Tethys, 5, 13–24, 2008
Revista del temps i el clima de la Mediterrània occidental
www.tethys.cat
ISSN-1697-1523
eISSN-1139-3394
DOI:10.3369/tethys.2008.5.02

Revista editada per **ACAM**
(Associació Catalana de Meteorologia)

Climatologia condicionada de les nits establement estratificades a la Comarca del Segrià

D. Martínez[1], J. Cuxart[1] i J. Cunillera[2]

[1]Grup de Meteorologia, Departament de Física, Universitat de les Illes Balears. Cra. Valldemossa, km. 7.5, 07122, Palma de Mallorca

[2]Servei Meteorològic de Catalunya (Meteocat)

Rebut: 21-V-2008 – Acceptat: 10-IX-2008 – **Versió Original**

Correspondència a: dani.martinez@uib.cat

Resum

Les nits amb cel serè i vent feble són freqüents a la Mediterrània occidental quan hi ha gradients de pressió febles, normalment associats a anticiclons sobre l'Europa sud-occidental. En aquestes condicions, els factors locals predominen i les nits són tranquil·les, amb refredaments que poden ser importants a les valls i les planes, amb possibilitat d'aparició de boires, rosades o gebrades. En aquest treball s'estudien, aplicant uns filtres de selecció, les característiques de les nits estables del període 1997-2005 de l'estació agrometeorològica de Gimenells, situada a la meitat oriental de la conca de l'Ebre. S'hi mostren les evolucions típiques del vent, la humitat i la temperatura en condicions estables, tot identificant les direccions preferents i relacionant-les amb la topografia de la conca de l'Ebre.

Paraules clau: Capa límit estable, climatologia condicionada, Lleida

1 Introducció

La conca de l'Ebre és una vall de forma aproximadament triangular, orientada segons l'eix NW/SE, d'uns 400 km de longitud, tancada per serralades importants (Pirineus i Serralada Cantàbrica al nord, Sistema Ibèric a l'oest i el sud i la Serralada Prelitoral catalana a l'est). La sortida al mar es fa per unes gorgues estretes que comuniquen el sud del Segrià amb el Montsià, per la qual cosa es pot considerar la conca, en primera aproximació, com una vall tancada (Figura 1). La vall fa pendent segons l'eix cap al SE i els laterals baixen cap al centre des dels Pirineus, Sistema Ibèric i Serralada Prelitoral, configurant una cubeta que té les seves zones més baixes entre Saragossa i Lleida, essent l'àrea propera a Lleida la més baixa i extensa.

Aquesta configuració orogràfica fa que la climatologia de la conca de l'Ebre sigui diferent de les àrees dels seus voltants. Els vents de l'oest solen arribar secs després de remuntar les diferents serralades de l'interior de la Península Ibèrica i es canalitzen segons l'eix de la vall. Els vents del nord i del sud han de rodejar els Pirineus i agafen també la direcció de la vall. Per al cas de vent de nord, es genera una zona de baixes pressions de mesoscala a sotavent i el vent canalitzat pren el nom de Cerç o Mestral (Masson i Bougeault, 1996). En condicions anticiclòniques sinòptiques amb feble gradient de pressió a la zona, àmplies àrees de la conca tenen vents febles, sovint generats pels pendents, amb convergència cap a les valls i les planes de nit, amb àrees d'acumulació d'aire fred on s'hi formen boires i gebrades. Exemples de dinàmiques similars s'han documentat a d'altres indrets, com ara la vall del Mesa Creek, a l'estat de Colorado (Gudiksen et al., 1992), o bé a la vall del riu Hudson (Fitzjarrald i Lala, 1989).

En ser la vall central i la zona de Lleida una àrea majoritàriament dedicada a la producció agrícola i amb importants nuclis de població, és important conèixer bé el comportament climatològic de les nits estables, susceptibles de crear importants problemes a la població (per la formació de boires o la poca dispersió de la contaminació atmosfèrica) o a l'agricultura (per la formació de gebrades). Convé sobretot estudiar el comportament de la temperatura en aquestes situacions, ja que caigudes importants d'aquesta variable poden comportar gelades intenses (Snyder i de Melo Abreu, 2005). Estudis previs han tractat el risc de gelades dins la conca de l'Ebre (Hernandez Navarro, 1995) o bé s'han ocupat d'elaborar una climatologia general per a la ciutat de

2008 Autor(s). Aquest treball té llicència "Creative Commons".

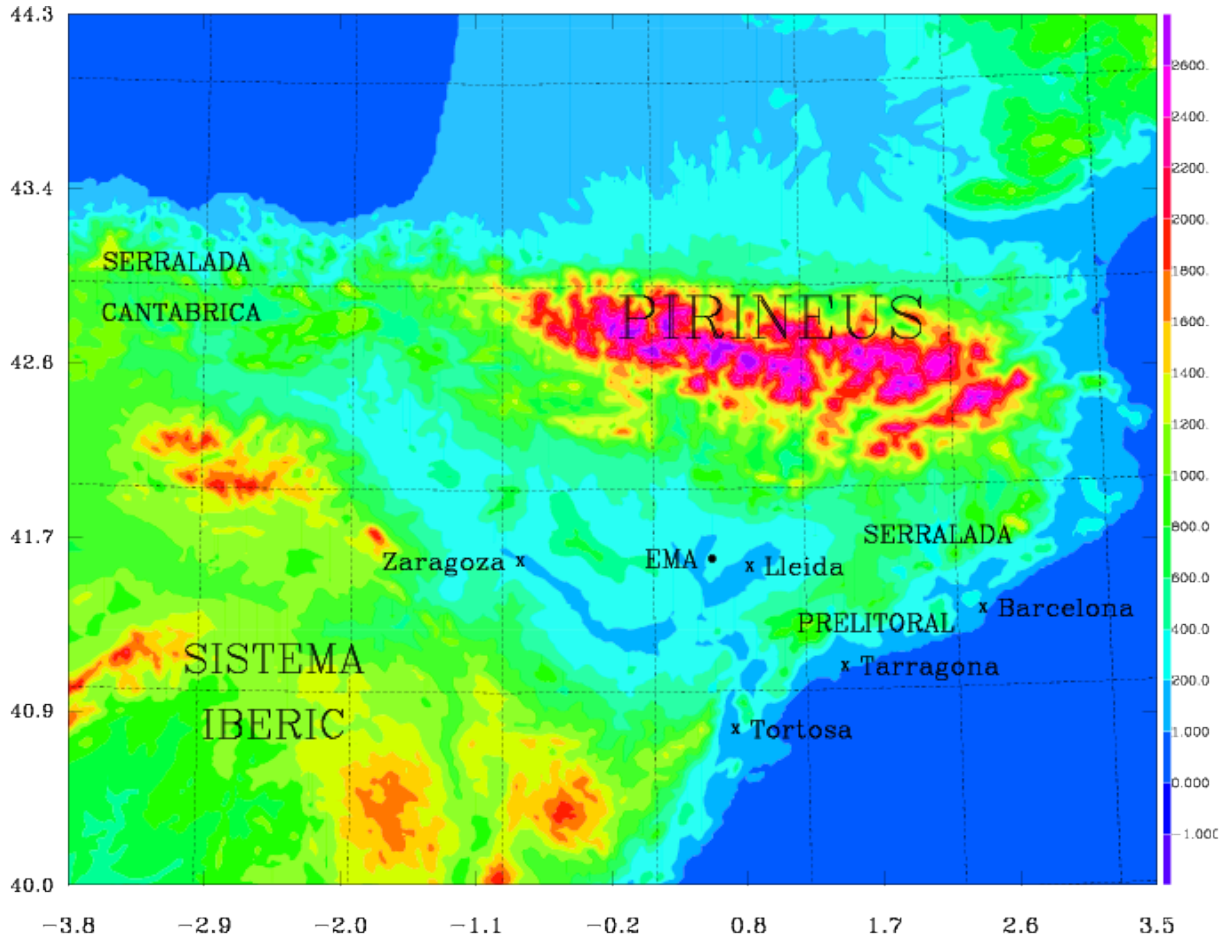

Figura 1. Emplaçament de l'EMA de Gimenells dins la conca de l'Ebre.

