

Caracterització climàtica de la ciutat de Lleida. Anàlisi de temperatura, vent i meteors entre 1983 i 2007.

F. Molinos ⁽¹⁾, J. Cuxart ⁽¹⁾, A. Álvarez ⁽²⁾

⁽¹⁾ Universitat de les Illes Balears

⁽²⁾ AEMET

9 de juny de 2010

Resum

L'anàlisi temporal de les dades meteorològiques i de les observacions de meteors en un determinat punt i durant un interval de temps prou gran permeten caracteritzar el seu comportament climatològic. Els resultats, en el cas de zones amb complexitats importants en la geografia del terreny com és el cas de Lleida, no es poden extrapolar a una regió extensa, especialment en el cas del vent i dels meteors. En aquest estudi s'analitzen la temperatura i el vent, així com les observacions de meteors, des de la instal·lació de l'observatori de Lleida per part de l'INM (ara AEMET) l'any 1983 i fins a l'any 2007, analitzant els cicles característics, tendències i freqüències característiques mitjançant transformades de Fourier discretes. La localització estratègica de la ciutat de Lleida a la vorera de la vall del riu Segre representa una franja singular que divideix verticalment el pla de Lleida en dues regions, amb un comportament propi i diferenciat del de les dues regions i amb una dinàmica especialment particular en el les nits de bon temps.

1 Introducció

Les particularitats climàtiques d'una regió condicionen les seves activitats humanes influint tan en el desenvolupament econòmic com en els estils de vida i costums de la seva gent. Els estudis climatològics cada vegada es tenen més en compte a l'hora de construir noves zones urbanes, industrials o grans infraestructures, fet que ve motivat a que en bona manera ens permeten adquirir una visió de futur a mitjà o llarg termini de com poden variar els recursos i les condicions de vida en una determinada regió. El nostre estudi pretén caracteritzar la climatologia de Lleida a partir de les dades i observacions meteorològiques enregistrades per una sola estació meteorològica: l'observatori de Lleida. L'analitzarem des de que fou instal·lat en el seu emplaçament actual l'any 1983 al campus de la Universitat de Lleida.

L'interès per la meteorologia i, en conseqüència, per la climatologia a les terres de Lleida es remonta a molt de temps enrere, trobant a finals del segle XIX els primeres registres, tot i que es

pot considerar que l'inici de l'actual sèrie històrica data de principis del segle XX (concretament des de l'any 1913). Des de llavors, com en la majoria d'altres indrets, s'han anat sofrint canvis d'ubicació i de instrumental, afegint nous tipus de sensors cada vegada més precisos i fiables, canvis en els criteris de mesura, canvis de normatives, etc. fins arribar a l'actual observatori, el qual compta amb un instrumental d'acord amb les normatives vigents per a estacions meteorològiques oficials, que més endavant es detalla, i amb un equip d'observadors meteorològics.

La ciutat de Lleida es troba dins la vall del riu Segre (veure figura 1), un dels principals rius de Catalunya situat al nord-est de la Península Ibèrica, la qual travessa el pla de Lleida en la direcció nord-est-sud-oest. Els rius Cinca i Segre s'uneixen en el canal de Seròs, al sud-oest de Lleida, per pocs quilòmetres més avall desembocar a l'Ebre. Lleida, i en conseqüència la plana de Lleida, forma la part més nord-oriental de la conca de l'Ebre. La plana de Lleida abarca una gran àrea compresa entre el poble de Cervera i la frontera amb la Comunitat Autònoma d'Aragó en horitzontal i des de les falques de les serralades del pre-Pirineu fins a les del Montsec en vertical. Així, té forma de cubeta rodejada de serralades i tan sols oberta pel costat de ponent (veure fig 1, dreta).

Les coordenades de l'observatori de Lleida són 3542 E de longitud i 413733 de latitud, a la perifèria oest de la ciutat i a una altitud de 192 metres sobre el nivell de la mar. Actualment la ciutat de Lleida, capital de la província de Lleida, compta amb un cens de població de més cent trenta mil habitants (font: <http://www.paeria.es/cat/>). Es tracta, doncs, d'una ciutat petita localitzada en una àmplia àrea plana travessada per una vall.

2 Dades i metodologia

2.1 Descripció de l'estació de l'observatori de Lleida

La taula 1 ens presenta un breu historial de la sèrie històrica de la ciutat de Lleida. Com ja s'ha avançat a la introducció, l'observatori de Lleida es troba en funcionament al campus universitari de la ciutat des de febrer de l'any 1983, a la vora de dos edificis de 13 i 15 metres d'alçada.

L'estudi comprèn el període 1983-2007, el qual es pot dividir en dues parts: una des de l'any 1983 i fins al 1997, on les mesures es prenen de forma manual, i una a partir de l'any 1998 i fins a l'actualitat, moment en el qual es va automatitzar l'estació, la qual cosa va permetre augmentar la freqüència de les mesures. En tots dos períodes tenim observacions de meteors.

La temperatura i la humitat es mesuren de forma continua amb un termohigrògraf *Mecanic Thies* amb subdivisions de dues hores i màxima apreciació de 10 minuts. Es complementa diàriament amb observacions a les 6, 7, 9, 12, 13, 15 i 18 hores.

