



Cap a una climatologia europea de paràmetres meteorològics associats a la gènesi de tempestes severes

M. Tous¹ and R. Romero²

¹Estudiant de la Llicenciatura en Ciències Físiques, Universitat de les Illes Balears

²Tutor, Grup de Meteorologia, Departament de Física, Universitat de les Illes Balears

Rebut: 28/IX/2006 – Acceptat: 20/XII/2006 – **Versió Original**

Correspondència a: mariatous@yahoo.es

Resum

En aquest estudi s'analitza la rellevància d'alguns paràmetres meteorològics per a determinar la presència de tempestes severes dins el domini europeu. Els valors exactes que prenen aquests paràmetres durant un cas de temps sever no es considera el més important, sinó que es té en compte la relació que tenen al ser comparats amb les climatologies locals. Per fer-ho, es fa servir un llistat d'esdeveniments succeïts entre 1970 i 2005 dins el domini europeu, i es mostra com la CAPE (Convective Available Potential Energy), el contingut de vapor d'aigua fins els 850 hPa, la temperatura als 850 hPa i la pressió a nivell de la mar, estan molt relacionats amb els fenòmens de temps sever; mentre que altres, com la CAPEN (Convective Inhibition Energy), la variació de temperatura entre 700 i 500 hPa, les helicitats relatives a la tempesta i l'altura geopotencial a 500 hPa, són menys rellevants.

1 Introducció

Pel territori europeu, no existeix una bona base de dades de fenòmens de temps sever que pugui servir com a punt de partida per a posteriors estudis, com el que es vol fer aquí, de relacionar aquests esdeveniments amb les climatologies específiques i que serveixi per a millorar mètodes de previsió. Tan sols s'han creat algunes bases de dades d'abast regional, sovint sense cap suport institucional Barnolas (2002-2004); Barnolas i Llasat (2005) per Catalunya; Gayà et al. (2001) per les Illes Balears; Gayà (2005) per Espanya; Giaioti et al. (2003) pel nord d'Itàlia; Leitão (2003) per Portugal; Marcinoniene (2003) per Lituània, Setvák et al. (2003) per la República Xeca; Sioutas (2003) per Grècia; i Tyrrell (2003) per Irlanda. En canvi, als EUA fa anys que funciona una base de dades d'aquestes característiques (gestionada pel National Weather Service) on es té constància d'aquests tipus de fenòmens, incloent-hi tornados, calamarsa i vents forts d'origen convectiu.

Des de fa uns quants d'anys, el projecte europeu ESWD (European Severe Weather Database; <http://www.essl.org/projects/ESWD>) intenta pal·liar aquest dèficit prenent com exemple l'americà, però encara es troba en vies de desenvolupament i no és suficient per sustentar tot el pes d'un tre-

ball. En el nostre cas, s'ha utilitzat aquesta base de dades de l'ESWD, a la que s'han afegit altres dades, com les del projecte de l'ECSS (European Climatology on Severe Storms; (Romero et al., 2006); <http://ecss.uib.es>), casos específics de pluges intenses proporcionats pel grup GAMA de la Universitat de Barcelona, i esdeveniments trobats en diferents mitjans de comunicació. Malgrat aquest fet, la dificultat de tenir una base de dades adient, s'ha mantingut al llarg del treball.

A més a més dels esdeveniments abans anomenats: tornados, calamarsa (pedres de més de 2 cm de diàmetre) i vents forts d'origen convectiu (amb velocitats iguals o superiors a 25 m/s), en aquest treball també s'ha considerat apropiat incloure episodis de pluges intenses (algunes de les quals han pogut ocasionar inundacions) degut a l'alta freqüència en què ocorren, sobretot en la conca mediterrània, i la similitud de les conseqüències que sofreix la població. En total, s'han recollit un total de 638 tornados, 223 calamarsades, 208 episodis de vents forts d'origen convectiu i 120 pluges intenses. Durant l'estudi, ens referirem a aquests fenòmens com "tornado", "hail", "wind" i "rain", respectivament.

Aquests esdeveniments no s'han recollit de manera uniforme al llarg del període d'estudi: la major part d'ells es concentren en els darrers anys, degut a una major consciència dels investigadors de la necessitat de millorar les bases de