Lleida (Sousa, 1987) però, fins allà on arriba el coneixement dels autors, encara no s'ha fet un estudi climatològic condicionat a les nits estables per a la zona, ni s'ha trobat per a cap altre lloc.

L'estudi del clima d'una zona es sol fer mitjançant l'ús de paràmetres estadístics de les principals variables meteorològiques. La caracterització d'alguns episodis es fa segons la tècnica dels casos d'estudi, sovint combinant l'anàlisi d'observacions (*in situ* i remotes) i de simulacions amb models de mesoscala (Cuxart et al., 2007). Mentre que la climatologia descriu el comportament mitjà del temps en un lloc i dóna informació de la variabilitat de les series estudiades, els casos d'estudi descriuen situacions que es poden presentar de forma regular (cas dels anticiclons quan predominen els efectes locals) o episòdicament.

Un cas d'estudi no té, d'entrada, representativitat estadística. Per considerar-lo representatiu cal primer estudiar la climatologia de la zona d'interès condicionada a la situació que volem estudiar i veure si el cas seleccionat es comporta de forma coherent amb la climatologia condicionada corresponent. En aquest treball es vol caracteritzar com són les nits estables a la conca de l'Ebre, en concret a la comarca del Segrià, per a poder, en treballs posteriors, avaluar si un determinat cas d'estudi és representatiu del comportament que indica la climatologia.

En conseqüència, cal desenvolupar una metodologia d'estudi de series climàtiques condicionada a l'existència d'unes determinades situacions meteorològiques. En particular, aquelles que són favorables al desenvolupament de circulacions locals, típicament relacionades amb gradients de pressió molt febles sobre una zona. Això permetrà estudiar les característiques de les nits estables des d'un punt de vista estadístic.

En absència de gradients sinòptics rellevants, les heterogeneïtats del terreny (orogràfiques o provinents dels usos del sòl) afavoreixen l'aparició de fenòmens com els vents de drenatge, de vall, brises o creixement de bosses fredes (Whiteman, 1990) que condicionen fortament les mesures meteorològiques i fan possible l'aparició de diferències significatives entre estacions properes (Cuxart et al., 2007).

Per tant, en l'apartat 2 es descriu l'entorn de l'estació meteorològica triada per al present estudi, la qual es troba dins el Segrià, en una zona relativament homogènia (pel que fa a cultius i orografia) i allunyada de nuclis de població

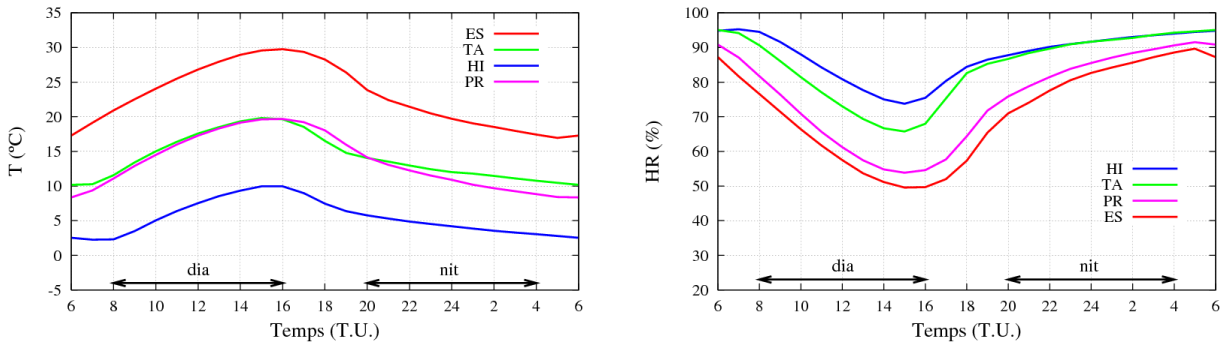

Figura 2. Cicle diari de la mitjana de temperatura (°C, esquerra) i de la humitat relativa (%, dreta) per a les 4 estacions de l'any calculades a partir de la sèrie temporal enregistrada a l'EMA de Gimenells per al període 1997-2005.

importants. Així mateix, també apareix informació climatològica de l'estació principal de Lleida, situada a la mateixa comarca. Hom estudiarà una sèrie horària de 9 anys, descrita a l'apartat 3, només per aquelles nits estables amb poc vent, sense núvols ni boira, que són les més favorables per al desenvolupament de circulacions de caràcter local i a nivell de conca hidrogràfica.

A l'apartat 4 es defineixen tres factors per a filtrar la sèrie usant la informació proporcionada únicament per l'estació, basats en la insolació, la humitat relativa i la velocitat del vent. A continuació (apartat 5), s'analitzen les sèries resultants d'aquest filtratge, la significació física dels resultats en termes de dinàmica local i de conca i s'avalua la bondat de la metodologia. Finalment, a l'apartat 6 es remarquen les conclusions més rellevants. En el futur, s'espera poder provar aquesta metodologia simultàniament per a un conjunt d'estacions de la mateixa conca.

2 Localització i climatologia

L'estació meteorològica automàtica (EMA) de Gimenells (0.394°E, 41.656°N) es troba a 248 m sobre el nivell del mar (SNM), a la zona occidental de la comarca del Segrià. Des d'un punt de vista fisiogràfic, l'estació és en un altiplà situat entre els rius Cinca i Segre, a la part oriental de la conca de l'Ebre, amb els Pirineus al nord i la serralada Prelitoral a l'est (Figura 1). La conca s'estén cap a la banda oest amb un conjunt d'afluents de l'Ebre provinents dels Pirineus (Cinca i Gàllego, entre d'altres) i amb el riu Jalón com a principal afluent per la dreta, que aporta aigües del Sistema Ibèric.

L'estació es troba 20 km a l'oest de la ciutat de Lleida (que és a 155 m SNM) i 25 km al nord de l'aiguabarreig de Cinca, Segre i Ebre a 128 m SNM. És en una zona localment plana, però sobre un pendent de conca orientat de nord a sud i d'est a oest amb un desnivell molt feble. Al nord hi ha el Pirineu Central, amb pics més alts de 3000 m SNM, i el Prepirineu, amb un conjunt de serres entre els rius principals (Segre, les Nogueres, Éssera i Cinca) orientades més aviat d'oest a est, essent les més properes el Montsec (1677 m SNM, 50 km al nordest) i la Serra Llarga (509 m SNM, 25 km al nord). Aquesta disposició de serres afavoreix que els fluxos catabàtics flueixin sobretot canalitzats per les valls dels rius.

La Serralada Prelitoral limita la conca per l'extrem est i sudest fins arribar al riu Ebre. A l'est, les diferents serres tenen unes elevacions màximes d'entre 700 i 900 m SNM, amb un pendent que baixa suaument i sense obstacles rellevants cap a l'oest, passant per Cervera i Tàrrega (548 i 373 m SNM, respectivament) fins al Pla d'Urgell (entorn dels 250 m SNM de mitjana). Al sudest, el conjunt de serres van perdent elevació, des de les més altes (Prades i Montsant, amb altures al voltant de 1200 m SNM), fins les que limiten amb la plana, amb altures d'uns 500-600 m SNM. A la banda sud de l'Ebre, el Sistema Ibèric presenta un relleu complex amb elevacions al voltant dels 400 m SNM en passar l'Ebre i augmentant fins a 1470 m SNM a dalt dels Ports de Beseit, a 100 km de distància.

És d'esperar que aquesta distribució topogràfica condicioni de gran manera la climatologia de la zona d'estudi, tal com ja s'ha vist per un estudi numèric de les circulacions de l'aire a l'Illa de Mallorca en circumstàncies meteorològiques similars (Cuxart et al., 2007). Els corrents de drenatge generats a les serralades del sector comprès entre l'est i el sud no troben obstacles orogràfics majors i, en principi, poden arribar ben desenvolupats sobre la comarca del Segrià.

Tota la regió conté una gran activitat agrícola. A tocar de l'estació hi ha una zona de conreus experimentals (42 ha de fruiters, cereals i farratgers) i, a les proximitats, camps de cereals i hortícoles i arbres fruiters. Al noroest es troben zones de regadiu (panís, alfals) i 4 km al nordest, la zona vitivinicola de Raimat (2245 ha).