El vent es mesura analògicament durant les 24 hores de manera continua amb registrador de paper fins l'automatització de l'estació. No obstant, fins l'abril de 1986 es mesurava amb un

anemocinèmetre *Munro Angles*, moment en el qual fou substituït per un de *SEAC* (Sociedad Española de Aplicaciones Cibernéticas).

La pluviometria es duu a terme manualment amb observacions a les 6, 7, 12 i 18 hores amb un pluviòmetre *Hellman* i registre continu de pluja amb pluviògraf mecànic de sífo per la mesura de pluja horària, amb una resolució de fins a 10 minuts i mesura de les intensitats màximes.

L'observatori també compta amb un heliògraf *Thies*, radiòmetres *Kip Zonen*, un baròmetre de mercuri *Thies* i un microbarògraf *Belford*.

En les pròximes subseccions es detallen les particularitats de cada una de les sèries que hem fet servir pel nostre estudi.

2.2 Temperatura

La sèrie de temperatura compresa entre l'1 de febrer de 1983 i el 31 de desembre de 1997 consta de mesures de temperatura i de temperatura de l'aire humit a 1.5 metres a les 00, a les 07, a les 13 i a les 18 hores UTC, temperatura diària mínima a 15 cm per damunt del nivell del terra i temperatures mínima i màxima a 1.5 metres (i l'hora a la qual han tingut lloc). Per altra banda, la sèrie compresa entre l'1 de gener de 1998 i el 31 de desembre de 1997 afegeix la temperatura horària.

S'ha sotmès a la sèrie formada per la temperatura anual mitjana durant els 25 anys a 1.5 metres sobre el nivell del terra a diferents tests de qualitat típics en climatologia. D'acord amb el test de les ratxes o de Thom, test recomanat per la Organització Meteorològica Mundial, s'han obtingut 13 ratxes, la qual cosa indica que la sèrie es troba dins el llinar d'aleatorietat per nivells de probabilitat del 2.5 % i del 97.5 %, acceptant així la seva homogeneïtat. L'índex estadístic Z , definit com

$$Z = \frac{R - (n - 2)/2}{\sqrt{n(n - 2)/4(n - 1)}} \quad (1)$$

on R és el nombre de ratxes i n és el nombre de dades de la sèrie, resulta ser -0.20. Com que $|z| \leq 1.96$, es conclou que la sèrie és homogènia amb un nivell de significació del 95 %.

També el test de Helmer o de les permanències accepta la sèrie com a aleatoria. No obstant, aquests mateixos tests no han donat resultats coherents quan s'han aplicat a la sèrie de temperatura diària. Finalment, l'índex de persistència, definit com

$$R = \frac{\sqrt{2} \cdot \sigma_T}{\sigma_d - 1} \quad (2)$$

on σ_T i σ_d són les desviacions típiques de la sèrie original i de la de diferències entre dades consecutives, respectivament, resulta ser -2.9 lo qual vol dir que no que no existeix persistència en la sèrie. (ÉS AIXÍ??)

2.3 Vent

Durant l'època manual es prenen mesures de la direcció i velocitat del vent a 13 metres sobre el nivell del terra a les 00, 06, 13 i 18 UTC, direcció, velocitat i hora de la ratxa màxima diària, recorregut del vent des de les 07 hores fins les 07 hores del dia següent, freqüències del vent per quadrants i freqüència en calma.

A l'època automàtica hi tenim dades horàries de velocitat i direcció, així com velocitat i direcció màxima mitjana en 10 minuts, recorregut del vent de 00 a 24 hores i freqüències del vent per octants.

2.4 Observacions de meteors

La base de dades de meteors la formen les observacions visuals anotades dia a dia per l'equip d'observadors meteorològics, formant una sèrie sòlida i sense llacunes. En aquest estudi es fa referència als meteors més característics de Lleida, ja sigui per ser molt freqüents o per ser característiques pròpies de determinades èpoques de l'any.

3 Resultats de les anàlisis

3.1 Temperatura

La figura 2 representa el cicle anual característic de la temperatura calculat a partir de la temperatura mitjana diària de la sèrie de 25 anys. Les temperatures de l'ordre de 6 C de mitjana a l'hivern i de l'ordre de 24 C posen de manifest la influència de la continentalitat de la zona. La temperatura mitjana anual és de 14.8 C.

Els resultats de l'anàlisi de possibles tendències en les temperatures mitjana i extremes a 1.5 m i en la mínima a 15 cm es mostren a la taula 2. Donat que l'any 1998 es va dur a terme l'automatització de l'estació s'ha optat per dividir la sèrie de temperatura mitjana en dos períodes: de febrer de 1983 a desembre de 1997 (manual) i de gener de 1998 fins a desembre de 2007 (automàtica). Els resultats indiquen que els primers 15 anys la tendència de la temperatura mitjana representa un augment màxim de quasi un grau per dècada i, per la seva part, els darrers 10 anys no presenten una tendència ben definida dins un interval de confiança del 95 %. Pel que fa a les temperatures extremes a 1.5 metres, tan a les màximes com a les mínimes la tendència és d'augment però és precisament en les mínimes on s'ha presentat la tendència més significativa d'augment durant els 25 anys analitzats, amb un escalfament màxim de l'ordre de 0.8 C per dècada. Pel que fa a la temperatura mínima a 15 cm la tendència és també d'augment tot i que no de manera significativa dins l'interval de confiança del 95 %.