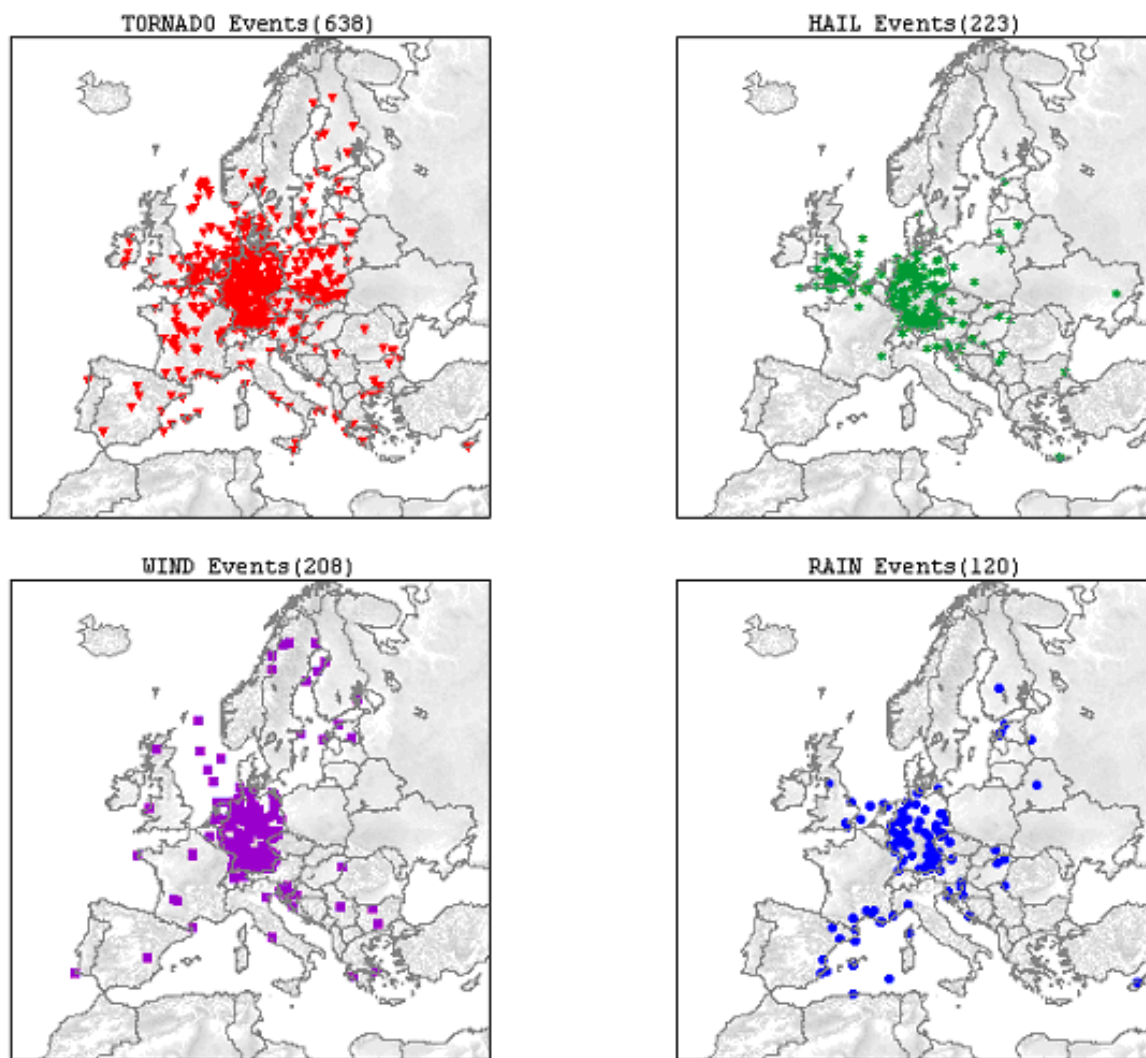


Figura 1. Distribució geogràfica dels esdeveniments seleccionats.

dades al respecte.

Quan es demana una relació entre algun paràmetre meteorològic i la presència de temps sever, hom tendeix a estudiar-ho referint-se al valor de la variable. En aquest cas, no és aquesta la prioritat, sinó fer-ho des del punt de vista climatològic, mirant com d'usual és aquest valor en aquell lloc i mes en concret.

Idealment, la nostra base de dades hauria de reflectir la distribució geogràfica de temps sever a Europa, però quan es representa on es troben els esdeveniments (Fig. 1), podem observar l'inconvenient de no haver-ho aconseguit, mostrant una clara tendència a la recopilació de dades centroeuropees degut a la composició actual de la base de dades ESWD consultada. Aquesta heterogeneïtat de la distribució de les dades comporta una certa disminució de la validesa estadística dels resultats.

Recordem que les climatologies d'ingredients meteorològics amb les que nosaltres fem feina, són representatives

d'una zona en un mes concret, així que mirar una distribució mensual dels esdeveniments, també ens pot resultar útil (Fig. 2).

En aquest cas es pot veure com tenim registres de tempestes severes durant tot l'any, però sobretot els mesos corresponents amb l'estació càlida, en què l'aportació energètica és major i, per tant, es poden desenvolupar amb major facilitat aquests fenòmens.

També una distribució horària (Fig. 3), ens permet treure conclusions:

El primer que s'observa és el pic situat a les 12 h en totes les gràfiques, una dada que pot induir a confusió. És degut a que quan no s'ha tingut la certesa de l'hora de l'esdeveniment, s'ha considerat migdia, i per tant, la freqüència en aquest interval horari està clarament sobreestimada.

Menyspreant aquest pic, se'n troba un altre, ara ja sí amb significat físic, que ens informa que la major part dels