Climatològicament, la comarca del Segrià és una de les més seques del Principat, amb un clima marcadament continental. A l'estació de Lleida de l'Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), segons consta en el seu lloc web[1],

[1] http://www.aemet.es/ca/elclima/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=9771C\&k=cat

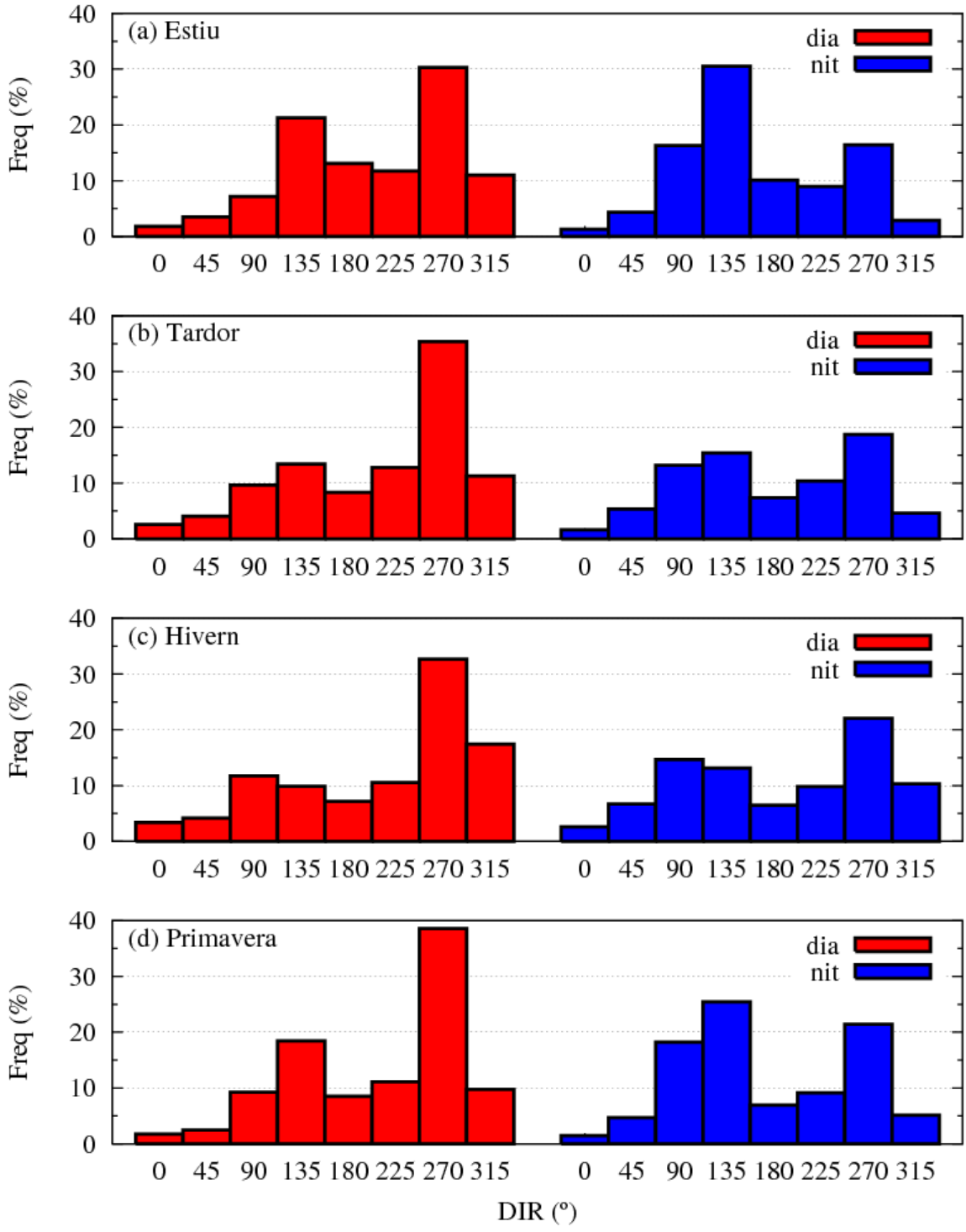

Figura 3. Distribució de freqüències (%) de la direcció del vent (°) per a les estacions de (a) estiu, (b) tardor, (c) hivern i (d) primavera calculada a partir de la sèrie temporal enregistrada a l'EMA de Gimenells per al període 1997-2005. El dia correspon a les dades horàries extretes del període 08 - 16 T.U. i la nit, del període 20 - 04 T.U. (veure Figura 2).

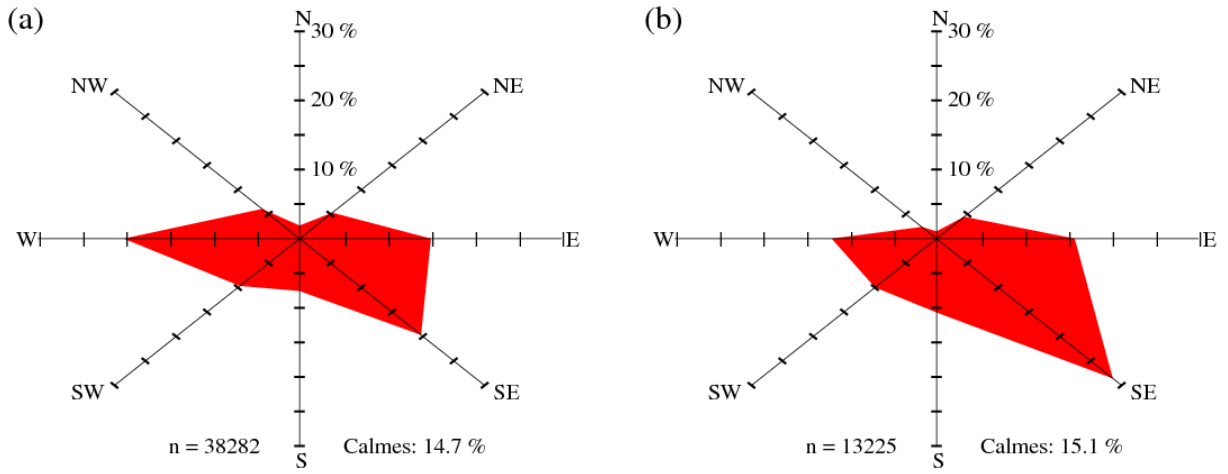

Figura 4. Rosa dels vents per al conjunt de (a) totes les nits i (b) les nits estables segons el criteri definit al text (Fòrmula 4). Es consideren vents en calma el mòdul de vent amb una mitjana horària inferior als 0.2 m s^{-1}. La n indica el nombre de dades utilitzades per a cada diagrama.

per al període 1971-2000, la precipitació mitjana és de 369 mm anuals, amb valors màxims a la primavera i la tardor, la temperatura mitjana anual de 14.7°C i una amplitud tèrmica anual de 20°C (diferència entre la temperatura mitjana del mes més càlid i el més fred), característiques corresponents al clima mediterrani continental sec (Martín-Vide, 2005). Hi ha 46 dies de precipitació superior a 1 mm, 53 dies de boira (37 entre novembre i gener) i 37 dies de gelada. Les boires poden ser persistents a la zona durant els anticiclons hivernals, restant sobre la regió durant les 24 hores del dia. Les temperatures màximes mitjanes superen els 30°C a l'estiu i la mínima mitjana és de 1°C a l'hivern, amb valors extrems a Lleida de 41.2°C el 30 de juliol de 1983 i -14.2°C el 8 de gener de 1985.

3 Característiques de la sèrie temporal

L'estació de Gimenells pertany a la Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques (XEMA) del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) i es troba dins del municipi de Gimenells i el Pla de la Font, a uns 600 m del nucli de població de Gimenells. El Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya (DARP) va posar en marxa aquesta instal·lació l'1 de desembre de 1996 amb propòsits agrometeorològics. Enregistra (i) temperatura a 1.5 m sobre el nivell de terra (SNT), (ii) velocitat i direcció del vent a 2.0 m SNT, (iii) humitat relativa a 1.5 m SNT, (iv) radiació solar global i (v) precipitació.

