



# Hacia una climatología europea de parámetros meteorológicos asociados a la génesis de tormentas severas

M. Tous<sup>1</sup> and R. Romero<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de la Licenciatura en Ciencias Físicas, Universitat de les Illes Balears

<sup>2</sup>Tutor, Grupo de Meteorología, Departamento de Física, Universitat de les Illes Balears

Recibido: 28/IX/2006 – Aceptado: 20/XII/2006 – **Versión Traducida**

Correspondencia a: mariatous@yahoo.es

## Resumen

*En este estudio se analiza la relevancia de algunos parámetros meteorológicos para determinar la presencia de tormentas severas dentro del dominio europeo. Los valores exactos que cogen estos parámetros durante un caso de tiempo severo no se considera lo más importante, sino que se tiene en cuenta la relación que tienen al ser comparados con las climatologías locales. Para hacerlo, se utiliza un listado de acontecimientos sucedidos entre 1970 y 2005 dentro del dominio europeo, y se muestra cómo la CAPE (Convective Available Potential Energy), el contenido de vapor de agua hasta los 850 hPa, la temperatura en los 850 hPa y la presión a nivel de mar están muy relacionados con los fenómenos de tiempo severo; mientras que otros, como la CAPEN (Convective Inhibition Energy), la variación de temperatura entre 700 y 500 hPa, las helicidad relativa a la tormenta y la altura geopotencial a 500 hPa, son menos relevantes.*

## 1 Introducción

Por el territorio europeo no existe una buena base de datos de fenómenos de tiempo severo que pueda servir como punto de partida para posteriores estudios, como el que se quiere hacer aquí, de relacionar estos acontecimientos con las climatologías específicas y que sirva para mejorar métodos de previsión. Sólo se han creado algunas bases de datos de alcance regional, a menudo sin ningún apoyo institucional Barnolas (2002-2004); Barnolas y Llasat (2005) para Cataluña; Gayà et al. (2001) para las Islas Baleares; Gayà (2005) para España; Giaiotti et al. (2003) para el norte de Italia; Leitão (2003) para Portugal; Marcinoniene (2003) para Lituania, Setvák et al. (2003) para la República Checa; Sioutas (2003) para Grecia; y Tyrrell (2003) para Irlanda. En cambio, en los EEUU hace años que funciona una base de datos de estas características (gestionada por el National Weather Service) donde se tiene constancia de este tipo de fenómenos, incluyendo tornados, granizo y vientos fuertes de origen convectivo.

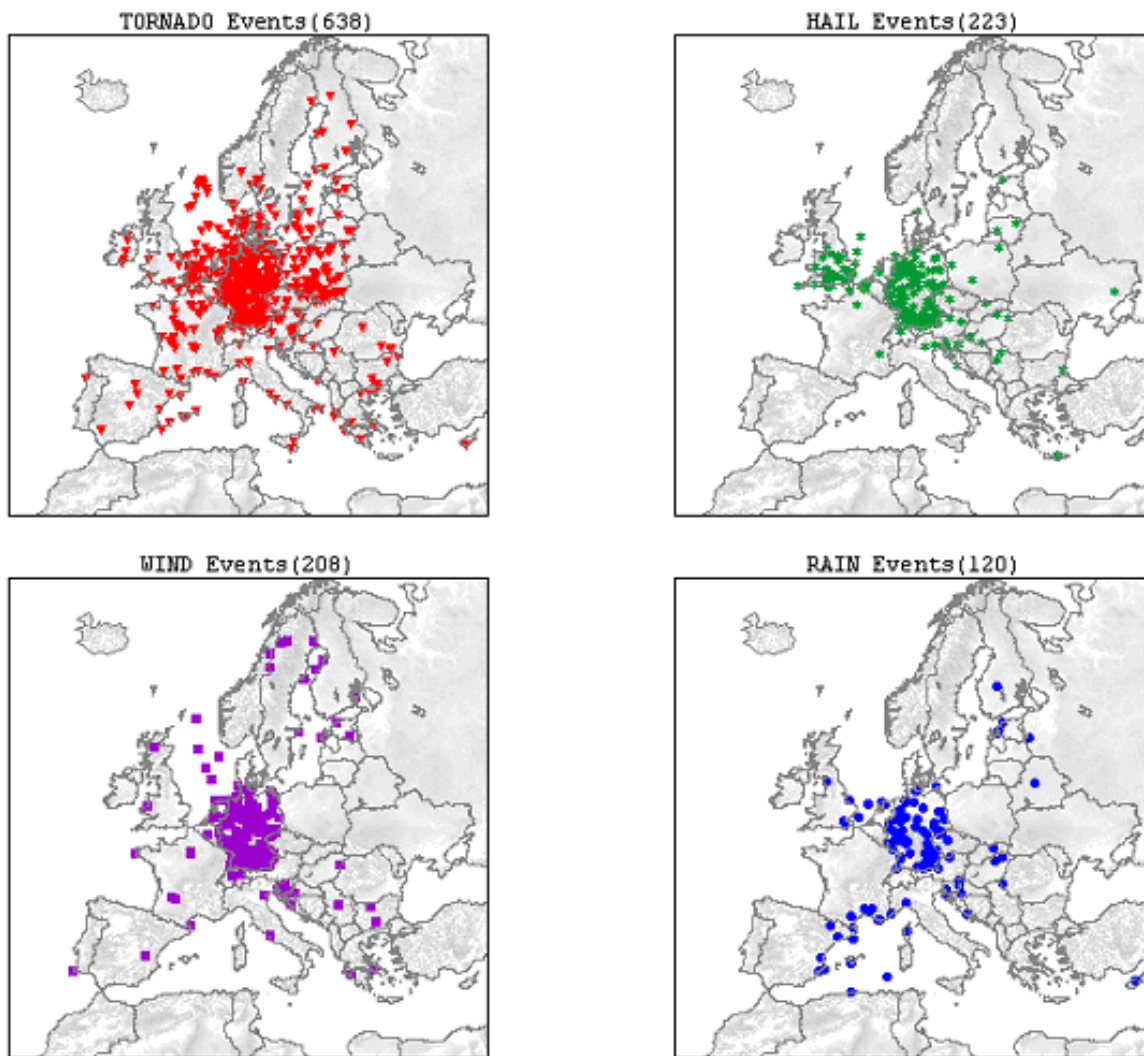
Desde hace unos cuantos años, el proyecto europeo ESWD (European Severe Weather Database; <http://www.essl.org/projects/ESWD>) intenta paliar este déficit tomando como ejemplo el americano, pero todavía se encuentra en vías de desarrollo y no es suficiente para