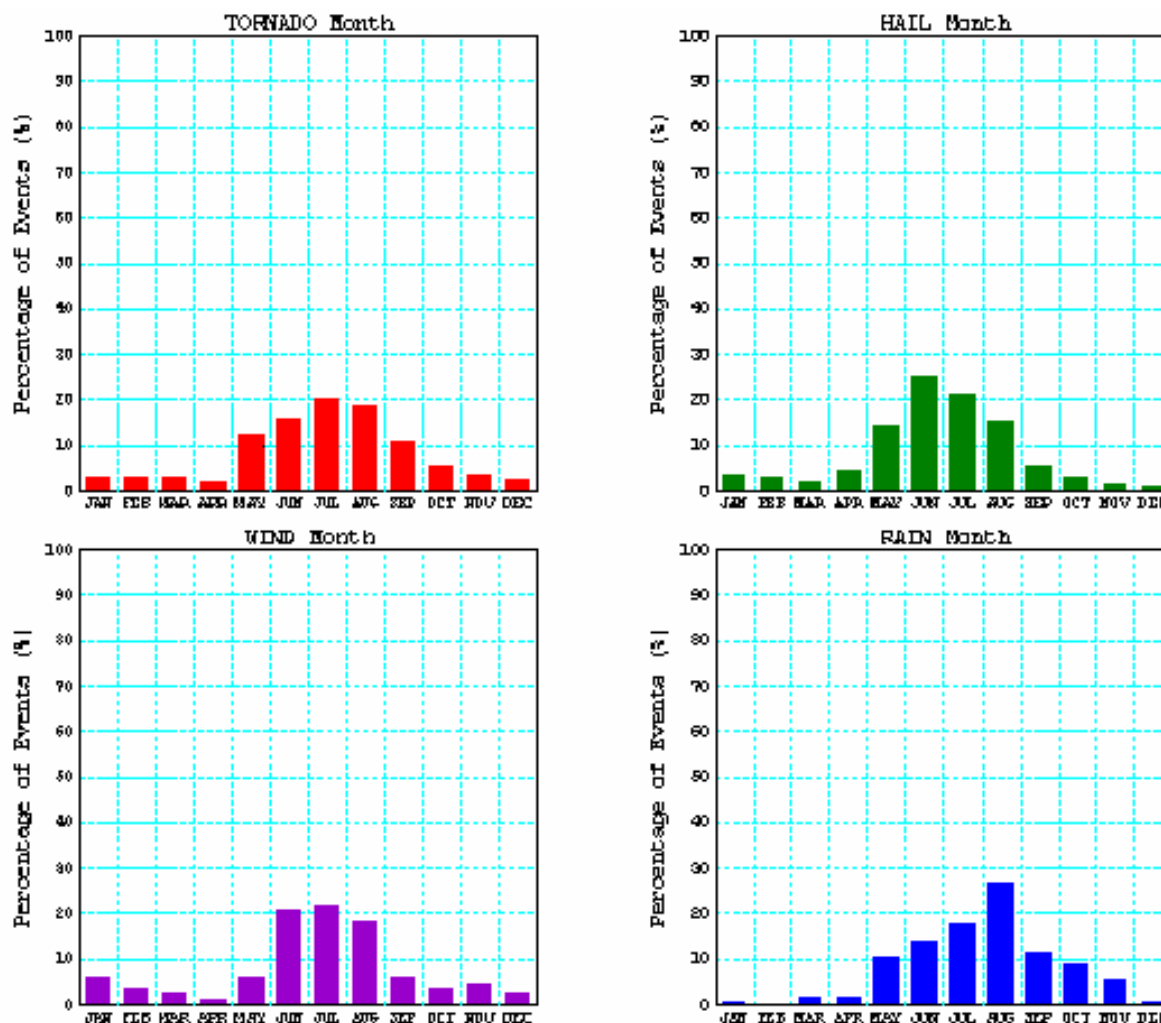


Figura 2. Distribució mensual dels esdeveniments seleccionats.

esdeveniments es concentren a la tarda, al voltant de les 17 h. Aquest fet és degut al cicle diürn i, tal com passava en la distribució mensual, l'acumulació durant tot el dia d'energia afavoreix el desenvolupament d'aquest tipus de fenòmens.

2 Paràmetres meteorològics i productes estadístics

Les observacions de radiosondatge són l'eina que s'utilitza freqüentment per caracteritzar les condicions ambientals (Tudurí i Ramis, 1997, p.e.), que en el nostre cas d'estudi ens servien per determinar la probabilitat de tempestes i fenòmens convectius severes. La seva densitat espacial és acceptable en moltes àrees continentals. Els defectes que s'hi poden trobar són les 12 hores que separen cada sondeig i la limitació dels punts de sondeig en zones perifèriques, com per exemple en la mar Mediterrània. Com a conseqüència, les climatologies s'han construït utilitzant les dades de reanàlisi ERA-40 (ECMWF Re-Analysis data),

dins el projecte que es desenvolupa en l'European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF).

El projecte ECMWF ERA-40 comprèn quaranta-cinc anys (1957-2002) de dades de reanàlisi de la globalitat de l'atmosfera i condicions superficials, amb una resolució espacial de 125 km, i temporal de 6 hores: 00, 06, 12, 18 UTC.

Les dades d'aquest projecte, fins agost de 2002, no sols ens serveixen per crear les climatologies (corresponents al període 1971-2000), sinó que també ens serviran en la determinació de les condicions meteorològiques durant els esdeveniments de tempestes severes. A partir d'aleshores, les dades amb què es fa feina són les de les anàlisis operatives, del mateix ECMWF, amb resolució espacial de 30 km, i temporal de també 6 hores. Totes aquestes dades, s'han tractat i fet les interpolacions necessàries per poder-les referir a una xarxa de punts regularment espaiats (30 km) sobre Europa segons una projecció de Lambert.