Fins al març de 2005, les dades de temperatura i humitat relativa es prenien amb una freqüència de mostreig de 10 minuts i, per contra, el mostreig dels camps de vent, pluviometria i radiació solar es feia cada segon. Les dades horàries que s'enregistraven corresponien a la mitjana escalar dels valors mostrejats durant una hora. A partir del mes d'abril de 2005, les dades (tret de la precipitació) es prenen amb una freqüència de mostreig d'un segon per a calcular mitjanes minutals (mitjanes vectorials per al cas de la velocitat i direcció del vent, seguint la normativa UNE500520). En el present estudi, s'ha treballat amb les mitjanes horàries per al període 1997-2005 (extretes a partir de les minutals per a l'interval abril-desembre de 2005).

Per a l'interval de temps estudiat, el control de qualitat de l'SMC es basava en omplir els buits de la sèrie mitjançant una interpolació lineal quan es tracta d'un espai d'una o dues hores. Per a la resta de casos, la sèrie es deixà intacta. En els nou anys de dades han aparegut buits concentrats en dos períodes: (i) des de les 08 Temps Universal (T.U.) del 6 d'agost de 1999 fins a les 00 T.U. del 4 de setembre del mateix any i (ii) des de les 04 T.U. fins a les 10 T.U. del 8 de juny de 2003. Com que el nombre de dades absents representa menys de l'1% del total, s'ha optat per no tenir en compte aquests punts de la sèrie en l'anàlisi que segueix.

A la Figura 2 es mostra el cicle diari de la mitjana de temperatura i humitat relativa per a les quatre estacions de l'any, a partir de la sèrie temporal de 9 anys. Pel que fa a la temperatura, les estacions de transició (tardor i primavera) tenen una evolució i uns valors molt similars, amb una amplitud mitjana d'uns 10°C i temperatures nocturnes lleugerament més baixes a la primavera, quan hi ha menys boires i el refredament nocturn pot ser més intens al final de la nit. L'hivern es caracteritza per tenir la menor amplitud tèrmica diària (vora 7°C) i el menor refredament absolut a la nit, tot i que les temperatures són clarament inferiors respecte a les altres estacions, mentre que l'estiu és l'estació amb major amplitud tèrmica diària (uns 13°C). La humitat relativa també

dibuixa molt clarament el cicle diari per a totes les estacions. Els valors poc després del migdia mostren que la primavera i l'estiu prenen valors per sota del 60% de mitjana mentre que a la tardor i a l'hivern els valors són entre un 10 i un 25% més alts. De nit, totes les estacions registren valors molt alts d'humitat relativa pel fort refredament radiatiu superficial.

A la Figura 3 es mostra la distribució de freqüències de la direcció del vent durant els 9 anys de dades per a cada estació de l'any. Per a distingir les direccions rellevants durant el dia i la nit, els càlculs s'han fet per als períodes 08 - 16 T.U. i 20 - 04 T.U., respectivament, evitant així la influència de la variació de l'hora de sortida i posta del Sol al llarg de l'any. De dia, predomina el vent de W en totes les estacions. Això es pot explicar perquè ens trobem en una zona de vents generals del W i aquests són els predominants quan no hi ha anticicló.

En canvi, a les nits hi ha una distribució aproximadament bimodal, amb màxims de W i d'E/SE. Els primers poden estar relacionats també amb la circulació general, mentre que els segons poden produir-se per la generació de vents de relleu des de les muntanyes situades en aquestes direccions i relativament properes. Tanmateix, cal destacar que el vent de N i NE és molt poc freqüent en aquesta EMA tot i la presència, en aquestes direccions, de les serralades dels Pirineus i el Montsec i tot sembla indicar que és un fenòmen lligat a les peculiaritats de la circulació en la zona (canalització d'aquests vents de baixa cota per les valls del Segre i el Cinca, tal i com s'observa a d'altres conques complexes (Gudiksen et al., 1992)).

4 Selecció de les nits estables

A partir de la climatologia general d'una EMA es fa molt difícil discernir quines són les característiques climatològiques específiques que es donen en les nits estables, molt condicionades per les circulacions locals. Per poder ferne una anàlisi més acurada, en el present estudi s'ha desenvolupat un mètode que selecciona les nits estables de la sèrie a partir de les variables mesurades per la pròpia estació.

L'objectiu consisteix a detectar aquelles nits de la sèrie amb cel serè i feble gradient sinòptic de pressió. L'EMA de Gimenells no disposa de cap sensor de radiació neta (que ens indicaria si hi ha un refredament fort i per tant cel serè) que permeti identificar directament quines són les nits que compleixen aquestes característiques. Tampoc no té sensor de pressió, tot i que aquesta mesura tota sola no permet estimarne el gradient (pressions estacionàries poden dur associats vents forts). Tanmateix, tot i la dificultat, s'ha decidit construir un mètode de selecció senzill a partir de la informació obtinguda amb la pròpia EMA objecte d'estudi per tal de generalitzar-lo a d'altres estacions.

Els paràmetres definits expressament en el present estudi per extraure les nits d'interès són:

$$Q_d = \frac{Q_t - Q_e}{Q_t} \tag{1}$$

$$HUM = \frac{HR_d - HR_s}{HR_d} \tag{2}$$

$$\overline{V_n} = \frac{1}{N}\sum_N v_i \tag{3}$$

El primer (Q_d), hom l'anomena *índex del dèficit d'insolació*, on Q_t i Q_e representen la insolació diaria mitjana teòrica i mesurada, respectivament. Calcula la diferència que hi ha entre la radiació solar mesurada i la que arriba teòricament al cim de l'atmosfera a la mateixa latitud i al mateix dia de l'any. Per tant, a part de l'efecte atenuador del gruix de l'atmosfera, l'altra causa responsable d'aquesta diferència és la nuvolositat apareguda al llarg del dia. En efecte, per a un dia ennuvolat, el valor de Q_d serà més gran que per a un dia assolellat. Amb aquest índex s'assumeix que la nuvolositat apareguda al llarg de les hores diürnes és similar a la que es produirà durant la nit posterior. Aquest paràmetre permet descartar aquells dies amb una nuvolositat d'origen sinòptic, associada a fronts o perturbacions i que, a causa de l'escala temporal del fenomen, també solen afectar la nit posterior. Ara bé, hi ha situacions en què Q_d pot discriminar dies amb nuvolositat d'evolució estrictament diurna (cúmuls) pròpia del bon temps i que vagin seguits d'una nit estable. Aquest condicionant s'ha tingut en compte a l'hora de definir el valor del llindar d'aquest paràmetre.

HUM és l'*índex del cicle d'humitat*, on s'utilitza la humitat relativa diària mitjana (HR_d) i la humitat relativa mitjana mesurada només al llarg de les hores diürnes (HR_s). Depèn del cicle diari de la humitat relativa. Si aquest és important, la humitat relativa mitjana durant les hores de sol serà més baixa que la humitat relativa diària, produint un valor d'HUM més gran que en el cas en què la humitat relativa es mantingui relativament constant al llarg de tot el dia. Cicles diaris grans de temperatura i humitat impliquen grans contrastos entre el dia i la nit, situació que resulta molt afavorida en condicions estables. S'ha utilitzat la HR en lloc de la temperatura perquè una de les motivacions de l'estudi consisteix a analitzar l'evolució d'aquesta darrera variable a les nits estables. Per tant, s'ha volgut prescindir d'ella com a factor discriminador.

D'altra banda, HUM descarta situacions atmosfèriques amb fenòmens meteorològics d'escala temporal superior a la d'un dia (adveccions seques, per exemple), així com també situacions de boira persistent al llarg de tot el dia. Com s'ha indicat a l'apartat 2, la boira persistent és un fenomen hivernal freqüent a la zona, que altera molt significativament el balanç d'energia en superfície en canviar la quantitat de radiació neta que arriba al sòl i s'ha considerat convenient descartar aquests casos en el present estudi.