sustentar todo el peso de un trabajo. En nuestro caso, se ha utilizado esta base de datos del ESWD, a la que se han añadido otros datos, como los del proyecto del ECSS (European Climatology on Severe Storms; Romero et al. (2006); <http://ecss.uib.es/>), casos específicos de lluvias intensas proporcionados por el grupo GAMA de la Universitat de Barcelona, y acontecimientos encontrados en diferentes medios de comunicación. A pesar de esto, la dificultad de tener una base de datos adecuada se ha mantenido a lo largo del trabajo.

Además de los acontecimientos antes mencionados: tornados, granizo (piedras de más de 2 cm de diámetro) y vientos fuertes de origen convectivo (con velocidades iguales o superiores a 25 m/s), en este trabajo se ha considerado apropiado incluir episodios de lluvias intensas (algunas de las cuales han podido ocasionar inundaciones) debido a la alta frecuencia en que ocurren, sobre todo en la cuenca mediterránea, y la similitud de las consecuencias que sufre la población. En total, se han recogido un total de 638 tornados, 223 granizadas, 208 episodios de vientos fuertes de origen convectivo y 120 lluvias intensas. Durante el estudio, nos referiremos a estos fenómenos como “tornado”, “hail”, “wind” y “rain”, respectivamente.

Estos acontecimientos no se han recogido de manera uniforme a lo largo del período de estudio: la mayor parte de





**Figura 1.** Distribución geográfica de los acontecimientos seleccionados.

ellos se concentran en los últimos años, debido a una mayor conciencia de los investigadores de la necesidad de mejorar las bases de datos al respecto.

Cuando se pide una relación entre algún parámetro meteorológico y la presencia de tiempo severo, se tiende a estudiarlo refiriéndose al valor de la variable. En este caso, la prioridad no es ésta, sino hacerlo desde un punto de vista climatológico, mirando lo usual que es este valor en ese lugar y mes en concreto.

Idealmente, nuestra base de datos debería reflejar la distribución geográfica de tiempo severo en Europa, pero cuando se representa donde se encuentran los acontecimientos (Fig. 1), podemos observar el inconveniente de no haberlo conseguido, mostrando una clara tendencia a la recopilación de datos centroeuropeos debida a la composición actual de la base de datos ESWD consultada. Esta heterogeneidad de la distribución de los datos comporta una cierta disminución de la validez estadística de los resultados.

Recordemos que las climatologías de ingredientes meteorológicos con las que nosotros trabajamos son representativas de una zona en un mes concreto, así que mirar una distribución mensual de los acontecimientos también puede resultarnos útil (Fig.2).

En este caso podemos ver cómo tenemos registros de tormentas severas durante todo el año, pero sobre todo durante los meses correspondientes a la estación cálida, en que la aportación energética es mayor y, por lo tanto, estos fenómenos pueden desarrollarse con mayor facilidad.

También una distribución horaria (Fig.3) nos permite sacar conclusiones:

Lo primero que se observa es el pico situado en las 12 h en todas las gráficas un dato que puede inducir a confusión. Se debe a que cuando no se ha tenido la seguridad de la hora del acontecimiento, se ha considerado que era mediodía, y por lo tanto, la frecuencia en este intervalo horario está claramente sobreestimada.