Degut a que la localització dels esdeveniments de temps sever no tenen perquè coincidir ni amb cap punt de la xarxa espacial, ni amb una de les quatre possibles hores

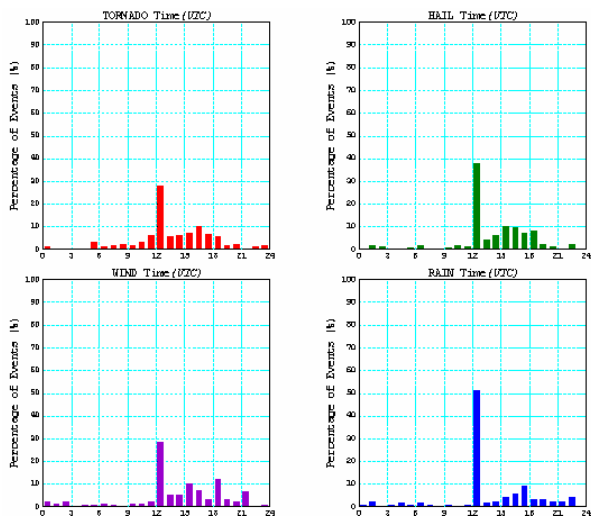


Figura 3. Distribució horària de l'inici dels esdeveniments seleccionats.

en què es tenen dades de les variables meteorològiques, hem fet l'aproximació al punt més proper de la xarxa, i a l'hora disponible immediatament anterior a l'inici de l'esdeveniment.

Les variables meteorològiques que s'han triat per fer l'estudi són fruit de càlculs de diagnòstic:

- Energia potencial convectiva disponible per la partícula superficial: **CAPE** (J kg^{-1}).
- Energia d'inhibició convectiva per la partícula superficial: **CAPEN** (J kg^{-1}).
- Variació de la temperatura amb l'altura, en la troposfera mitja, entre 700 i 500 hPa: **LR7050** ($^{\circ}\text{C km}^{-1}$).
- Quantitat de vapor d'aigua, en la troposfera baixa, fins 850 hPa: **PRWA85** (mm).
- Helicitat relativa a la tempesta, entre 1000 i 350 hPa: **SRH35** ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$).
- Helicitat relativa a la tempesta, entre 1000 i 850 hPa: **SRH85** ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$).

En el cas de SRH35 i SRH85, el moviment de la tempesta ha estat estimat aplicant la regla del '30R75' (Johns i Doswell-III, 1992) sobre el vent mig de la capa entre 1000-400 hPa. Això implica que el vector de moviment de la tempesta es pot trobar girant 30° a la dreta el vector vent mig, i prenent el 75% de la seva velocitat.

En treballs passats s'ha pogut veure com aquest petit conjunt de paràmetres s'ha associat al desenvolupament de tempestes severes (Doswell-III, 2001). Som conscients que existeixen moltes més variables que podrien ser considerades aquí, fins i tot una llarga col·lecció d'índexs empírics d'inestabilitat (Doswell-III i D.M.Schultz, 2006), però això es deixa per un possible treball futur.

A més d'aquesta llista de paràmetres de diagnòstic, també n'hem extret tres més (de les bases de dades de reanàlisi o anàlisi) directament lligats als mapes sinòptics:

- Altura geopotencial, a 500 hPa: **H500** (m).
- Pressió a nivell de la mar: **SLP** (hPa).
- Temperatura, a 850 hPa: **T850** ($^{\circ}\text{C}$).

Durant el tractament de la base de dades d'esdeveniments en traiem tres tipus de resultats estadístics:

- **HIST1**: representa el nombre d'events en funció del valor de la variable meteorològica.
- **HIST2**: representa el nombre d'events en funció de la climatologia de la variable meteorològica.
- **STATS**: és una combinació de l'HIST1 i HIST2.

Com hem dit anteriorment, el que ens interessa realment a nosaltres és relacionar el valor dels paràmetres meteorològics amb les climatologies locals i del mes. Per tant, el que ens interessa en aquest treball és l'HIST2 (els altres indicadors estadístics es poden trobar en <http://ecss.uib.es>).

Dir que durant un episodi de temps sever, la temperatura a 850 hPa és de 15°C , no té per què cridar l'atenció si estam parlant del mes d'agost en la costa mediterrània de la península ibèrica, però en canvi, sí que seria molt significatiu si estiguéssim parlant del mes de gener (en el mateix lloc) o d'Escandinàvia (durant qualsevol mes de l'any). Per aquest motiu, ens interessa treballar tenint en compte les climatologies. En aquests dos darrers casos (en què sí que es tractaria d'una temperatura anormal) el que ens mostraria l'estudi climatològic seria una contribució dels percentils elevats, ja que la major part de les vegades, el valor de la variable (en aquest cas, temperatura a 850 hPa) és inferior al que s'ha obtingut en aquest moment. Pel contrari, una temperatura de -5°C a Escandinàvia el mes de gener, és totalment normal, però suposaria una contribució en percentils baixos si estàssim mirant el mes d'agost (en el mateix lloc) o a la Mediterrània (veure l'esquema de la Fig. 4).

- Percentil ~ 5 : $T = -5^{\circ}\text{C}$ a Escandinàvia el mes d'agost, o a la Mediterrània qualsevol mes.
- Percentil ~ 50 : $T = -5^{\circ}\text{C}$ a Escandinàvia el mes de gener; $T = 15^{\circ}\text{C}$ a la Mediterrània el mes d'agost.
- Percentil ~ 95 : $T = 15^{\circ}\text{C}$ a Escandinàvia qualsevol mes, o a la Mediterrània el mes de gener.