Finalment, $\overline{V_n}$ és la *velocitat mitjana del vent nocturn*, on v_i representa la velocitat del vent a l'hora i-èssima de la nit. S'utilitza per a descartar les nits amb un gradient de pressió sinòptic o mesoscalar significatiu, que es traduiria en un vent moderat prop de la superfície.

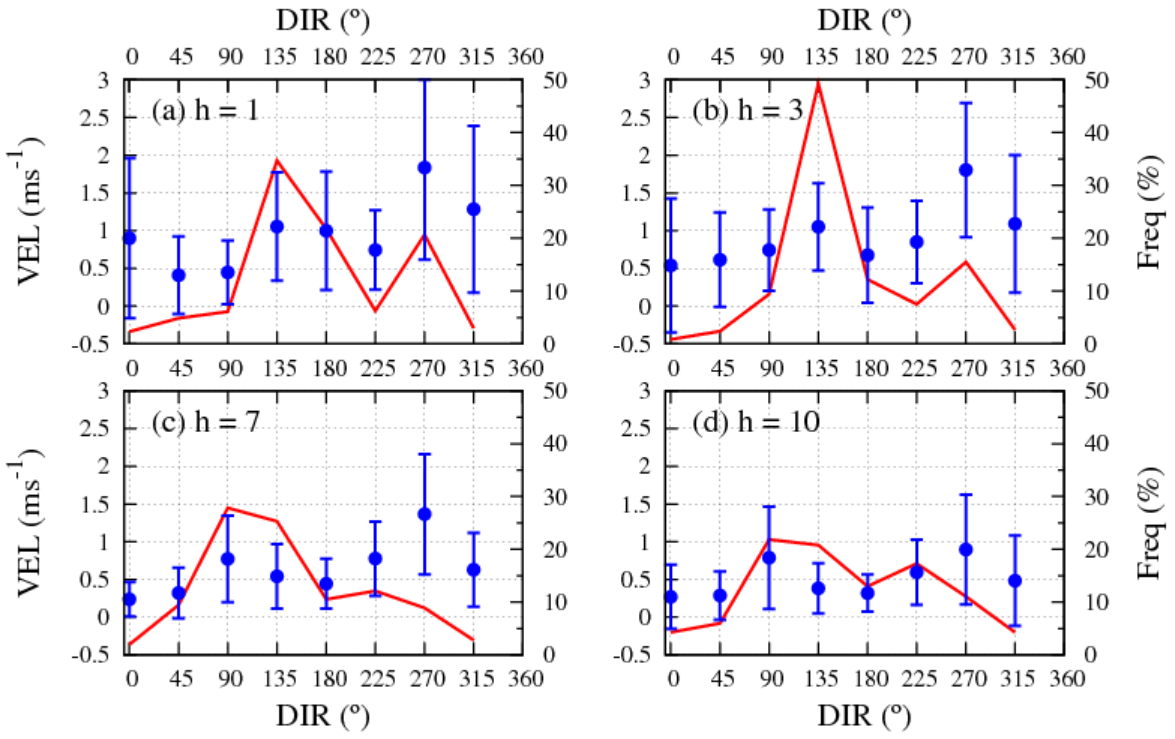

Figura 5. Velocitat mitjana del vent (m s^{-1}) respecte a la direcció (°) (blau) i distribució de freqüències (%) de la direcció del vent (vermell) per a la (a) primera, (b) tercera, (c) setena i (d) desena hora nocturna. L'hora nocturna es refereix al nombre d'hores transcorregudes respecte a la darrera dada enregistrada abans de la posta de Sol. Les barres d'error indiquen la desviació típica del conjunt de resultats individuals que contribueixen al valor mitjà del vent.

Es consideren nits estables aquelles en les quals es compleixin les següents desigualtats:

$$Q_d \leq 0.4; \quad HUM \geq 0.07; \quad \overline{V_n} \leq 2\ ms^{-1} \tag{4}$$

Seran seleccionades totes aquelles nits que tinguin una velocitat mitjana del vent inferior a 2 m s^{-1} i que vagin precedides per un dia poc ennuvolat i sec respecte a la nit.

Els llindars s'escullen com segueix. Per una banda, amb el llindar de Q_d es consideren aquells dies on la radiació global mitjana mesurada representa, com a mínim, el 60% de la que teòricament arriba al cim de l'atmosfera. Per a un dia completament assolellat, el valor de Q_d es troba per damunt dels 0.2, mentre que, amb el pas d'un front, Q_d supera els 0.6.

El límit d'HUM fixat és petit perquè es tracta d'un paràmetre que pren valors entre 0.00 i 0.20 per a la gran majoria de nits. Per exemple, el valor d'HUM és inferior a 0.09 per a un dia que tingués la mateixa oscil·lació diària que la mitjana representada a l'estiu (Figura 2). Per tant, el valor escollit inclou casos amb una oscil·lació diària de, com a mínim, la mitjana obtinguda per aquesta estació de l'any.

La restricció imposada a la mitjana de la velocitat del vent nocturn està basada en estudis experimentals previs. Durant la campanya experimental SABLES98 (Cuxart et al., 2000), que va tenir lloc a la conca del Duero, les situacions estables anaven acompanyades d'una velocitat del vent inferior a 2 m s^{-1} prop del terra. De fet, Conangla i Cuxart (2006) imposen un criteri similar per a seleccionar nits amb un màxim de vent a nivells baixos ben definit (en anglès, *Low-level Jet*). Entre altres restriccions, la mitjana de vent cada 30 minuts a 2.2 m SNT havia de ser menor als 2 m s^{-1}. En aquell treball, el conjunt de nits escollides corresponien a situacions sinòptiques marcades per un fort anticicló amb el centre prop de la Península Ibèrica. En el present estudi,

Taula 1. Nombre de nits estables de la sèrie de 9 anys per a cada estació de l'any (esquerra) i percentatges respecte del total de nits de la sèrie temporal (centre) i respecte a la pròpia estació de l'any (dreta).

	n. nits estables	% sobre total	% sobre total estació
HIVERN	125	10.3	15.5
PRIMAVERA	380	31.3	45.9
ESTIU	447	36.8	54.8
TARDOR	262	21.6	32.2
Total	1214	100	37.3