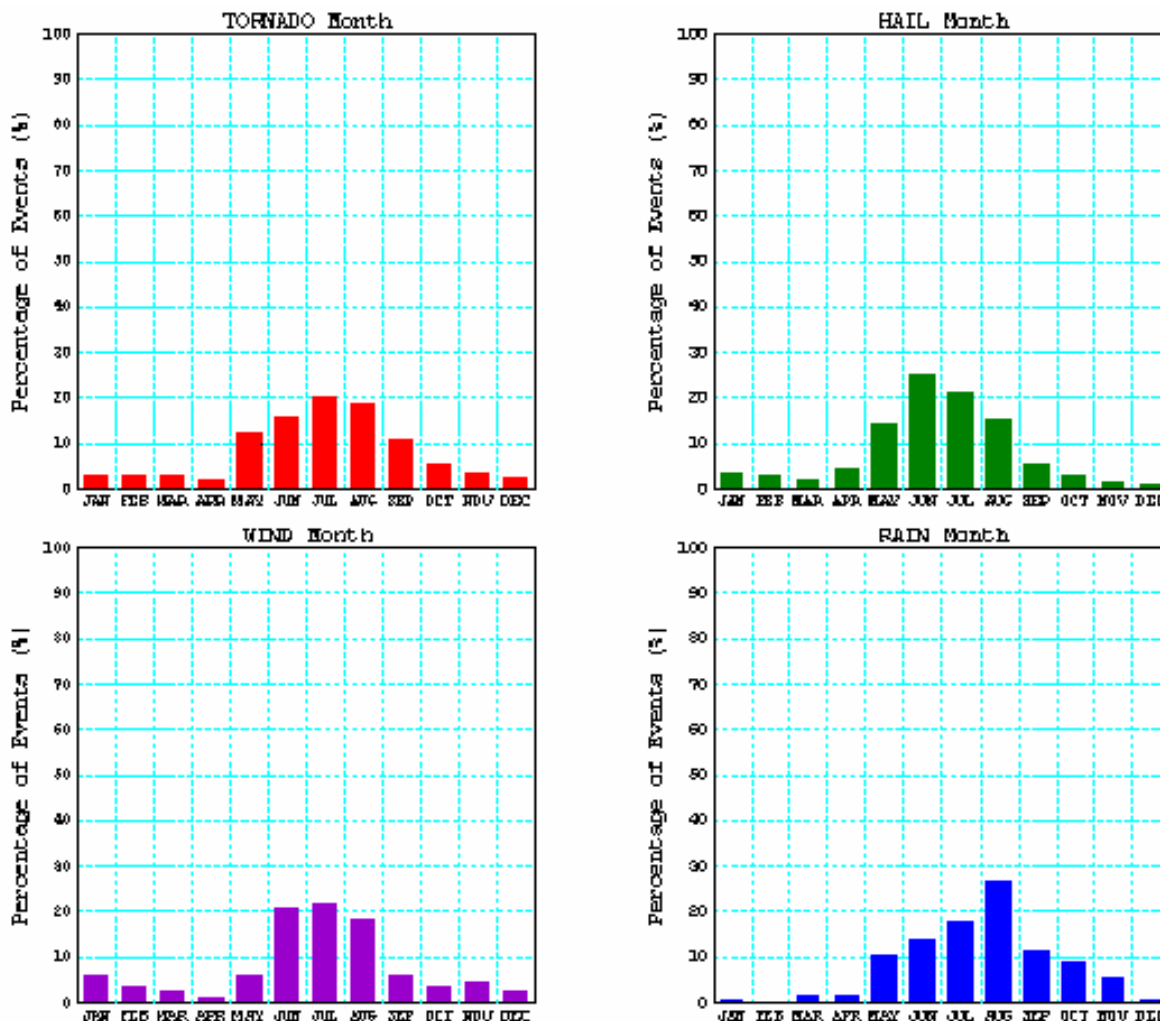


Figura 2. Distribución mensual de los acontecimientos seleccionados.

Despreciando este pico, encontramos otro, esta vez sí con significado físico, que nos informa de que la mayor parte de los acontecimientos se concentran por la tarde, alrededor de las 17 h. Esto es debido al ciclo diurno y, tal como pasaba en la distribución mensual, la acumulación de energía durante todo el día favorece el desarrollo de este tipo de fenómenos.

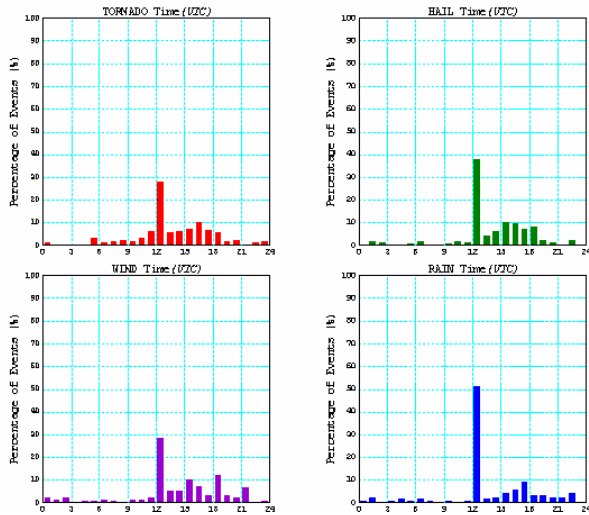
## 2 Parámetros meteorológicos y productos estadísticos

Las observaciones de radiosondeo son el instrumento que se utiliza frecuentemente para caracterizar las condiciones ambientales (Tudurí y Ramis, 1997) [p.e.], que en nuestro caso de estudio nos servirían para determinar la probabilidad de tormentas y fenómenos convectivos severos. Su densidad espacial es aceptable en muchas áreas continentales. Los defectos que se pueden encontrar en ellas son las

12 horas que separan cada sondeo y la limitación de los puntos de sondeo en zonas periféricas, como por ejemplo, en el mar Mediterráneo. Como consecuencia, las climatologías se han construido utilizando los datos de reanálisis ERA-40 (ECMWF Re-Analysis data), dentro del proyecto que se desarrolla en el European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF).

El proyecto ECMWF ERA-40 comprende cuarenta y cinco años (1957-2002) de datos de reanálisis de la globalidad de la atmósfera y condiciones superficiales, con una resolución espacial de 125 km, y temporal de 6 horas: 00, 06, 12, 18 UTC.

Los datos de este proyecto, hasta agosto del 2002, no sólo nos sirven para crear las climatologías (correspondientes al período 1971-2000), sino que también nos servirán en la determinación de las condiciones meteorológicas durante los acontecimientos de tormentas severas. A partir de entonces, los datos con los que se trabaja son los de los análisis operativos, del mismo ECMWF, con una resolución espacial de 30 km, y temporal de también seis horas. Se han tratado y



**Figura 3.** Distribución horaria del inicio de los acontecimientos seleccionados.

hecho las interpolaciones necesarias para poder referir todos estos datos a una red de puntos regularmente espaciados (30 km) sobre Europa según una proyección de Lambert.

Debido a que la localización de los acontecimientos de tiempo severo no tienen por qué coincidir ni con ningún punto de la red espacial ni con una de las cuatro posibles horas en que se tienen datos de las variables meteorológicas, hemos hecho la aproximación al punto más cercano de la red, y a la hora disponible inmediatamente anterior al inicio del acontecimiento.