Un altre de les eines utilitzades per caracteritzar la temperatura mitjana de la ciutat de Lleida és l'anàlisi mitjançant transformades de Fourier discretes (DFT). Per un conjunt de N

dades discretes x_k , ($k = 1, \dots, N$), es defineix la DFT com:

$$DFT(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_k \exp\left(\frac{-i2\pi nk}{N}\right) \quad (3)$$

Aquesta eina ens permet obtenir espectres característics en l'espai de freqüències. La figura 3 presenta l'espectre característic, es escala logarítmica als dos eixos, de la temperatura mitjana horària de la sèrie automàtica de 10 anys a la qual, una vegada calculada la DFT, s'ha aplicat una mitjana mòbil agrupant les dades en nombre de 30 a mode de filtre pel període comprès entre un mes i una hora a fi d'eliminar soroll. Aquest espectre permet localitzar els cicles anuals i diaris, que presenten pics ben definits i altres pics menys rellevants com els semidiaris.

3.2 El vent i les circulacions de l'aire a la ciutat de Lleida

El nostre particular interès en la identificació i el coneixement dels patrons típics de circulació de l'aire a nivells baixos ens obliga a dedicar especial atenció a la direcció i velocitat del vent. La figura 4 (esquerra) presenta la distribució del vent en direcció i en intensitat. Resulta clar que hi ha dues direccions predominants, que són els vents de NE i els vents de ponent. Els vents de NE corresponen als vents que davallen canalitzats per la vall del Segre. Aquesta situació és típica en condicions de vent feble. Per contra, els vents del costat de ponent corresponen a vents canalitzats en la direcció de la vall de l'Ebre i, en general, són més intensos que els de NE. En les 8 principals direccions predominen els vents febles,

La mateixa figura 4 (dreta) mostra que el recorregut mitjà del vent en 24 hores està comprès entre 100 i 200 km en més del 50 % dels dies i quasi un 25 % dels dies, entre 200 i 300 km. També és interessant analitzar les ratxes màximes diàries de vent, les quals oscil·len en més de la meitat dels casos entre els 5 i els 10 ms^{-1} (fig. 5) i en un 70 % dels casos tenen lloc a l'horabaixa. La taula 3, la qual mostra la distribució de les ratxes màximes en funció de la seva direcció, reforça la idea de que els vents més intensos corresponen majoritàriament a vents de ponent.

L'anàlisi de les freqüències característiques del vent mitjançant la DFT s'ha dut a terme a partir de l'energia cinètica total. L'espectre obtingut (figura 6), també resultat d'aplicar a la DFT la mateixa mitjana mòbil que a la temperatura, presenta pics ben definits corresponents als cicles anuals, diaris i semidiaris.

3.3 El vent i la temperatura durant les nits de bon temps

És ben sabut que a quasi tots els llocs existeixen diferències entre els règims diürns i els nocturns. De nit, i en condicions d'estabilitat atmosfèrica, és quan es tornen més rellevants les peculiaritats del terreny, marcant els patrons de circulació de l'aire, forçant-lo als nivells més baixos a seguir certes trajectòries i, en conseqüència, marcant el patró de refredament a la capa

límit.

A latituds mitjanes les caigudes de temperatura nocturnes són ben marcades i Lleida no n'es una excepció. Els refredaments totals màxims al llarg de la nit oscil·len entre els 10 i els 12 °C segons l'època de l'any, tal i com es pot veure a la figura 7. Aquests refredaments no es produeixen de forma constant al llarg de la nit; és precisament a les tres primeres hores després de la posta del sol on la caiguda de temperatura és més pronunciada, mentre que al final de la nit és quan menys es refreda.

En totes les estacions de l'any la intensitat del vent, feble de per sí, disminueix a mesura que transcorre la nit (veure figura 8, esquerra), arribant d'aquesta manera al final de la nit en un alt estat de calma. Els patrons de circulació de l'aire a capes baixes, com es pot deduir a la figura 8 de la dreta, no varien en excés respecte de les direccions generals vistes a la figura 4 degut a la localització estratègica de la ciutat.

3.4 Anàlisi de les observacions de meteors

3.4.1 Boires, gebrades i rosades

Seguint els criteris de l'AEMET hem de diferenciar entre boira i boirina. La boirina és el meteor més freqüent que té lloc a Lleida, amb un 40 % dels dies, com es mostra a la taula 4. Les boires (en general) són una de les característiques més rellevants del clima hivernal de Lleida. La boirina hi és present tots els mesos de l'any, donant pas en molts de casos a formacions de boires quan les condicions són favorables, mentre que les boires es concentren en un 90 % entre els mesos d'octubre a febrer, època on la insolació és menor i no afavoreix que la boira i la boirina es desfacin prematurament. Les boires hivernals de Lleida poden prendre extensions que ocupen tota la plana de Lleida i molt freqüentment persisteixen durant dies. Pel que fa a les tendències (taula 5), no es té certesa de cap tendència significativa pels dies de boira i de boirina anuals dins un interval de significació del 95 %; el nombre de dies de boira i/o boirina varien significativament d'un any a l'altre.