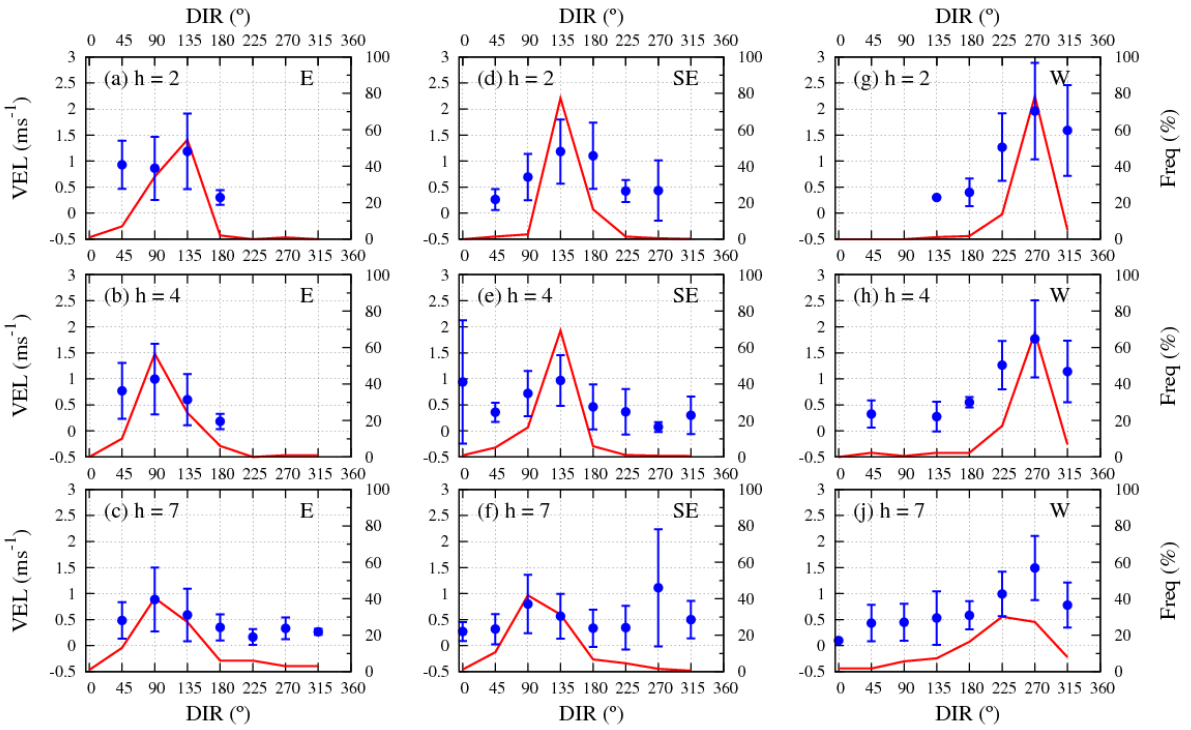

Figura 6. El mateix que la Figura 5 però amb les nits estables agrupades en tres subconjunts diferents, segons la direcció del vent durant la tercera hora nocturna (Figura 5b): (i) E (columna de l'esquerra), (ii) SE (columna central) i (iii) W (columna de la dreta) per a la (a, d, g) segona, (b, e, h) quarta i (c, f, j) setena hora nocturna.

aquesta condició s'aplica d'una manera menys rígida, ja que és la mitjana del vent horari mesurat al llarg de la nit que s'ha de trobar per sota del llindar establert.

Aplicant aquest filtre, s'obtenen 1214 nits estables respecte d'un total de 3253. La Taula 1 mostra el nombre de casos segons l'estació de l'any, essent l'estiu la que té un nombre absolut major de nits que compleixen les condicions requerides (i cal recordar que gairebé un mes de l'estiu de 1999 falta de la sèrie). La primavera la segueix per damunt de la tardor, que té major freqüència de boires i la menor ocurrència té lloc a l'hivern, ja que són mesos en els quals es combinen passos frontals amb anticiclons que generen boira persistent. Els percentatges elaborats per a cada estació de l'any mostren com aproximadament la meitat de les nits d'estiu i primavera s'ajusten a la definició de nits estables donada, mentre que aquesta proporció disminueix fins a un 32% i 16% a les estacions de tardor i hivern, respectivament.

5 Estudi de les nits seleccionades

5.1 Roses dels vents i evolució nocturna

A la Figura 4 es comparen les roses dels vents per al total de les nits i per al subconjunt de nits estables seleccionades. La rosa general mostra tres direccions predominants (W, E i SE amb vora un 20% cadascuna) i un sector poc representat (NE i NW amb vora el 5% i N amb un 2%). La rosa de les nits estables té un sector preferent a SE (28%) i E (15%), la freqüència de W disminueix al 12 %, i el sector N segueix sent molt poc freqüent. Hom pot observar que la proporció de calmes[2] és similar en ambdues roses (15%), indicant que es donen situacions amb vent fluix que no compleixen els criteris requerits. Les nits de boira persistent en serien un exemple. A més a més, en assumir que la nuvolositat del dia es mantindrà de nit, és possible que entrin nits amb núvols després d'un dia clar o que es rebutgin nits serenes després d'un dia nuvolós, motiu que també explicaria el manteniment de la proporció de calmes.

La disminució dels vents de ponent per les nits estables és el resultat del filtratge de les situacions de ponent amb nuvolositat associada i dels casos de vent fort de Cerç. El predomini dels vents de SE indica la probable influència de les serralades altes situades en aquella direcció (Prades, Montsant) i els vents d'E poden indicar vents de pendent des de l'altiplà de la Segarra. En canvi, els vents de drenatge del sector N que podrien provenir dels Pirineus o del Montsec no arriben a l'estació meteorològica en quantitat significativa, possiblement perquè baixen canalitzats per les valls properes del Segre i el Cinca, com indiquen les climatologies de les estacions situades a la vora del Segre (disponibles a

[2]Es considera calma quan la mitjana horària del mòdul de vent és inferior als 0.2 m s^{-1}.

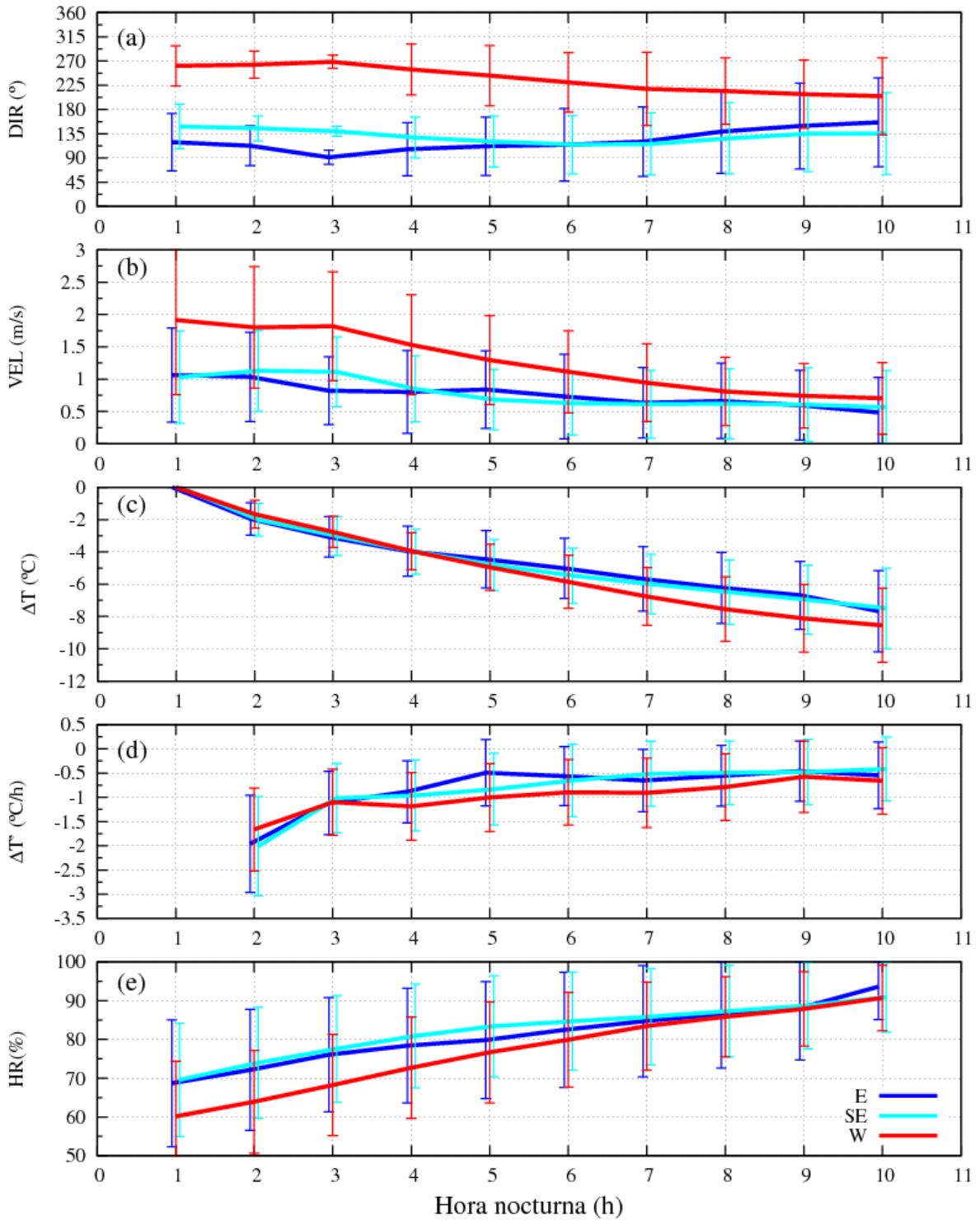

Figura 7. Evolució temporal de la mitjana de la (a) direcció (°) i (b) velocitat (m s^{-1}) del vent, (c) refredament (°C), (d) ritme de refredament horari (°C h^{-1}) i (e) humitat relativa (%) per als tres subconjunts de nits estables definits a la Figura 6. Les barres indiquen la desviació típica. L'eix d'abscisses correspon a l'hora nocturna (definida a la Figura 5).

www.meteo.cat). Cal assenyalar que estudis numèrics recents (Cuxart et al. (2007) per Mallorca, Bravo et al. (2008) per la conca del Duero) indiquen que els vents nocturns de drenatge s'organitzen i interaccionen i això pot explicar circulacions aparentment contra-intuïtives.