Las variables meteorológicas que se han escogido para hacer el estudio son fruto de cálculos de diagnóstico:

- Energía potencial convectiva disponible por la partícula superficial: **CAPE** ( $\text{J kg}^{-1}$ ).
- Energía de inhibición convectiva por la partícula superficial: **CAPEN** ( $\text{J kg}^{-1}$ ).
- Variación de la temperatura con la altura, en la troposfera media, entre 700 y 500 hPa: **LR7050** ( $^{\circ}\text{C km}^{-1}$ ).
- Cantidad de vapor de agua, en la troposfera baja, hasta 850 hPa: **PRWA85** (mm).
- Helicidad relativa a la tormenta, entre 1000 y 350 hPa: **SRH35** ( $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$ ).
- Helicidad relativa a la tormenta, entre 1000 y 850 hPa: **SRH85** ( $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$ ).

En el caso de SRH35 y SRH85, el movimiento de la tormenta ha sido estimado aplicando la regla del '30R75' (Johns y Doswell-III, 1992) sobre el viento medio de la capa entre 1000-400 hPa. Esto implica que el vector de movimiento de la tormenta puede encontrarse girando a  $30^{\circ}$  a la derecha el vector viento medio, y tomando el 75% de su velocidad.

En trabajos pasados ha podido verse como este pequeño conjunto de parámetros se ha asociado al desarrollo de tormentas severas (Doswell-III, 2001) [p.e.]. Somos conscientes de que existen muchas más variables que podrían ser

consideradas aquí, incluso una larga colección de índices empíricos de inestabilidad (Doswell-III y D.M.Schultz, 2006), pero esto lo dejamos para un posible trabajo futuro.

Además de esta lista de parámetros de diagnóstico, también hemos extraído tres más (de las bases de datos de reanálisis o análisis) directamente relacionados con los mapas sinópticos:

- Altura geopotencial, a 500 hPa: **H500** (m).
- Presión a nivel del mar: **SLP** (hPa).
- Temperatura, a 850 hPa: **T850** ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Durante el tratamiento de la base de datos de acontecimientos obtenemos tres tipos de resultados estadísticos:

- **HIST1:** representa el número de acontecimientos en función del valor de la variable meteorológica.
- **HIST2:** representa el número de acontecimientos en función de la climatología de la variable meteorológica.
- **STATS:** es una combinación del HIST1 y el HIST2.

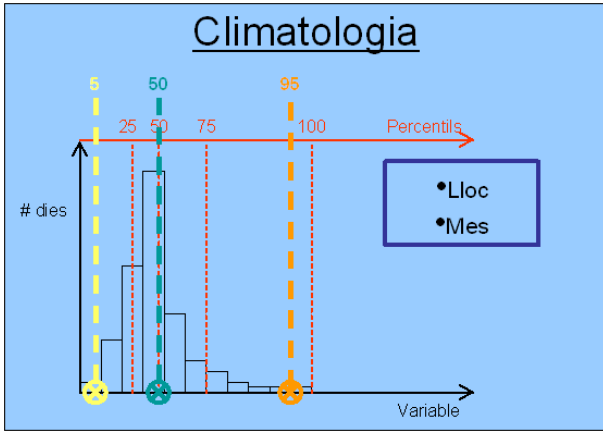
Como hemos dicho anteriormente, lo que nos interesa realmente a nosotros es relacionar el valor de los parámetros meteorológicos con las climatologías locales y del mes. Por lo tanto, lo que nos interesa en este trabajo es el HIST2 (los otros indicadores estadísticos pueden encontrarse en <http://ecss.uib.es/>)

Decir que durante un episodio de tiempo severo la temperatura a 850 hPa es de  $15^{\circ}\text{C}$  no tiene por qué llamar la atención si estamos hablando del mes de agosto en la costa mediterránea de la península ibérica, pero en cambio, sí que sería muy significativo si estuviéramos hablando del mes de enero (en el mismo lugar) o de Escandinavia (durante cualquier mes del año). Por este motivo, nos interesa trabajar teniendo en cuenta las climatologías. En estos dos últimos casos (en que sí que se trataría de una temperatura anormal), lo que nos mostraría el estudio climatológico sería una contribución de los percentiles elevados, ya que la mayoría de las veces, el valor de la variable (en este caso, temperatura a 850 hPa) es inferior a la que se ha obtenido en este momento. Por el contrario, una temperatura de  $-5^{\circ}\text{C}$  en Escandinavia durante el mes de enero es totalmente normal, pero supondría una contribución en porcentajes bajos si estuviéramos mirando el mes de agosto (en el mismo lugar) o en el Mediterráneo (ver esquema de la Fig.4).

- Percentil  $\sim 5$ :  $T = -5^{\circ}\text{C}$  en Escandinavia el mes de agosto, o en el Mediterráneo cualquier mes.
- Percentil  $\sim 50$ :  $T = -5^{\circ}\text{C}$  en Escandinavia el mes de enero;  $T = 15^{\circ}\text{C}$  en el Mediterráneo el mes de agosto.
- Percentil  $\sim 95$ :  $T = 15^{\circ}\text{C}$  en Escandinavia cualquier mes, o en el Mediterráneo el mes de enero.

### 3 Resultados

Los resultados se presentan de tal manera que se puedan comparar los distintos fenómenos entre sí, para



**Figura 4.** Relación entre la variable meteorológica simultánea a un acontecimiento de tiempo severo y la climatología local y del mes (ver texto).

ver si hay parámetros comunes en todos ellos, y cuáles son los discriminadores. Por este motivo, los resultados para cada parámetro se presentan en formato de cuatro imágenes, distinguibles entre sí por su color: a los tornados, les asignaremos el color rojo, al granizo el verde, al viento convectivo el morado y a las lluvias intensas el azul.