La rosada, meteor lligat a les boires i boirines, té una presència rellevant principalment a les matinades de Lleida, especialment en els mesos de tardor i primavera. Durant els mesos d'hivern, aquestes rosades esdevenen en gebrades, tal i com es pot deduir a la taula 4. En cap dels dos casos s'ha trobat cap tipus de tendència ben definida.

3.4.2 Pluja, calabruix i tempestes

La pluja a la ciutat de Lleida es troba prou ben repartida al llarg de l'any tan en freqüència com en quantitat, si bé s'ha centrat majoritàriament l'atenció a la freqüència. A Lleida els dies de pluja estadísticament tan sols es compten a un de cada quatre dies i durant els 25 anys d'estudi s'enregistren tan sols una mitjana anual de 335 litres per metre quadrat. La figura 9 ens mostra aquesta distribució (esquerra). El nombre de dies de pluja per any varia significativament d'un

any a l'altre, donant com a resultat una insignificant tendència a disminuir lleugerament (de l'ordre d'un dia i mig per dècada, tal com es veu a la taula 5).

A més a més de les boires hivernals, una de les característiques del clima de Lleida són les tempestes d'estiu (taula 4). Si bé els dies de tempesta tan sols representen un 5 %, són les responsables de la precipitació enregistrada en aquesta època de l'any. Quasi un 80 % tenen lloc entre maig i setembre, tot i que no presenten cap tipus de tendència rellevant. És precisament en els dies de tempesta quan es donen els casos de calabruix, temut per tota la comunitat agrícola de Lleida. Les calabruixades a la ciutat de Lleida són molt poc freqüents: en els 25 anys d'estudi tan sols se n'han donat 34 casos, 30 dels quals han vengut associats a tempestes (un 88 %).

3.4.3 Altres meteors amb menys presència

Un meteor característic de Lleida és la calitja, amb una presència de l'ordre del 13 %, present a totes les èpoques de l'any, especialment a finals d'hivern i a la tardor. És l'únic meteor pel qual s'ha trobat una tendència a augmentar de manera rellevant, tot i que s'ha observat que la tendència parcial entre 1983 i 1998 és de fort augment, essent l'any 1998 l'any en el qual se'n van registrar més casos i, a partir d'aquest moment, s'ha observat una forta caiguda de dies de calitja per any.

Tot i que els hiverns a Lleida s'on molt freds, la neu és, juntament amb el calabruix, un dels meteors menys freqüents (menys d'un 1 % dels dies). Quasi tots els casos s'han donat als mesos de gener i febrer.

4 Conclusions

5 Referències bibliogràfiques

Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación. Fernández García, F. Ed. Síntesis.

Climatología aplicada. Martín Vide, J. Ed. Síntesis.

An introduction to boundary layer meteorology. Rolland B. Stull, Kluwer Academic Publishers.

Fourier methods for mathematicians, scientists and engineers. Cartwright, M. Ellis Horwood.

Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de precipitación en España. Serie monografías, Ministerio de Medio Ambiente

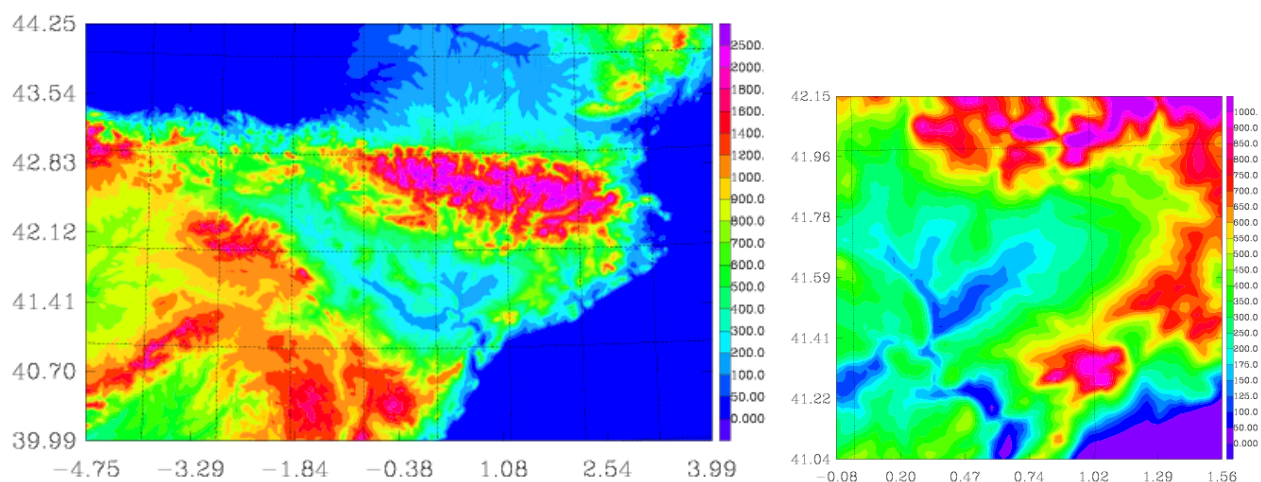


Figura 1: Localització de la ciutat de Lleida, dins la conca del riu Ebre i a la vall del riu Segre (esquerra) i mapa topogràfic de la plana de Lleida (dreta).