Per tal d'inspeccionar l'evolució de la distribució de freqüències de la direcció del vent al llarg de la nit, hom es fixarà en quatre instants significatius (Figura 5): (i) inici de la nit, (ii) canvi de tendència, (iii) nit avançada i (iv) final de la nit. Per la primera hora predomina el SE, amb grans percentatges de S i W. A la tercera hora, el predomini del SE ha augmentat (pren el seu valor màxim de la nit) i S i W cauen a valors relativament baixos que es mantindran tota la nit, mentre que la component E va augmentant a les hores finals de la nit a mesura que el SE disminueix paulatinament, fins que la supera a la setena hora. Les calmes són més freqüents al final de les nits més llargues que hi ha entre el final de la tardor i el principi de la primavera (no representat). Cal dir que el nombre de dades cau després de la setena hora per la menor durada de la nit en època estival.

És arriscat intentar fer una lectura en clau física d'aquestes estadístiques. Hom pot pensar que a primera hora hi poden haver bé (i) vents del W en un tipus de règim (ponents fluixos), o bé (ii) un règim de vents locals lligat a febles gradients de pressió afavoridor dels vents de S i SE que viren a E al llarg de la nit, lligats a la topografia d'aquesta part de la conca. De fet, analitzant hora per hora, hom pot veure que la distribució de nits és bimodal, amb major freqüència del SE o E a totes les hores i essent W/SW la segona més freqüent amb vents habitualment el doble de forts que en el primer cas (Figura 5).

Per a avaluar aquesta hipòtesi, hom extrau del conjunt de nits seleccionades tres subconjunts definits segons quina sigui la direcció predominant a la tercera hora després de la posta de Sol (Figura 5b): W (15.5%), SE (49.3%) o E (9.3%). S'ha seleccionat aquest instant concret de la nit perquè és el moment en que es produeix una màxima concentració de dades per a una direcció concreta (SE). Fent una anàlisi similar a la feta suara per al conjunt de nits, però fixant-se en els instants immediatament anterior i posterior a l'hora usada per a fer la divisió en tres grups, hom pot veure que les evolucions per E i SE són molt similars, i es podria considerar el cas de E com els casos que han girat més ràpid que la resta. (Figura 6a - 6f). Les dues mostren component SE a les primeres hores de la nit girant a E entre les 4 i les 6 hores després de la posta del Sol.

En canvi, les nits amb vent del W a les 3 h de la posta mantenen aquesta direcció com a predominant durant la resta de la nit amb una disminució paulatina de la velocitat a mesura que la nit avança (Figura 6g - 6j).

5.2 Evolució de temperatura, velocitat i humitat

La Figura 7 mostra les evolucions d'algunes variables per cadascun dels subconjunts suara definits, donant la corba que uneix els valors mitjans i les desviacions estàndard horàries. Els subconjunts de l'E i SE tenen un comportament molt semblant, fet que suggereix un origen similar per a tots dos casos (vents de drenatge). Hom pot veure que l'evolució de la direcció és ben diferent en funció d'on bufi el vent durant la tercera hora nocturna. Les diferències disminueixen cap al final de la nit, quan el mòdul de vent és menor per als dos casos. De fet, la mitjana de la velocitat és gairebé el doble per a les nits en què el vent bufa de W que quan bufa d'E/SE.

L'evolució tèrmica mostra refredaments similars en tots tres casos durant les primeres cinc hores. A partir d'aquí, si el règim de vents és de ponent (W), l'aire es refreda més que no pas si bufa de l'E/SE. Resta per aclarir si aquesta diferència és deguda a la diferent naturalesa dels fenòmens que intervenen en cadascun dels règims esmentats. El refredament per hores és intens a la primera part de la nit ($2°C\ h^{-1}$ a l'inici i $1.5°C\ h^{-1}$ més endavant) i s'estabilitza a la segona part amb valors de $0.5°C\ h^{-1}$ pel cas de drenatge i lleugerament superior pels ponents ($0.7°C\ h^{-1}$). Snyder i de Melo Abreu (2005) destaquen que les nits amb risc de gelades tenen un comportament similar, amb refredaments molt intensos entorn de la posta de Sol (que poden arribar a ser de $10°C\ h^{-1}$ en alguns casos) i suaus al final de la nit ($1°C\ h^{-1}$). Pel que fa a la humitat relativa, els vents de ponent parteixen, a l'inici de la nit, d'uns valors un 10% de mitjana més baixos que quan el vent bufa d'E/SE. Tanmateix, per a tots els casos, la humitat relativa augmenta al llarg de la nit amb la disminució de temperatura arribant a valors mitjans de 90%, que generarà rosada i boirines o boires al final de la nit.

La Figura 8 mostra, en canvi, les mateixes variables (excepte la direcció del vent) per al conjunt de les nits seleccionades agrupades per estacions de l'any. El més remarcable d'aquesta Figura és que no hi ha diferències qualitatives entre les evolucions de les diferents estacions. Les corbes són quasi paral·leles entre elles i l'única diferència rau en la seva longitud ja que el nombre d'hores nocturnes varia en funció de l'estació de l'any. En totes, la velocitat del vent disminueix a la meitat al llarg de la nit, la humitat augmenta fins valors propers a la saturació i els refredaments 8 hores després de la posta del Sol són de 6 a 7 graus amb barres d'error similars. També el refredament horari segueix el mateix patró, amb refredaments intensos a primera hora de la nit ($2°C\ h^{-1}$), moderats de la tercera a la setena (entre 1.5 i $1°C\ h^{-1}$) i suaus a la part final (inferiors a $1°C\ h^{-1}$). Aquesta constància en el comportament de les variables meteorològiques principals permet predefinir un patró d'evolució nocturna per a l'EMA de Gimenells independentment de l'estació de l'any.

6 Conclusions

Amb l'objectiu de caracteritzar el comportament mitjà de les variables meteorològiques de l'EMA de Gimenells condicionada a unes característiques específiques de nits amb cel serè i vent feble, s'han definit tres paràmetres que han permès extraure les nits d'interès només fent ús de les dades