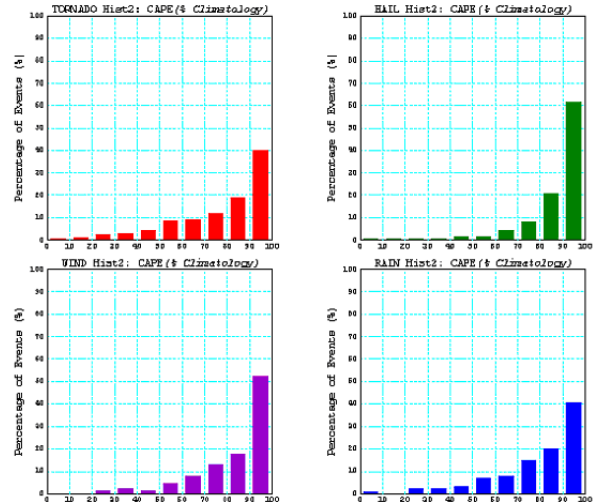
La existencia de una alta presencia de percentiles elevados significa que valores anormalmente elevados de dicho parámetro pueden estar relacionados con la presencia del acontecimiento de tiempo severo en concreto. Y al contrario: una distribución que no presente ninguna tendencia significativa para ninguno de los percentiles indica que este parámetro meteorológico no es relevante como indicador.

### 3.1 CAPE

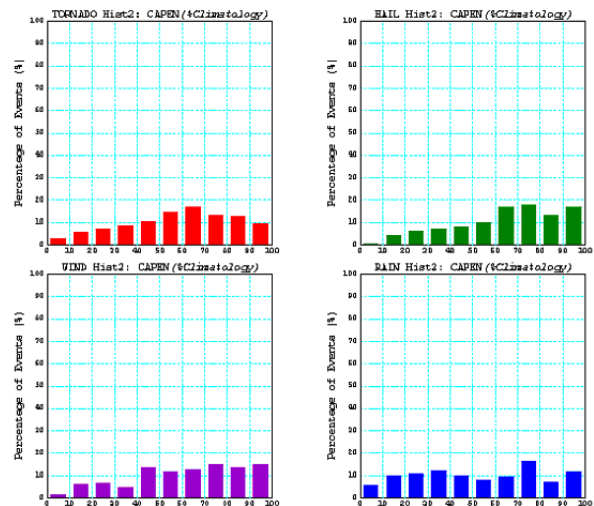
La CAPE representa la energía que puede ganar una partícula, inicialmente situada cerca del suelo, durante un hipotético ascenso debido a la flotabilidad, y que está relacionada con la liberación de calor latente. Los valores de la CAPE siguen un ciclo bastante bien definido sobre las regiones europeas, tomando los valores máximos durante el verano (julio-agosto) y el mínimo durante el invierno (enero-febrero).

El valor de la CAPE durante todos los fenómenos de tiempo severo (sobre todo en el caso del granizo) es muy superior al que esperaríamos según las climatologías (Fig.5). Este hecho es previsible, ya que al haber mucha energía disponible, la capacidad para desarrollar fenómenos de tiempo severo se ve facilitada.

Llama la atención que este resultado no se vea especialmente reflejado en el caso de los tornados. Seguramente se debe al hecho de que en este estudio se han tenido en cuenta todo tipo de tornados y no sólo los más significativos, como por ejemplo los superiores a F2 según la escala de Fujita (Fujita, 1981).



**Figura 5.** Distribución de los acontecimientos en función de la climatología local y del mes para la variable meteorológica CAPE.

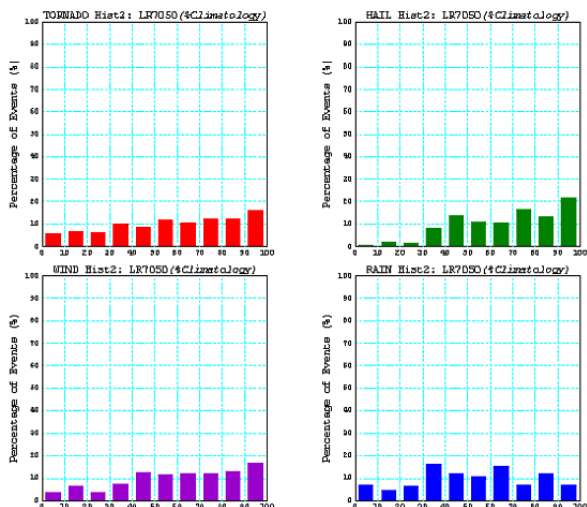


**Figura 6.** Distribución de los acontecimientos en función de la climatología local y del mes para la variable meteorológica CAPEN.

### 3.2 CAPEN

La CAPEN representa la barrera energética que hay que superar para poder tener CAPE, es decir, para que la partícula en cuestión pueda ascender libremente por flotabilidad. La existencia de esta barrera energética puede permitir al ambiente acumular valores elevados de energía convectiva en las capas bajas. El campo de CAPEN tiene un ciclo estacional similar al de la CAPE (máximo durante el verano y mínimo durante el invierno), pero las diferencias entre estaciones no son tan claras. Los valores mayores se encuentran en la parte inferior del dominio europeo, con diferencias espaciales más notorias durante el verano que durante el invierno.

En este caso, las distribuciones de percentiles están



**Figura 7.** Distribución de los acontecimientos en función de la climatología local y del mes para la variable meteorológica LR7050.

más repartidas (Fig. 6). Sí que se puede ver una pequeña tendencia, tanto en el caso del granizo y del viento convectivo a percentiles más elevados. En el caso de los tornados, también hay esta tendencia (aunque menor, seguramente también producida por haber considerado todas las categorías de tornado).

En el caso de los episodios de lluvias intensas observamos una diferencia con el resto de fenómenos de tiempo severo: en este caso, no hay ningún tipo de tendencia, por lo que podemos decir que el CAPEN no es una variable que afecte significativamente a los episodios de lluvia severa.