3 Resultats

Els resultats es presenten de tal manera que es puguin comparar els diferents fenòmens entre sí, per veure si hi ha paràmetres comuns en tots ells, i quins són els discriminadors. Per aquest motiu, els resultats per cada paràmetre es presenten en format de quatre imatges, distingibles entre sí pel seu color: als tornados els assignarem el color vermell, a la calamarsa el verd, al vent convectiu el morat, i a les pluges intenses el blau.

L'existència d'una alta presència de percentils elevats significa que valors anormalment elevats de dit paràmetre poden estar relacionats a la presència de l'esdeveniment de temps sever en concret. I al contari: una distribució que no

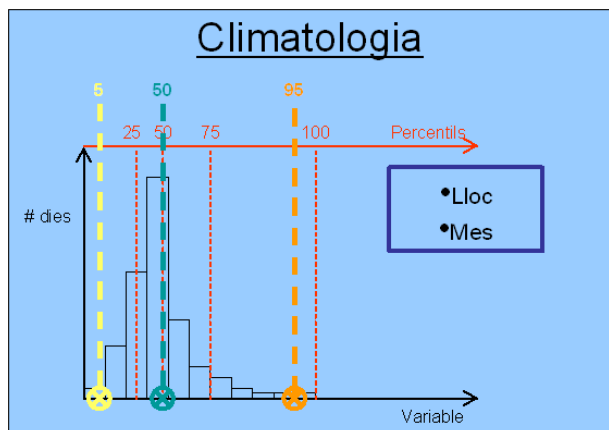


Figura 4. Relació entre la variable meteorològica simultània a un esdeveniment de temps sever i la climatologia local i del mes (veure text).

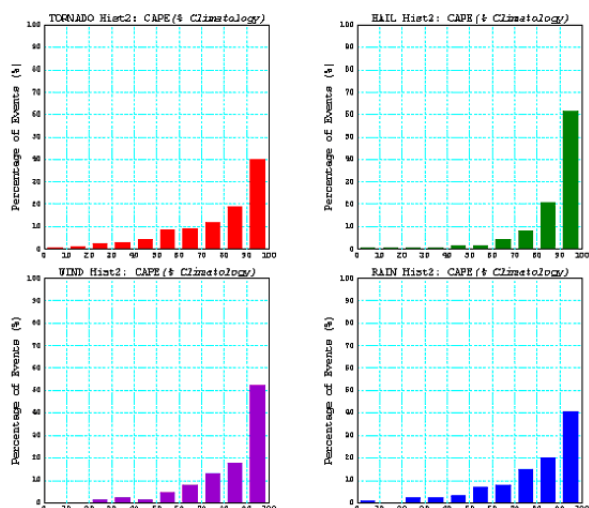


Figura 5. Distribució dels esdeveniments en funció de la climatologia local i del mes per a la variable meteorològica CAPEN.

presenti cap tendència significativa per cap dels percentils indica que aquest paràmetre meteorològic no és rellevant com a indicador.

3.1 CAPE

La CAPE representa l'energia que pot guanyar una partícula, inicialment situada prop del sòl, durant un hipotètic ascens degut a flotabilitat, i que està relacionada amb l'alliberació de calor latent. Els valors de la CAPE segueixen un cicle prou ben definit sobre les regions europees, prenent els valors màxims durant l'estiu (juliol-agost) i el mínim durant l'hivern (gener-febrer).

El valor de la CAPE durant tots els fenòmens de temps sever (sobretot en el cas de la calamarsa) és molt superior al que esperaríem segons les climatologies (Fig. 5). Aquest fet

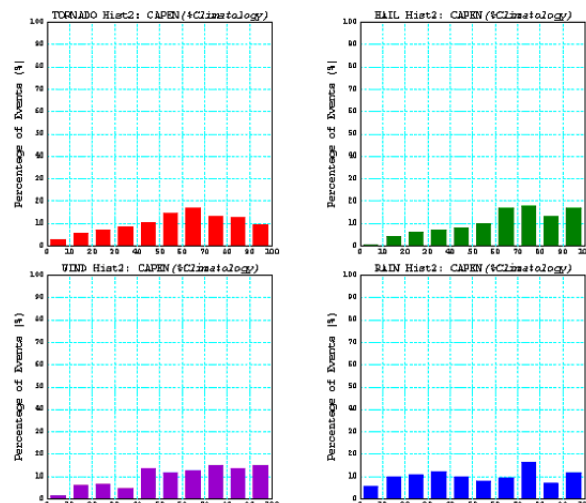


Figura 6. Distribució dels esdeveniments en funció de la climatologia local i del mes per a la variable meteorològica CAPEN.

és previsible, ja que a l'haver-hi molta energia disponible, la capacitat per desenvolupar fenòmens de temps sever es veu facilitada.

Crida l'atenció que aquest resultat no es vegi especialment reflectit en el cas dels tornados. Segurament és degut al fet que en aquest estudi s'hagin tingut en compte tot tipus de tornados i no sols els més significatius, com per exemple els superiors a F2 segons l'escala de Fujita (Fujita, 1981).