Període	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Localització
1881 - 1885	4138' N	0038' E	150	1
1886 - 1912	-	-	-	-
1913 - 1918	4137' N	0037' E	150	2
1919	4142' N	0036' E	NC	3
1920 - 1921	4137' N	0037' E	150	2
1922 - 1926	4142' N	0036' E	NC	3
Abril-des 1926	4137' N	0037' E	150	2
1928 - 1929	4142' N	0036' E	NC	3
1930	4137' N	0037' E	150	2
1931 - 1939	-	-	-	-
Feb 1939 - ??	4138' N	0038' E	154	4
1947 - 1959	4137' N	0038' E	169	5
1959 - 1983	4137'13" N	0037'00" E	199	6
1983 - actualitat	4137'33" N	0035'42" E	192	7

Taula 1: Resum de l'història de l'estació de Lleida. Hi ha dues llacunes entre 1886 i 1912 i entre 1931 i 1939. 1: Instituto de Segunda Enseñanza. 2: Sociedad Anónima de Riegos y Fuerzas del Ebro. 3: Seminario de Lérida. 4: Instituto Nacional de Higiene (antic edifici del Instituto de Segunda Enseñanza). 5: Ayuntamiento de Lérida. 6: Pasatge de l'Ampurdà. 7: Estació d'Avisos, campus de la UdL.

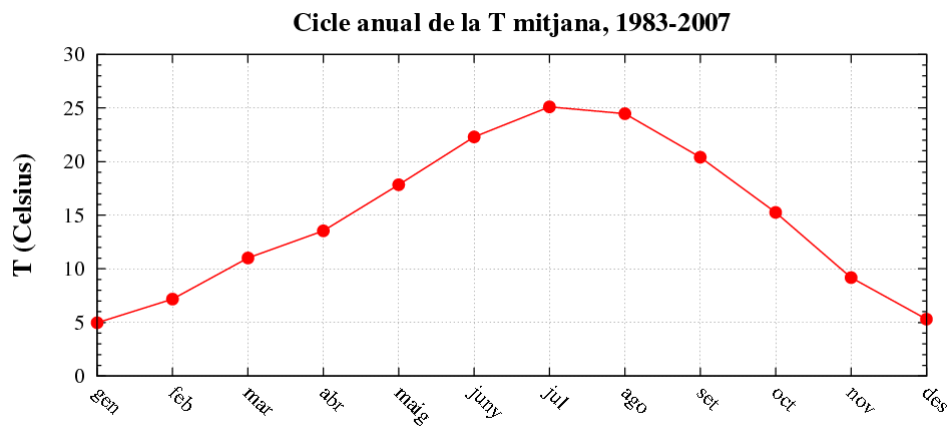


Figura 2: 1983-2007: cicle anual de la temperatura mitjana.

Variable	Tendència (C/dèc)
$T_{1983-1997}$	[0.04 , 0.98]
$T_{1998-2007}$	[-0.23 , 1.51]
$T_{1983-2007}$	[-0.12 , 0.31]
T_{min}	[0.40 , 0.78]
T_{max}	[0.01, 0.51]
T_{15}	[-0,02 , 0.60]

Taula 2: Tendències (en C per dècada i amb un interval de significació del 95 %) de les temperatures mitjana i extremes a 1.5 m i de la mínima a 15 cm.