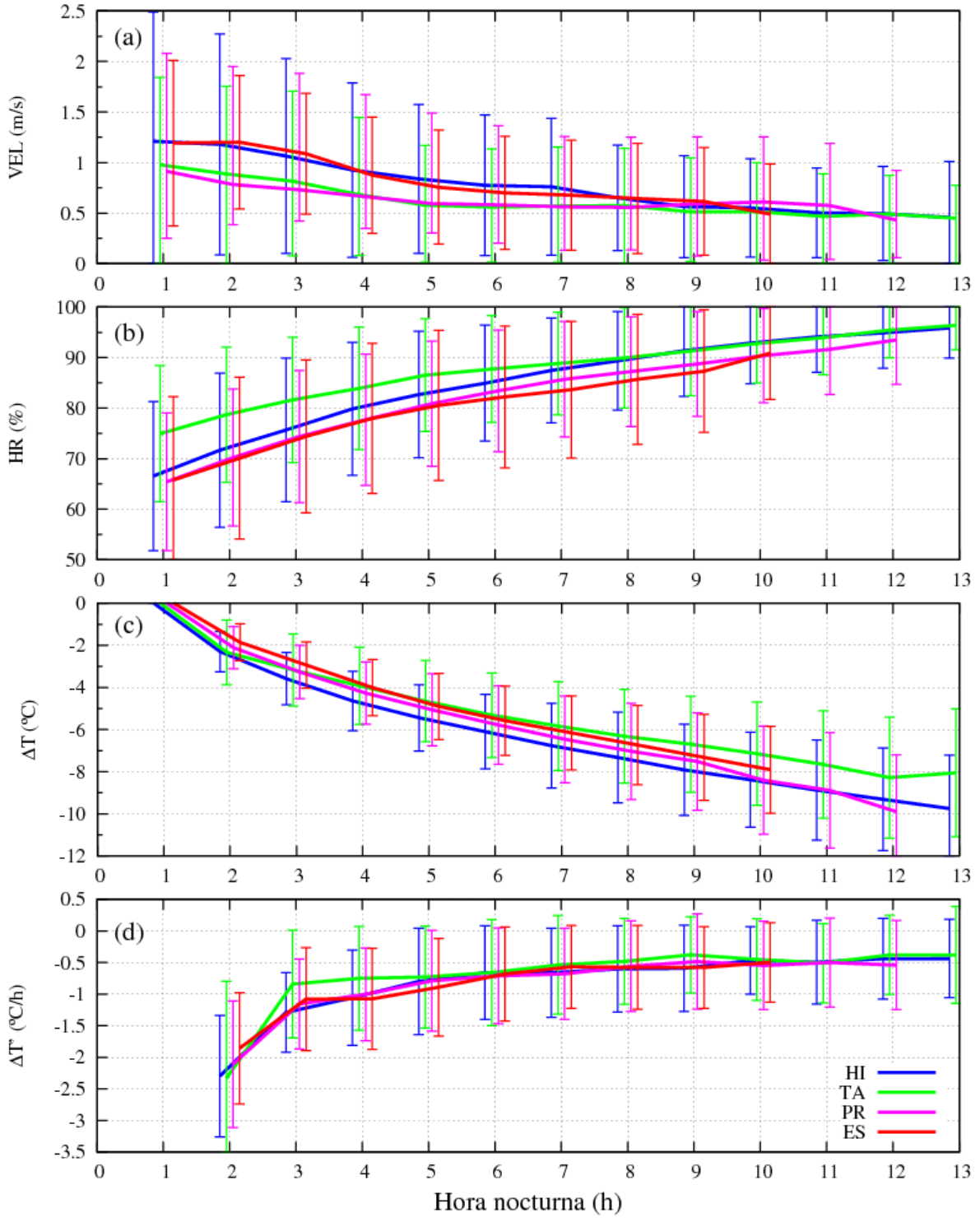

Figura 8. Igual que la Figura 7 per a les variables (a) velocitat (m s^{-1}) del vent, (b) humitat relativa (%), (c) refredament (°C) i (d) ritme de refredament horari (°C h^{-1}) per a les quatre estacions de l'any: hivern (HI), primavera (PR), tardor (TA) i estiu (ES) per al conjunt de les nits estables seleccionades.

registrades per la pròpia estació per als anys 1997-2005. S'ha fet ús de la insolació, la humitat relativa i la velocitat del vent com a variables discriminadores, deixant de banda la temperatura perquè el seu comportament és d'especial interès durant les nits estables.

Els paràmetres triats cerquen nits que corresponguin a jornades amb un cicle diari ben definit i vents fluixos sobre l'estació (fins a 2 m s^{-1} a 2 m SNT). Els filtres han seleccionat un 37.3% de les nits de la sèrie de 9 anys, indicant així una primera estimació de la freqüència d'aquest tipus de temps a la comarca del Segrià (nits serenes gairebé encalmades sense boira). Tenen lloc sobretot a l'estiu i a la primavera, car a la tardor i a l'hivern aquestes situacions generen normalment boira i no es seleccionen. Com la boira és un factor protector de les caigudes fortes de temperatura, les nits serenes i calmades són les més susceptibles de causar gelades. A l'EMA de Gimenells, aquestes nits arriben a representar un 16% del conjunt de nits a l'hivern i un 46% de les nits de primavera, l'estació més crítica per a l'agricultura.

L'estudi del vent mostra que per a l'estació escollida hi ha dos tipus de règims preferents. El primer i més habitual sembla relacionat amb els vents de drenatge que s'originen primer del SE a les serres de Prades i el Montsant i després de l'E provinents de l'altiplà de la Segarra. El segon més freqüent és un règim de ponents febles que mantenen la direcció durant tota la nit. Els vents de sector nord no arriben ben definits a l'estació i pot ser degut a la seva canalització per les valls de Segre i Cinca que, en ser més fondes, quedarien per sota dels drenatges suara descrits. En qualsevol cas, el vent observat sempre tendeix a disminuir al llarg de la nit.

La caiguda de temperatures segueix un patró únic per a tots els règims i estacions. El refredament 4 hores després de la posta del Sol és d'uns 4°C, mentre que per a les primeres 8 hores nocturnes la temperatura baixa uns 8°C en el cas de vents de ponent, i 6.5 °C quan hi ha vents de drenatge. En tots els casos, es produeix un refredament horari molt fort (2°C h^{-1}) la primera hora després de la posta de Sol, el qual va decaient paulatinament a mesura que la nit avança. Aquests resultats permeten estimar el mínim de temperatura en funció de la temperatura mesurada just després de la posta de Sol i el règim de vents.

Per a confirmar aquestes indicacions de l'estudi, caldria explorar altres observatoris de la zona, especialment aquells que tinguin sèries climatològiques més llargues, i veure si hom obté conclusions congruents, així com fer estudis de caràcter numèric i experimental que confirmin les hipòtesis aquí expressades.

Agraïments. Aquest treball ha estat possible gràcies al finançament del projecte de recerca CGL2006-12474 i la beca FPI BES-2007-16272, del MEC. El manuscrit s'ha vist enriquit pels suggeriments duts a terme per la Dra. Maria Antònia Jiménez i alguns càlculs de Felipe Molinos. També volem agrair la col·laboració de Tomeu Clapés en el disseny de la Figura 1 i els aclariments del Sr. Miquel Perpinyà i Romeu, del SMC, sobre el control de qualitat de les dades, així com els comentaris de dos revisors anònims.

Referències

Bravo, M., Mira, T., Soler, M. R., i Cuxart, J., 2008: *Intercomparasion and evaluation of MM5 and Meso-NH mesoscale models in the stable boundary layer*, Bound-Lay Meteorol, **128**, 77–101.

Conangla, L. i Cuxart, J., 2006: *On the Turbulence in the Upper Part of the Low-Level Jet: An Experimental and Numerical Study*, Bound-Lay Meteorol, **118**, 379–400.

Cuxart, J., Yagüe, C., Morales, G., i Terradellas, E., 2000: *Stable Atmospheric Boundary-Layer Experiment in Spain (SABLES 98): A report*, Bound-Lay Meteorol, **96**, 337–370.

Cuxart, J., Jiménez, M., i Martínez, D., 2007: *Nocturnal Meso-Beta and Katabatic Flows on a Midlatitude Island*, Mon Wea Rev, **135**, 918–932.

Fitzjarrald, D. R. i Lala, G. G., 1989: *Hudson valley fog environment*, J Appl Meteorol, **28**, 1303–1328.

Gudiksen, P. H., Leone, J. M. J., King, C. W., Ruffieux, D., i Neff, W. D., 1992: *Measurements and modelling of the effects of ambient meteorology on nocturnal drainage flows*, J Appl Meteorol, **31**, 1023–1032.

Hernandez Navarro, M. L., 1995: El riesgo de helada en las plantaciones de frutales. El valle medio del Ebro, Institución "Fernando el Católico", Zaragoza, 237 pp.

Martín-Vide, J., 2005: Factors geogràfics, regionalització climàtica i tendències de les sèries climàtiques a Catalunya, J. E. Llebot, Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, pp. 81-111.

Masson, V. i Bougeault, P., 1996: *Numerical simulation of a low-level wind created by complex orography: a Cierzo case study*, Mon Wea Rev, **124**, 701–715.

Snyder, R. i de Melo Abreu, J., 2005: Frost protection: fundamentals, practice and economics, Service Series 10, FAO, Roma, environment and natural resources, Vol. 1, 240 pp.

Sousa, R., 1987: Notas para una climatología en Lérida, K-26, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.

Whiteman, C. D., 1990: Observations of thermally developed wind systems in mountainous terrain, W. Blumen, Amer. Meteor. Soc. Boston, atmospheric Processes over Complex Terrain, Meteor. Monogr., volume 23, pp. 5-42.