3.2 CAPEN

La CAPEN representa la barrera energètica que s'ha de superar per poder tenir CAPE, això és, per a que la partícula en qüestió pugui ascendir lliurement per flotabilitat. L'existència d'aquesta barrera energètica pot permetre a l'ambient acumular valors elevats d'energia convectiva a les capes baixes. El camp de CAPEN té un cicle estacional similar al de la CAPE (màxim durant l'estiu i mínim durant l'hivern), però les diferències entre estacions no és tan clara. Els valors majors es troben en la part inferior del domini europeu, amb diferències espacials més notòries durant l'estiu que en l'hivern.

En aquest cas, les distribucions de percentils estan més repartides (Fig. 6). Sí que es pot veure una petita tendència, tant en el cas de la calamarsa i del vent convectiu a percentils més elevats. En el cas dels tornados, també hi ha aquesta tendència (encara que menor, segurament també produïda per haver considerat totes les categories de tornado).

Pel cas dels episodis de pluges intenses observam una diferència amb la resta de fenòmens de temps sever: en aquest cas, no hi ha cap tipus de tendència, pel que podem dir que el CAPEN no és una variable que afecti significativament els episodis de pluja severa.

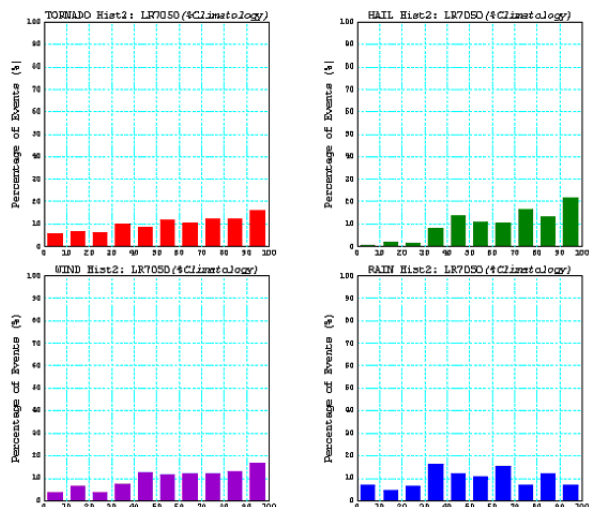


Figura 7. Distribució dels esdeveniments en funció de la climatologia local i del mes per a la variable meteorològica LR7050.

3.3 LR7050

La inclusió del “lapse rate”, o variació de la temperatura amb l’altura, en aquest estudi és per reflectir la contribució tèrmica a la estabilitat convectiva en la troposfera mitja (entre els nivells de 700 i 500 hPa). Per caracteritzar el grau d’instabilitat convectiva, realment ens interessa tenir en compte la humitat (especialment en nivells baixos), però ens dona una primera idea general.

El que es pot comprovar és que també hi ha una lleugera tendència a percentils elevats en el cas de la calamarsa i del vent convectiu, i una mica inferior en el cas de tornados (Fig. 7). Per a les pluges, no hi ha cap tendència (segon paràmetre que difereix amb la resta de fenòmens de temps sever).

3.4 PRWA85

La presència d’humitat en els nivells baixos de la troposfera és l’ingredient principal per desenvolupar fenòmens convectius. En Europa, els ambients més humits es troben en la Mediterrània i en l’Oceà Atlàntic. La Mediterrània està relativament càlida durant tot l’any, el que afavoreix l’evaporació (fins i tot durant l’hivern); en canvi, l’Atlàntic sols manté les temperatures altes en el sector sud (prop de la península ibèrica).

En tots els casos, la presència d’un alt contingut de vapor d’aigua en la troposfera baixa, com ja havíem comentat abans, afavoreix el desenvolupament d’aquests fenòmens (Fig. 8). El fet que les majors evaporacions es produeixen durant l’estiu, ens ajuden a comprovar la gran dependència que té aquest paràmetre amb els fenòmens de temps sever, ja que també havíem comentat que la major part de tempestes severes es produeixen durant l’estiu.

Tenint en compte els resultats obtinguts en els perfils típics de CAPE (molt elevats) podem pensar que quan la tro-

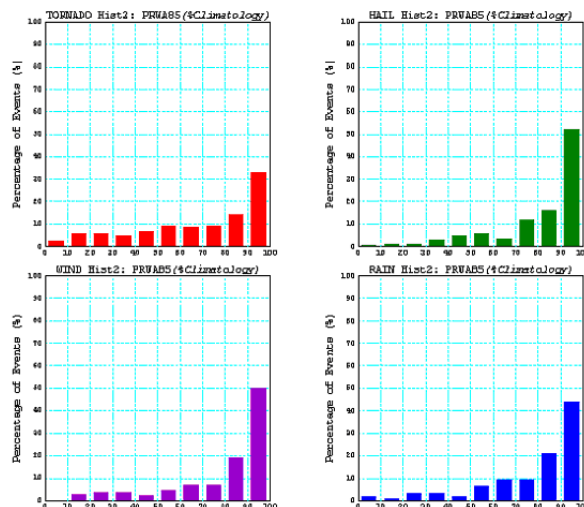


Figura 8. Distribució dels esdeveniments en funció de la climatologia local i del mes per a la variable meteorològica PRWA85.

