragón en materia de apoyo meteorológico a la prevención y extinción de incendios forestales; se ha realizado en el marco de un convenio de colaboración entre la Universidad de Zaragoza y la Dirección General de Gestión Forestal del Gobierno de Aragón para el desarrollo de prácticas dentro del Master Universitario en TIG para la Ordenación del Territorio. La participación en el XVI Congreso Nacional de TIG ha sido posible gracias al soporte económico de la Fundación Aragonesa para el Desarrollo de la Observación de la Tierra (FADOT).

## Referencias

- Álvarez, E., de la Fuente, C. y García, A. (2005). Índice meteorológico de riesgo de incendios forestales para Aragón. Serie monografías (Ministerio de Medio Ambiente), Nota Técnica del CMT en Aragón, La Rioja y Navarra, n° 4, Instituto Nacional de Meteorología. Centro de Publicaciones, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Álvarez, E., Espejo, F., Cortés, F. J., Lafragüeta, C. y Serrano, R. (2012). Caracterización sinóptica de los procesos convectivos en el interior del nordeste peninsular. Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Amatulli, G., Pérez-Cabello, F. y de la Riva, J. (2006). Mapping lightning/human-caused wildfires occurrence under ignition point location uncertainty. *Ecological Modelling*, 200, 321-333.
- Castedo, F., Rodríguez, J.R., Gómez, M., Álvarez, M.F., Marcos, J.L. y Ruiz, I. (2009). Modelización de la probabilidad espacial de ocurrencia de incendios forestales por rayo en la provincia de León. In 5º Congreso Forestal Español, S.E.C.F., 21-25 de septiembre, 2009, Ávila.
- Chuvieco, E., Aguado, M.I., Nieto, H., García, M. (2010) Lightning-caused fires in Central Spain: Development of a probability model of occurrence for two Spanish regions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 162-163, 35-43.
- Díaz-Avalos, C., Peterson, D.L., Alvarado, E., Ferguson, S.A. & Besag, J.E. (2001). Space-time modelling of lightning-caused ignitions in the Blue Mountains, Oregon. *Can. J. For. Res.*, 31, 1579-1593.
- Flannigan, M.D., & Wotton, B.M. (1991). Lightning-ignited forest fires in northwestern Ontario. *Can. J. For. Res.*, Vol. 21, pp. 227-287.
- Hernández Jiménez, Á. (2007). Los incendios forestales en la provincia de Teruel. Índice de peligro básico. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.
- Lafragüeta, C., Cortés F., Espejo, F. y Álvarez E. (2009). Estudio comparado de dos episodios de incendios forestales originados por rayo en Aragón. In 5º Congreso Forestal Español, S.E.C.F., 21-25 de septiembre, 2009, Ávila.
- Larjavaara, D., Pennanen, J. & Tuomi, T.J. (2005). Lightning that ignites forest fires in Finland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132, 171-180.
- Latham, D. & Williams, E. (2001). "Lightning and forests fires". In E.A. Johnson y K. Miyanishi (Eds.), *Forest Fires, Behavior and Ecological Effects*, Academic Press, pp. 375-418.
- Podur, J., Martell, D.L. y Csillag, F. (2003). Spatial patterns of lightning-caused forest fires in Ontario, 1976-1998. *Ecological Modelling*, 164, 1-20.
- Wotton, B.M. & Martell, D.L. (2005). A lightning fire occurrence model for Ontario. *Can. J. For. Res.*, 35, 1389-1491.
- Wotton, B.M., Lafragüeta, C., Krezek-Hanes, C. & Cantin A. (2012). Lightning fire ignition and its relationship with Duff Moisture Code. In *Wildland Fire Canada. Conference 2012, University of Alberta, 1-5th October, Kananaskis.*



**Apéndice A. Tipo de situaciones sinópticas (Álvarez *et al.*, 2012)**

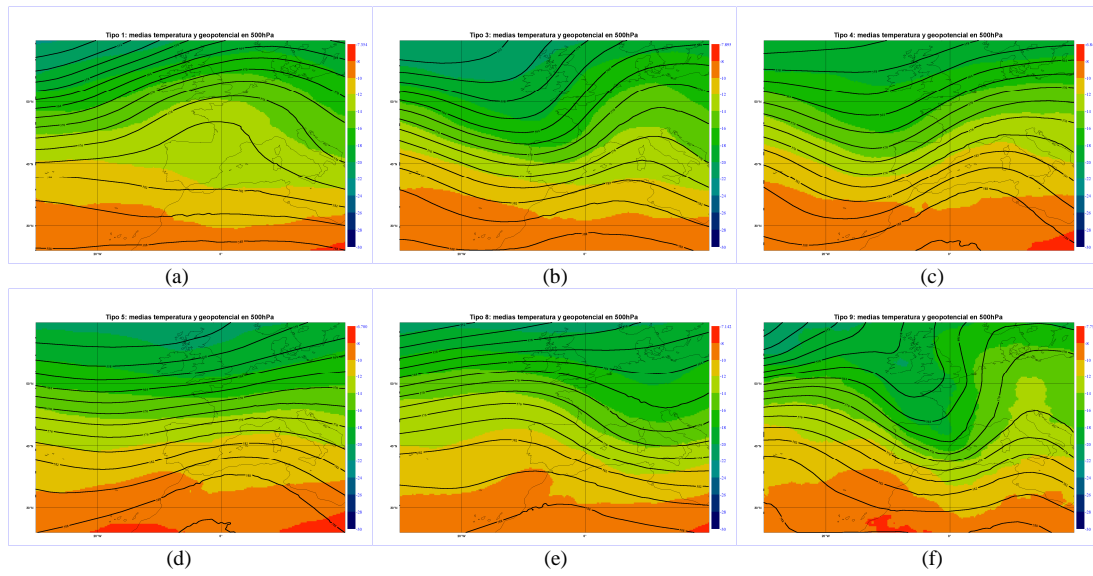


Fig. 7. (a) masas de aire; (b) suroeste con difluencia; (c) suroeste sin difluencia; (d) oeste; (e) ondas largas del noroeste; (f) oclusiones a vaguadas rebasadas