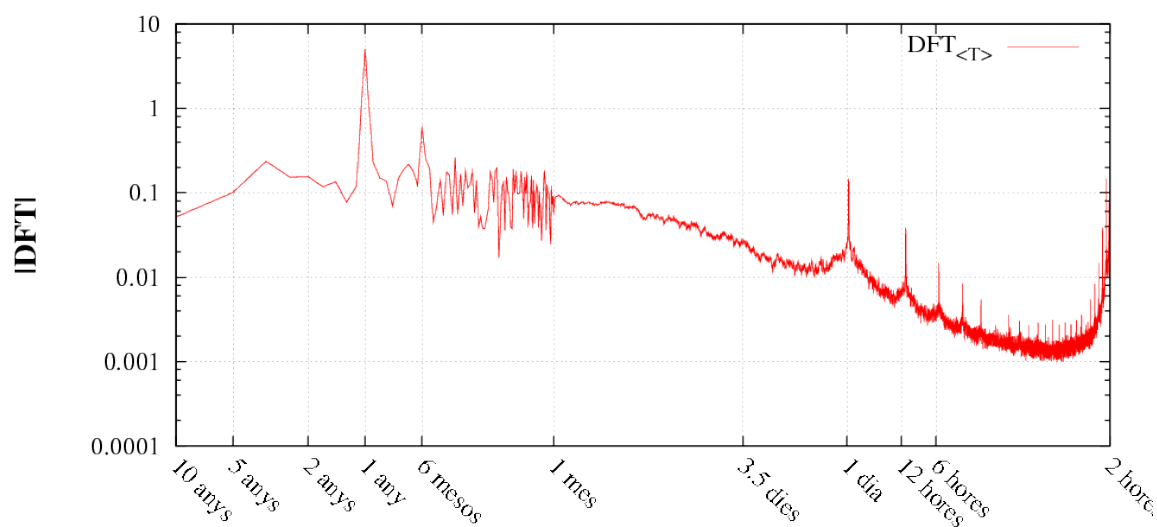


Figura 3: Representació log-log del mòdul de la DFT de la sèrie 1998-2007 de temperatura mitjana horària. A la DFT se l'hi ha aplicat amb una mitjana mòbil $n=30$ entre 1 mes i 2 hores.

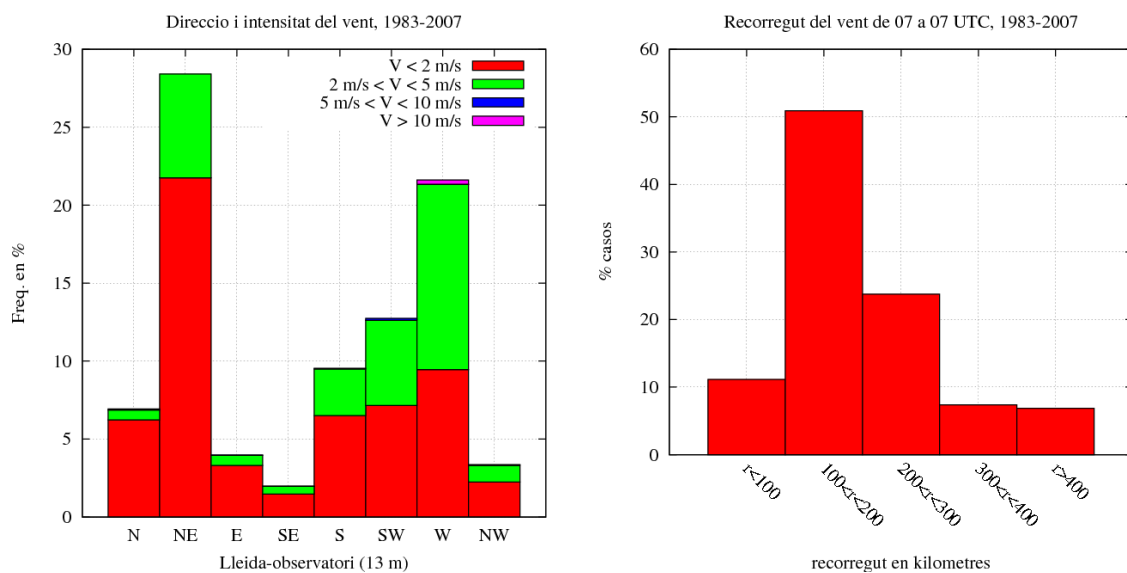


Figura 4: Esquerra: distribució del vent segons la seva direcció, indicant al mateix temps la distribució de la seva intensitat. Dreta: Distància recorreguda pel vent en 24 hores.

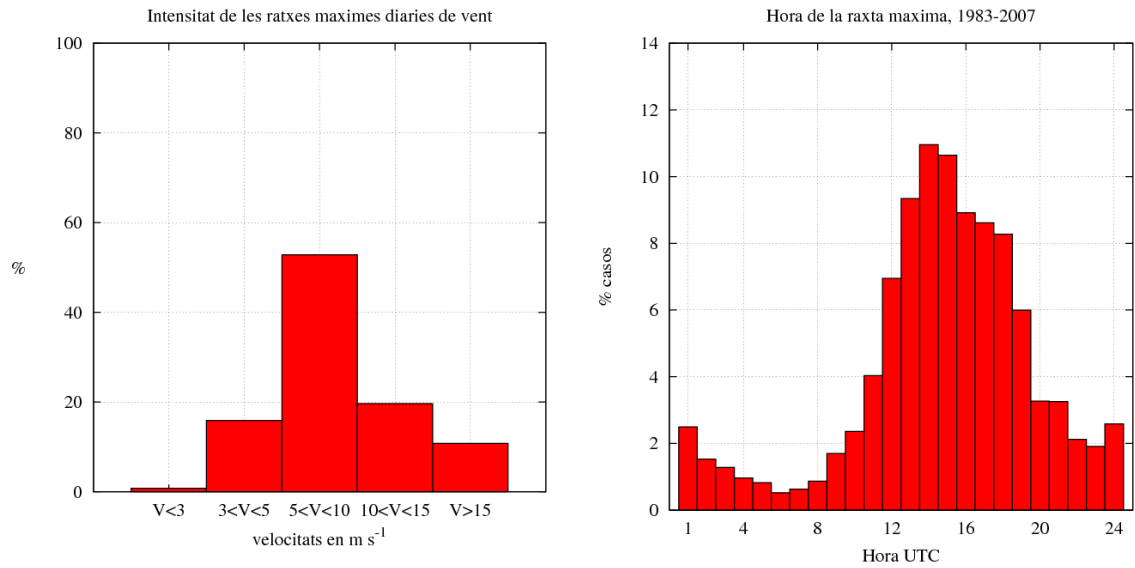


Figura 5: Ratxes màximes diàries. Esquerra, intensitat; dreta, hora a la qual es dona la ratxa màxima

