



Universitat
de les Illes Balears

TREBALL FI DE GRAU

ESTUDI DE LES CIRCULACIONS LOCALS GENERADES A UNA ZONA IRRIGADA

Aina Torres Oliver

Grau de Física

Facultat de Ciències

Any Acadèmic 2020-21

ESTUDI DE LES CIRCULACIONS LOCALS GENERADES A UNA ZONA IRRIGADA

Aina Torres Oliver

Treball de Fi de Grau

Facultat de Ciències

Universitat de les Illes Balears

Any Acadèmic 2020-21

Paraules clau del treball:

conca de l'Ebre, dades satel·litàries, estacions meteorològiques automàtiques, piscines d'aire fred, temperatura superficial, vents locals.

Tutora del Treball : María Antonia Jiménez Cortés

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació

Autor		Tutor	
Sí	No	Sí	No
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Resum

En aquest TFG s'ha estudiat la relació que hi ha entre els gradients tèrmics i els vents locals que es generen a una zona en terreny complex. Per això, s'ha considerat la subconca oriental del riu Ebre, on hem cercat les diferències de temperatura que es produeixen a una zona irrigada i a una zona pendent-vall i s'han identificat que les heterogeneïtats superficials (topografia i usos del sòl) poden ser responsables de les circulacions generades localment a aquesta zona. Els factors d'irrigar i no irrigar, la quantitat d'aigua que irriguen, entre d'altres tenen un impacte en el balanç energètic en superfície sobre la zona i aleshores les circulacions observades s'han vist intensificades a causa d'aquests factors principalment durant el dia, ja que de nit hem observat que els efectes de la irrigació són menors. Analitzant els gradients tèrmics que s'han considerat, veiem que durant el dia i la nit s'afavoreixen les circulacions de vents de pendent amunt (anabàtics), fet que es contradiu amb el que s'espera respecte als vents catabàtics durant la nit a causa de l'aparició del fenomen de la cold pool durant les nits d'hivern. Ja que en el cas de la formació d'una cold pool al fons de la zona irrigada (plana), hauríem de considerar el gradient tèrmic que es produeix entre la zona muntanya i el cim de la cold pool per tal d'explicar les circulacions de vents de pendent avall (catabàtics). Finalment, hem vist que aquests patrons tèrmics els tenim cada any més o menys intensificats depenent de les característiques meteorològiques de l'any en concret. La metodologia d'aquest treball es podria exportar a altres bandes sempre que les dimensions de la zona siguin semblants a aquesta zona d'estudi.

Índex

1	Introducció	7
2	Metodologia	9
2.1	Descripció de la zona d'estudi	9
2.2	Característiques de les dades satel·litàries de temperatura en superfície . .	12
2.3	Descripció de les dades de les Estacions Meteorològiques Automàtiques . .	13
3	Resultats	14
3.1	Identificació de les diferències de temperatura entre les zones	14
3.2	Patrons de les diferències de temperatura durant l'any 2016	15
3.2.1	Diferències entre els patrons d'estiu i d'hivern	16
3.2.2	Variabilitat del cicle diürn	19
3.3	Variabilitat interanual (2009-2019) de les diferències de temperatura	21
3.4	Circulacions observades durant l'any 2016 i la seva relació amb les diferèn- cies de temperatura	23
4	Conclusions	27
	Referències	29

1 Introducció

En situació de bon temps (vents generals febles i sense núvols) és quan es pot observar millor la influència dels vents locals que, com diu el seu nom, són generats a causa de les característiques de la zona (topografia o usos del sòl, entre d'altres). Gràcies a aquesta variabilitat es poden establir gradients tèrmics que són els responsables de generar gradients de pressió, afavorint l'aparició de vents locals que representen un desplaçament de l'aire des d'una zona d'alta pressió a zones de baixes pressions. En canvi, quan no es donen aquestes condicions la meteorologia del lloc està influenciada per les circulacions de vents de major escala (sinòptica).