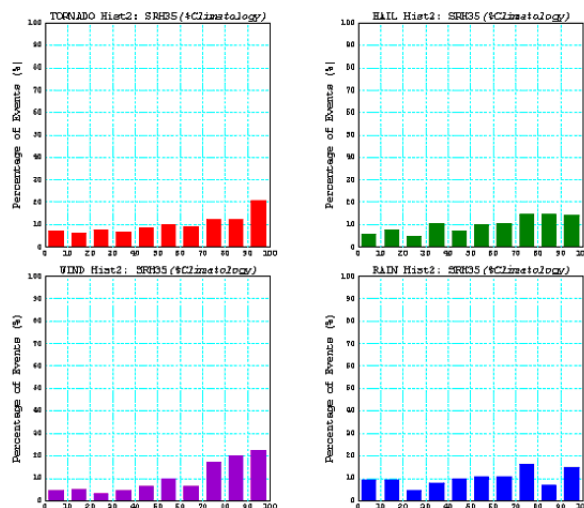


Figura 9. Distribució dels esdeveniments en funció de la climatologia i del mes per a la variable SRH35.

posfera baixa té un alt contingut en vapor d’aigua és quan es donen les millors condicions per haver-hi un fenomen de temps sever.

3.5 SRH

El cisallament vertical del component horitzontal del vent en la troposfera es troba fortament influenciat per la baroclinicitat de l’ambient, ja que el vent sobre la capa límit està dominat per la component geostrofica. Els valors majors s’associen al pas de ciclons extratropicals, els quals són més freqüents i profunds durant l’estació freda (l’helicitat promig és gairebé el doble que durant l’estiu).

Al considerar la SRH85, al contrari del que passa amb la SRH35 en què es té en consideració quasi tota la tropo-

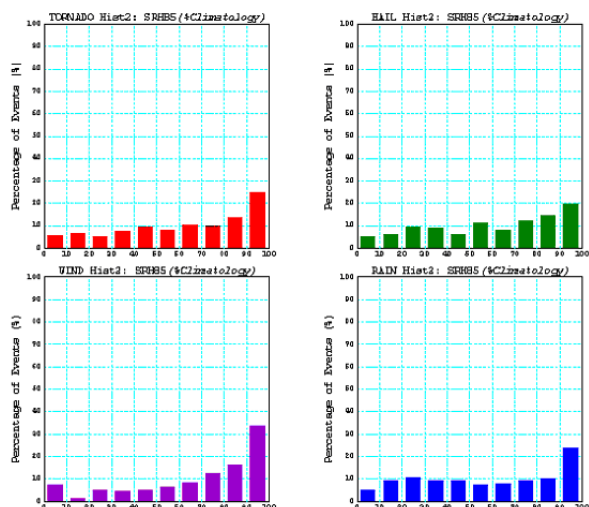


Figura 10. Distribució dels esdeveniments en funció de la climatologia local i del mes per a la variable meteorològica SRH85.

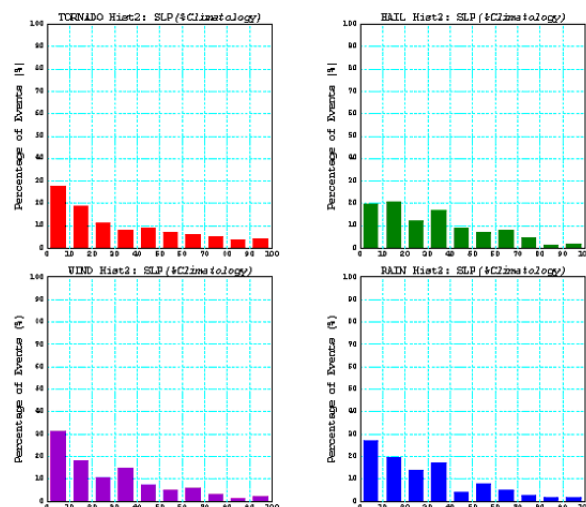


Figura 12. Distribució dels esdeveniments en funció de la climatologia local i del mes per a la variable meteorològica SLP.

3.6 H500

El primer dels paràmetres que s'afegeixen als de diagnòstic, és l'altura geopotencial a 500 hPa, que ens dona una idea de la distribució de pressions prop dels 5 km d'altura.

En un principi, és d'esperar una contribució (per a tots els fenòmens) que mostrés la major presència de valors baixos (baixes pressions en forma de tàlveg o depressió aïllada), però al mirar els resultats (Fig. 11) veiem com no és cert. Sols pel cas dels tornados, sí que es compleixen les previsions, però en el cas de la calamarsa, fins i tot ens mostra una tendència a valors elevats. Recordem que s'està avaluant aquest camp no en termes absoluts, sinó en relació a la climatologia.

3.7 SLP

Un altre dels paràmetres que s'ha inclòs és el de la pressió al nivell de la mar.

Mirant les pressions al nivell de la mar, sí que recobrem el que ens esperàvem abans: els fenòmens de temps sever es veuen afavorits quan hi ha baixes pressions (Fig. 12).

3.8 T850

Finalment, el darrer paràmetre que apareix en la llista, és el de la temperatura a 850 hPa. Anteriorment s'ha comentat que altes temperatures en nivells baixos afavoreixen l'evaporació i contribueixen energèticament en el desenvolupament de fenòmens de temps sever.

Es pot comprovar com, en tot els casos (sobretot en "hail" i "wind"), els percentils superiors al 90 prenen molta importància (Fig. 13). Referent als tornados, segurament també es nota la influència d'haver considerat els tornados de categories inferiors.