vel (ms^{-1}).	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
< 3	5.6	38.0	2.8	0	5.3	22.5	21.1	4.2
$3 \leq v < 5$	5.3	30.8	7.4	1.0	8.7	19.9	25.5	1.5
$5 \leq v < 10$	1.3	9.7	5.0	2.6	19.4	18.4	41.0	2.5
$10 \leq v < 15$	3.0	6.7	10.1	2.7	13.9	8.0	76.8	6.7
> 15	1.5	1.1	1.8	0.2	1.0	1.3	84.6	8.5

Taula 3: Distribució en % de les ratxes màximes segons la seva intensitat. A mesura que el mòdul de la velocitat de la ratxa augmenta, la direcció W es torna altament predominant per damunt les altres.

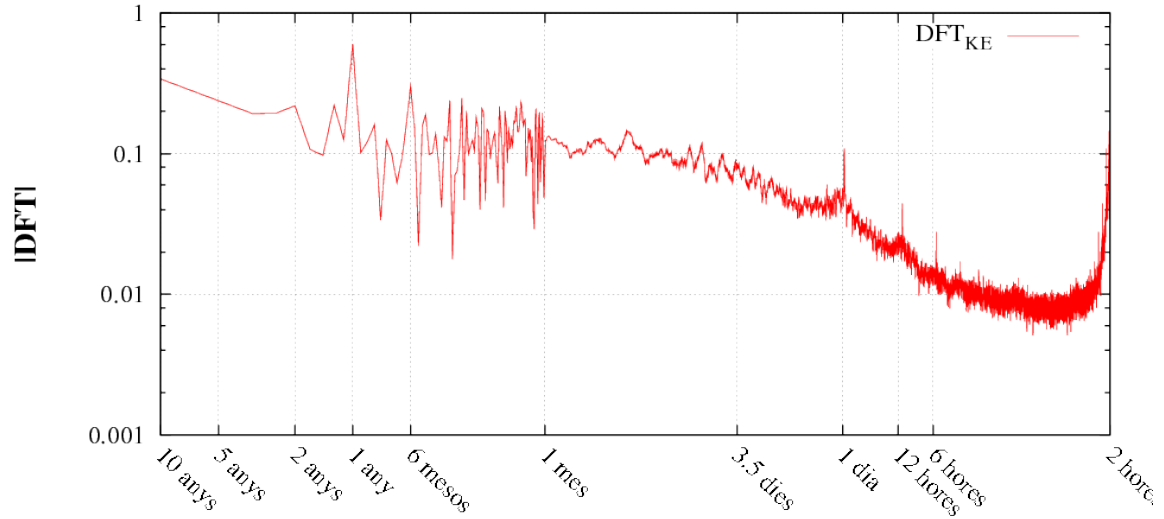


Figura 6: Representació log-log del mòdul de la DFT de l'energia cinètica horària entre 1998 i 2007. A la DFT se l'hi ha aplicat una mitjana mòbil $n=30$ entre 1 mes i 2 hores.

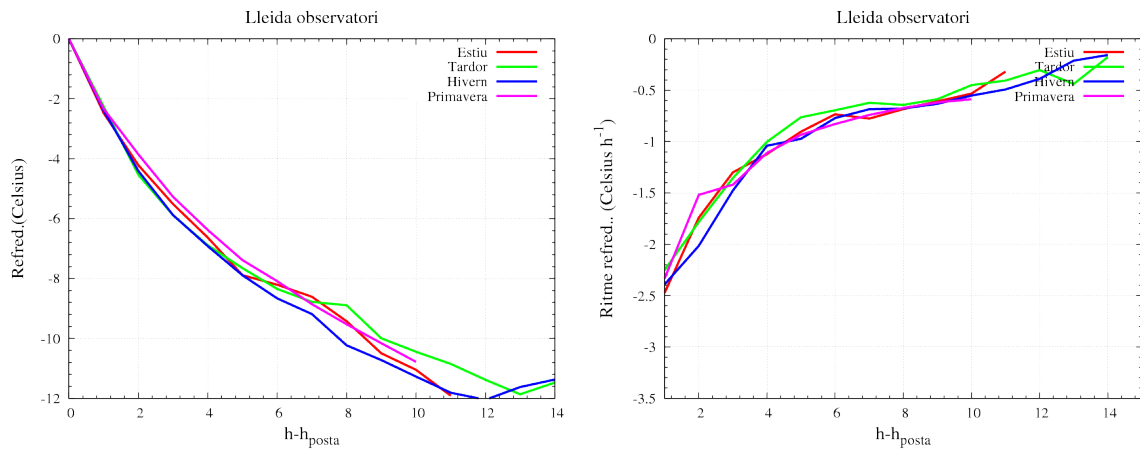


Figura 7: Esquerra: refredament nocturn durant les nits amb condicions d'estabilitat atmosfèrica i segons l'estació de l'any. Dreta: el seu ritme.