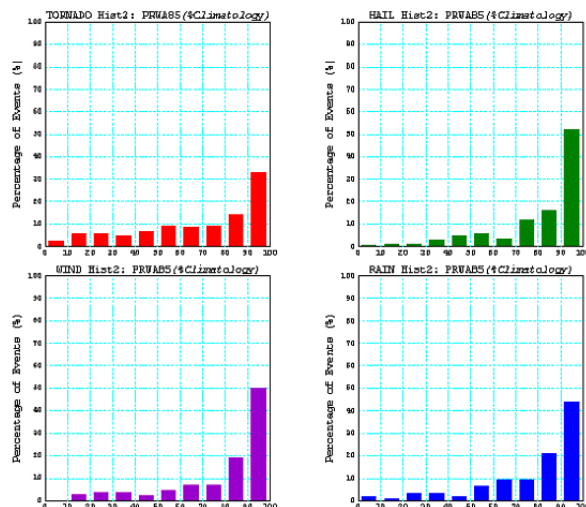
### 3.3 LR7050

La inclusión del “lapse rate”, o variación de la temperatura con la altura, en este estudio es para reflejar la contribución térmica a la estabilidad convectiva en la troposfera media (entre los niveles de 700 y 500 hPa). Para caracterizar el grado de inestabilidad convectiva, nos interesa realmente tener en cuenta la humedad (especialmente en niveles bajos), pero nos da una primera idea general.

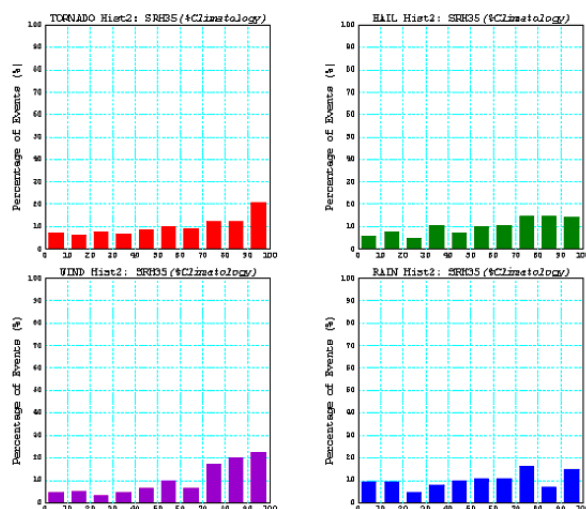
Lo que podemos comprobar es que también hay una ligera tendencia a percentiles elevados en el caso del granizo y del viento convectivo, y un poco inferior en el caso de tornados (Fig. 7). Para las lluvias, no hay ninguna tendencia (segundo parámetro que difiere del resto de fenómenos de tiempo severo).

### 3.4 PRWA85

La presencia de humedad en los niveles bajos de la troposfera es el ingrediente principal para desarrollar fenómenos convectivos. En Europa, los ambientes más húmedos se encuentran en el Mediterráneo y en el Océano Atlántico. El Mediterráneo está relativamente cálido durante



**Figura 8.** Distribución de acontecimientos en función de la climatología local y del mes para la variable meteorológica PRWA85.

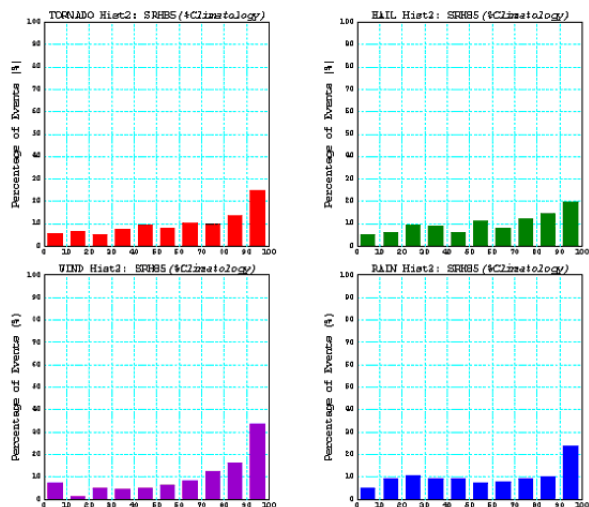


**Figura 9.** Distribución de los acontecimientos en función de la climatología y del mes para la variable SRH35.

todo el año, cosa que favorece la evaporación (incluso durante el invierno); en cambio, el Atlántico sólo mantiene las temperaturas altas en el sector sur (cerca de la península ibérica).

En todos los casos, la presencia de un alto contenido de vapor de agua en la troposfera baja, como ya habíamos comentado antes, favorece el desarrollo de estos fenómenos (Fig. 8). El hecho que las mayores evaporaciones se produzcan durante el verano nos ayuda a comprobar la gran dependencia que tiene este parámetro con los fenómenos de tiempo severo, ya que también habíamos comentado que la mayor parte de tormentas severas se producen durante el verano.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los perfiles típicos de CAPE (muy elevados) podemos pensar que cuando la troposfera baja tiene un alto contenido en vapor de



**Figura 10.** Distribución de los acontecimientos en función de la climatología local y del mes para la variable meteorológica SRH85.

agua es cuando se dan las mejores condiciones para que haya un fenómeno de tiempo severo.

### 3.5 SRH

El corte vertical del componente horizontal del viento en la troposfera se encuentra fuertemente influenciado por la baroclinicidad del ambiente, ya que el viento sobre la capa límite está dominado por el componente geostrofico. Los valores mayores se asocian al paso de ciclones extratropicales, que son más frecuentes y profundos durante la estación fría (la helicidad media es casi el doble que durante el verano).