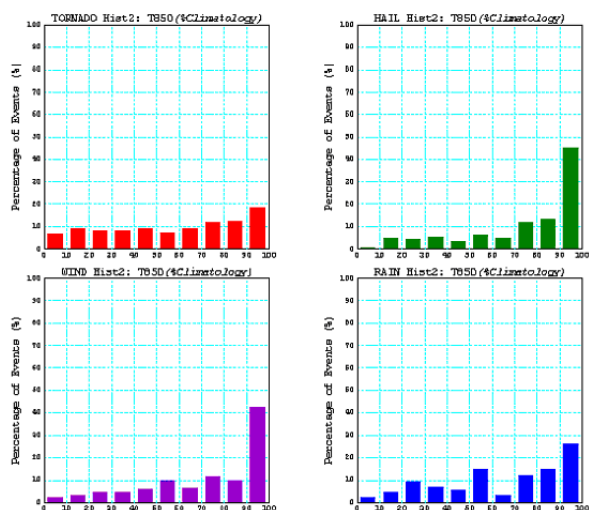
fera, la topografia guanya importància, la capa límit s'ha de tenir més present i, per tant, les contribucions ageostròfiques.

L'helicitat relativa a la tempesta és un altre dels paràmetres que també mostra una tendència als valors elevats en el cas dels fenòmens de temps sever, però no en el cas de les pluges intenses (Fig. 9 i 10).

La diferència qualitativa entre SRH35 i SRH85 és que en el cas del vent convectiu, aquest segon encara guanya més importància, i que fins i tot en el cas de les pluges intenses es podria intuir una certa tendència (però molt petita). Per tant, mirar l'helicitat en SRH85 ens és de més utilitat.

Taula 1. Percentils dominants per a cada paràmetre meteorològic, en relació a cada tipus de fenomen de temps sever.

	TORNADO	HAIL	WIND	RAIN
CAPE	molt alts	molt alts	molt alts	molt alts
CAPEN	alts	alts	alts	indiferents
LR7050	alts	alts	alts	indiferents
PRW85	molt alts	molt alts	molt alts	molt alts
SRH35	alts	alts	alts	indiferents
SRH85	alts	alts	molt alts	indiferents
H500	baixos	alts	indiferents	indiferents
SLP	molt baixos	molt baixos	molt baixos	molt baixos
T850	alts	molt alts	molt alts	alts

**Figura 13.** Distribució dels esdeveniments en funció de la climatologia local i del mes per a la variable meteorològica T850.

4 Conclusions

Comparant els diferents resultats, es construeix, de manera subjectiva, la següent taula resum (Taula 1) en què es distingeixen (ombrejant-los) els paràmetres més significatius. Aquests paràmetres són els que caracteritzen més clarament els ambients convectius severes, però sense possibilitat, en general, de permetre discriminar de quin fenomen es tracta.

Valors molt elevats de CAPE, alt contingut de vapor d'aigua en nivells baixos, temperatures anormalment elevades a 850 hPa, i valors baixos de la pressió a nivell de la mar, semblen estar associats al desenvolupament de temps sever.

La resta de paràmetres no són clars marcadors de fenòmens severes, però sí que ens poden ajudar a diferenciar a quin tipus d'esdeveniment fan referència els marcadors anteriors.

Així doncs, si H500 és baix, seria un indicador que el temps sever deduït fent servir els paràmetres anteriors, és un tornado; si és alt, ens suggeriria la possibilitat de calamarsa;

i si no presenta cap tendència clara, ens indicaria pluges o vent. Encara podríem intentar distingir entre aquestes dues darreres possibilitats analitzant el comportament de SRH85, ja que valors alts d'aquest paràmetre semblen estar sols relacionats amb episodis de vent convectiu i no pluges intenses.

El treball aquí presentat es podria millorar significativament ampliant la base de dades. El fet que la majoria dels fenòmens aquí estudiats es trobin en Europa central, limita la visió global europea a la que s'aspira.

Hi ha altres paràmetres i índexs convectius empírics (p.e. SI, LI, K, TT, SWEAT, BRN, etc.) que es poden tenir en compte: aquí sols s'han fixat uns quants. Part del treball futur, seria comprovar la validesa d'aquests índexs (que la majoria ja han estat estudiats al EUA) a la regió europea.

Agraïments. Aquest estudi correspon a un Treball Acadèmicament Dirigit de la Llicenciatura de Física de la UIB. S'agraeix l'acollida rebuda del Grup de Meteorologia i els diferents mitjans proporcionats. El tutor del treball també agraeix al Ministeri d'Educació i Ciència pel seu suport a través del projecte PRECIOSO (CGL2005-03918/CLI). També es vol agrair la col·laboració del grup GAMA de la Universitat de Barcelona per la base de dades proporcionada, la qual forma part del projecte MEDEX Els resultats obtinguts no haurien estat possibles sense les anàlisis meteorològiques proporcionades pel ECMWF.

Referències

- 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. i 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. i 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., i Ramis, C., 2001: *Tornadoes and waterspouts in the Balearic Islands: Phenomena and environment characterization*, Atmos. Res., **56**, 253–267.
- Giaiotti, D., Nordio, S., i Stel, F., 2003: *The climatology of hail in the plain of Friuli Venezia Giulia*, Atmos. Res., **67-68**, 247–259.
- Johns, R. i 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., i 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., i 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. i 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.