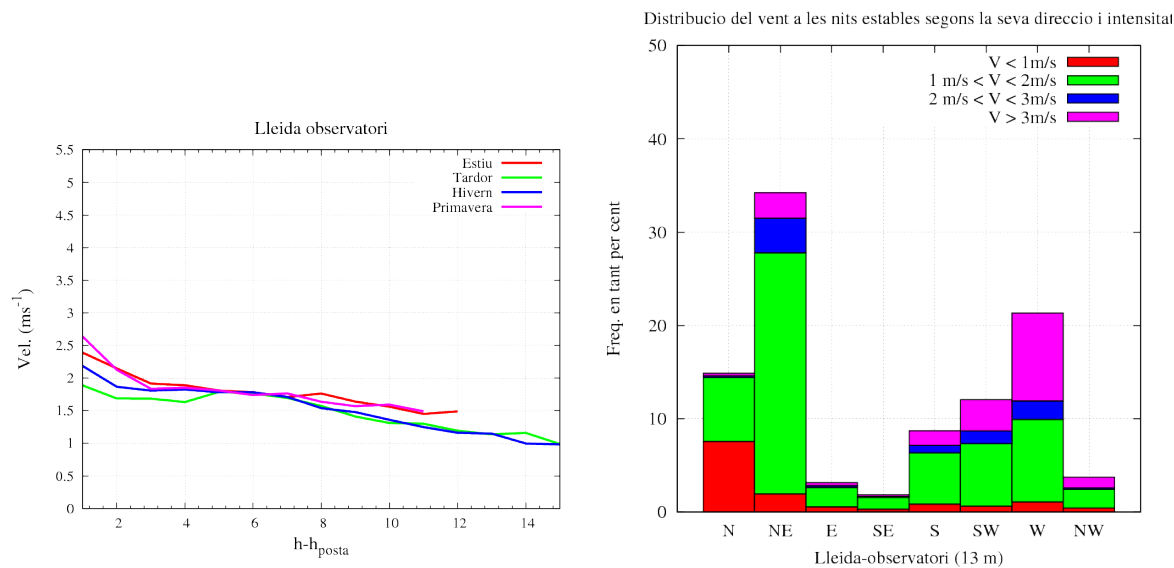


Figura 8: Esquerra: evolució de la intensitat del vent per a cada estació de l'any des de la posta fins a la sortida del sol a les nits en condicions d'estabilitat atmosfèrica. Dreta: distribució del vent a les nits estables.

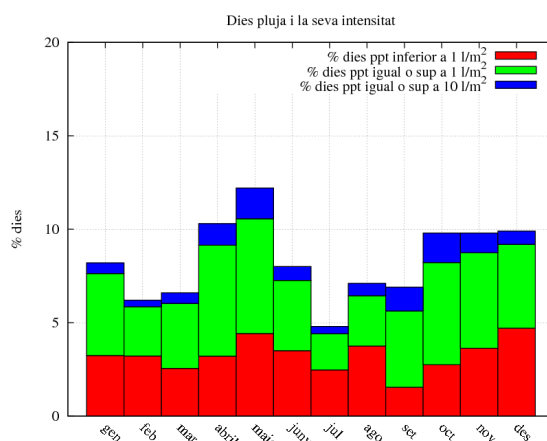


Figura 9: Distribució mensual de la pluja entre 1983 i 2007 i de la seva intensitat.

Meteor	% dies	Gen	Feb	Mar	Abr	Maig	Juny	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des
Boirina	40	11	9	9	6	6	4	4	5	7	10	11	12
Boira	14	21	13	5	2	1	< 1	< 1	< 1	2	8	17	27
Rosada	30	5	5	9	8	9	4	5	9	12	16	11	7
Gebrada	6	26	21	9	1	0	0	0	0	0	<1	14	25
Tempesta	5	< 1	< 1	1	7	18	14	14	18	14	7	2	< 1
Pluja	24	8	6	7	10	12	8	5	7	7	10	10	10
Calitja	13	8	14	13	4	6	6	7	4	6	9	9	7
Calabruix	< 1	2	2	2	17	5	14	8	26	8	5	2	0
Neu	< 1	50	25	12	0	0	0	0	0	0	0	0	12

Taula 4: Resum de la distribució mensual dels meteors més rellevants que tenen lloc a Lleida (valors en % respecte al % de dies de cada meteor).

Meteor	Tendència (dies/dèc.)
Boirina	[-4.2 , 16.4]
Boira	[-6.1 , 8.1]
Rosada	[-30.0 , 14.2]
Gebrada	[-5.8 , 6.0]
Tempesta	[-1.7 , 4.5]
Pluja	[8.4 , 5.6]
Calitja	[11.7 , 34.3]
Calabruix	[-0.5 , 1.1]
Neu	[-0.8 , 0.6]

Taula 5: Resum de les tendències calculades amb un nivell de significació del 95 %, expressades en número de dies per dècada, per diferents meteors.