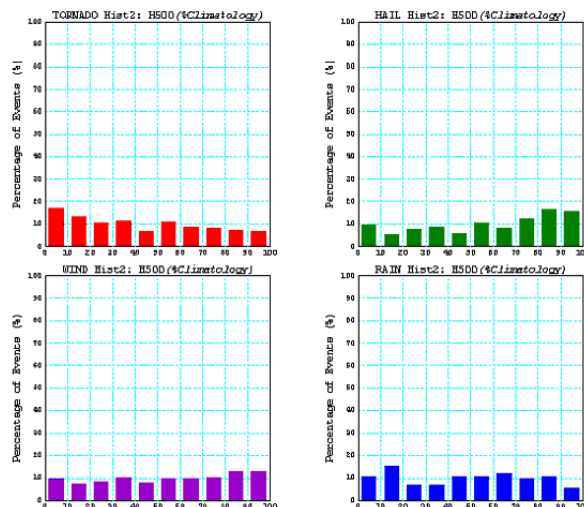
Al considerar la SRH85, al contrario de lo que pasa con la SRH35 en la cual se tiene en cuenta casi toda la troposfera, la topografía gana importancia, hay que tener más presente la capa límite y, por lo tanto, las contribuciones ageostroficadas.

La helicidad relativa a la tormenta es otro de los parámetros que también muestra una tendencia a los valores elevados en el caso de los fenómenos de tiempo severo, pero no en el caso de las lluvias intensas (Fig. 9 y 10).

La diferencia cualitativa entre SRH35 y SRH85 es que en el caso del viento convectivo, este segundo gana todavía más importancia, y que incluso en el caso de las lluvias intensas podría intuirse una cierta tendencia (pero muy pequeña). Por lo tanto, mirar la helicidad en SRH85 nos resulta más útil.

### 3.6 H500

El primero de los parámetros que se añaden a los de diagnóstico es la altura geopotencial a 500 hPa, que nos da una idea de la distribución de presiones cerca de los 5 km de altura.



**Figura 11.** Distribución de los acontecimientos en función de la climatología local y del mes para la variable meteorológica H500.

En un principio, es de esperar una contribución (para todos los fenómenos) que mostrara la mayor presencia de valores bajos (bajas presiones en forma de vaguada o depresión aislada), pero al mirar los resultados (Fig. 11) vemos que no es cierto. Sólo en el caso de los tornados sí que se cumplen las previsiones, pero en el caso del granizo, incluso nos muestra una tendencia hacia valores elevados. Recordemos que se está evaluando este campo no en términos absolutos, sino en relación a la climatología.

### 3.7 SLP

Otro de los parámetros que se ha incluido es el de la presión al nivel del mar.

Mirando las presiones al nivel del mar, sí que recordamos lo que nos esperábamos antes: los fenómenos de tiempo severo se ven favorecidos cuando hay bajas presiones (Fig. 12).

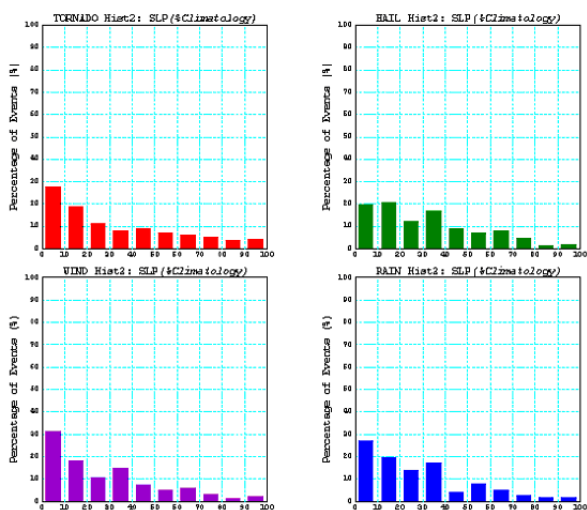
### 3.8 T850

Finalmente, el último parámetro que aparece en la lista es el de la temperatura a 850 hPa. Anteriormente se ha comentado que altas temperaturas en niveles bajos favorecen la evaporación y contribuyen energéticamente al desarrollo de fenómenos de tiempo severo.

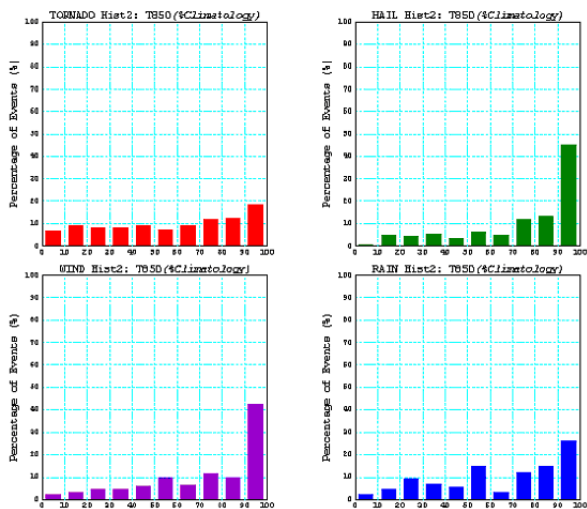
Podemos comprobar cómo, en todo los casos (sobre todo en “hail” y “wind”), los percentiles superiores al 90 toman mucha importancia (Fig. 13). En relación a los tornados, seguramente también se nota la influencia de haber considerado los tornados de categorías inferiores.

**Tabla 1.** Percentiles dominantes para cada parámetro meteorológico, en relación a cada tipo de fenómeno de tiempo severo.

	TORNADO	HAIL	WIND	RAIN
<b>CAPE</b>	<b>muy altos</b>	<b>muy altos</b>	<b>muy altos</b>	<b>muy altos</b>
CAPEN	altos	altos	altos	indiferentes
LR7050	altos	altos	altos	indiferentes
<b>PRW85</b>	<b>muy altos</b>	<b>muy altos</b>	<b>muy altos</b>	<b>muy altos</b>
SRH35	altos	altos	altos	indiferentes
SRH85	altos	altos	muy altos	indiferentes
H500	bajos	altos	indiferentes	indiferentes
<b>SLP</b>	<b>muy bajos</b>	<b>muy bajos</b>	<b>muy bajos</b>	<b>muy bajos</b>
<b>T850</b>	<b>altos</b>	<b>muy altos</b>	<b>muy altos</b>	<b>altos</b>



**Figura 12.** Distribución de los acontecimientos en función de la climatología local y del mes para la variable meteorológica SLP.



**Figura 13.** Distribución de los acontecimientos en función de la climatología local y del mes para la variable meteorológica T850.

### 4 Conclusiones

Comparando los diferentes resultados se construye, de manera subjetiva, el siguiente cuadro resumen (1) en el cual se distinguen (sombreados) los parámetros más significativos. Estos parámetros son los que caracterizan más claramente los ambientes convectivos severos, pero sin la posibilidad, en general, de permitir discriminar de qué fenómeno se trata.

Valores muy elevados de CAPE, alto contenido de vapor de agua en niveles bajos, temperaturas anormalmente elevadas a 850 hPa, y valores bajos de la presión a nivel del mar, parecen estar asociados al desarrollo del tiempo severo.

El resto de parámetros no son claros marcadores de fenómenos severos, pero sí que nos pueden ayudar a diferenciar a qué tipo de acontecimiento hacen referencia los marcadores anteriores.

Así pues, si H500 es bajo, sería un indicador de que el tiempo severo deducido utilizando los parámetros anteriores es un tornado; si es alto, nos sugeriría la posibilidad de granizo; y si no presenta ninguna tendencia clara, nos indicaría lluvias o viento. Todavía podríamos intentar distinguir entre estas dos últimas posibilidades analizando el comportamiento de SRH85, ya que los valores altos de este parámetro parecen estar relacionados sólo con episodios de viento convectivo y no lluvias intensas.

El trabajo aquí presentado podría mejorarse significativamente ampliando la base de datos. El hecho de que la mayoría de los fenómenos aquí estudiados se encuentren en Europa central limita la visión global europea a la que se aspira.

Hay otros parámetros e índices convectivos empíricos (p.e. SI, LI, K, TT, SWEAT, BRN, etc.) que podemos tener en cuenta: aquí sólo hemos fijado unos cuantos. Parte del trabajo futuro sería comprobar la validez de estos índices (la mayoría de los cuales ya han sido estudiados en los EUA) en la región europea.

**Agradecimientos.** Este estudio corresponde a un Trabajo Académicamente Dirigido de la Licenciatura de Física de la UIB. Agradecemos la acogida que hemos recibido por parte del Grupo de Meteorología y los distintos medios proporcionados. El tutor del trabajo agradece al Ministerio de Educación y Ciencia su apoyo a través del proyecto PRECIOSO (CGL2005-03918/CLI). También queremos agradecer la colaboración del grupo GAMA de la Unver-



sitat de Barcelona por la base de datos proporcionada, que forma parte del proyecto MEDEX. Los resultados obtenidos no habrían sido posibles sin los análisis meteorológicos proporcionados por el ECMWF.

## Referencias

- Barnolas, M., 2002-2004: *Desarrollo de un sistema ACCESS/SIG en el ámbito de las ciencias de la atmósfera: Estudio de las inundaciones en Catalunya, 1901-2000*, Bachelor of Meteorology Ph.D. Astronomy & Meteorology programme of the University of Barcelona.
- Barnolas, M. y Llasat, M., 2005: *Aplicación de una herramienta SIG en el estudio de las inundaciones en Catalunya*, Revista del aficionado a la Meteorología, p. 28.
- Doswell-III, C., 2001: *Severe Convective Storms*, Meteorol. Monogr., **50**.
- Doswell-III, C. y D.M.Schultz, 2006: *On the use of indices and parameters in forecasting severe storms*, Electron. J. Severe Storms Meteor., **1**, 1–14.
- Fujita, T., 1981: *Tornadoes and downburst in the context of generalized planetary scales*, J. Atmos. Sci., **38**, 1511–1534.
- Gayà, M., 2005: *Tornados en España (1987-2005): Distribución espacial y temporal*, Rev. Climatol., **5**, 9–17.
- Gayà, M., Homar, V., Romero, R., y Ramis, C., 2001: *Tornadoes and waterspouts in the Balearic Islands: Phenomena and environment characterization*, Atmos. Res., **56**, 253–267.
- Giaiotti, D., Nordio, S., y Stel, F., 2003: *The climatology of hail in the plain of Friuli Venezia Giulia*, Atmos. Res., **67-68**, 247–259.
- Johns, R. y Doswell-III, C., 1992: *Severe local storm forecasting*, Weather Forecast., **7**, 588–612.
- Leitão, P., 2003: *Tornadoes in Portugal*, Atmos. Res., **67-68**, 381–390.
- Marcinoniene, I., 2003: *Tornadoes in Lithuania in the period of 1950-2002 including analysis of the strongest tornado of 29 May 1981*, Atmos. Res., **67-68**, 475–484.
- Romero, R., Gayà, M., y Doswell-III, C., 2006: *European climatology of severe convective storm environmental parameters: A test for significant tornado events*, Atmos. Res., [in press].
- Setvák, M., Sálek, M., y Munzar, J., 2003: *Tornadoes within the Czech Republic: from early medieval chronicles to the "internet society"*, Atmos. Res., **67-68**, 589–605.
- Sioutas, M., 2003: *Tornadoes and waterspouts in Greece*, Atmos. Res., **67-68**, 645–656.
- Tudurí E. y Ramis, C., 1997: *The environments of significant convective events in the Western Mediterranean*, Weather Forecast., **12**, 294–306.
- Tyrrell, J., 2003: *A tornado climatology for Ireland*, Atmos. Res., **67-68**, 671–684.