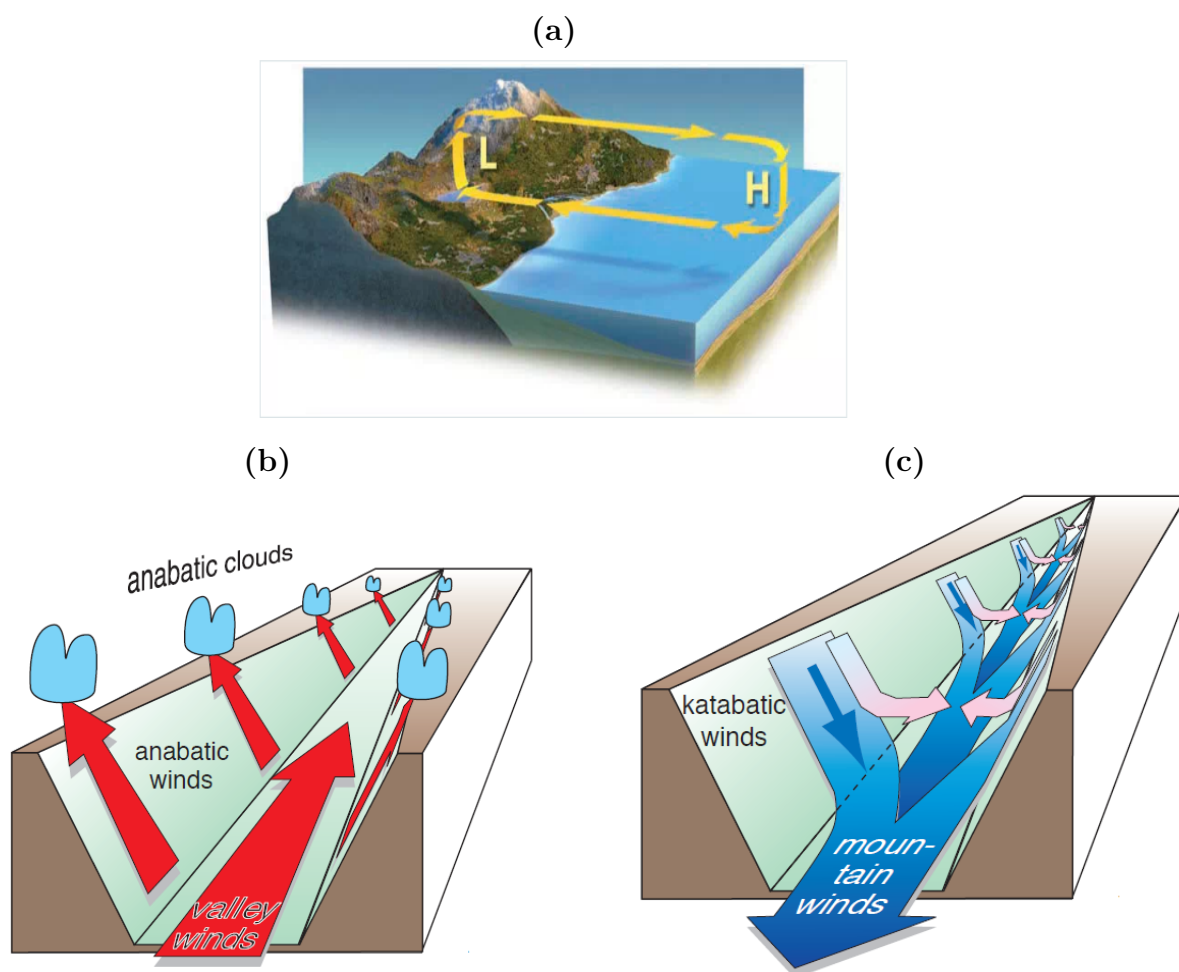


Figura 1: (a) Esquema d'una circulació a causa d'una diferència de temperatura entre terra i mar ([1]). (b) Condicions diürnes dels vents anabàtics al llarg de les parets de la vall i dels vents associats al fons de la vall ([2] Fig. 9.31 (a)). El mateix a (c) però pels vents catabàtics de nit ([2] Fig. 9.31 (b)).

En el cas de la costa (interfície terra-mar), els gradients de temperatura que poden generar circulacions són provocats a causa de les heterogeneïtats en superfície i són la brisa marina i el terral (vegeu la Figura 1 (a)). En canvi, si aquestes heterogeneïtats són generades a una zona amb una topografia complexa, es generen el que es coneix com a

vents de pendent (anabàtics de dia i catabàtics de nit, vegeu les imatges (b) i (c) de la Figura 1, respectivament).

La brisa marina i el terral són exemples clars de circulacions tèrmiques generades per les heterogeneïtats en superfície (Figura 1 (a)) i s'anomenen brisa marina si bufen de mar a terra i terral si van de terra cap a mar. Aquests dos tipus de brises són provocats per la diferència de temperatura entre ambdues superfícies. El principal responsable d'aquest gradient tèrmic costaner és la capacitat calorífica (C), és a dir, el fet que C_{aigua} sigui més gran que $C_{sòl}$ fa que la superfície terrestre reaccioni molt més ràpid als canvis d'insolació que la superfície de l'oceà. D'aquí es dedueix que els continents tendeixen a ser més càlids que els oceans durant el dia i es refreden més durant la nit. La temperatura superficial de terra presenta un cicle diürn clar (a més de l'estacional), mentre que la temperatura superficial de la mar només presenta un cicle estacional ([3]).

La Figura 1 (a) fa referència a la brisa marina, però si en lloc de tenir terra-mar tenim una zona amb dos tipus de superfícies ben diferents (com una zona irrigada al costat d'una zona seca), el mecanisme físic és el mateix. Simplement que la circulació depèn del gradient de temperatura i en aquest cas seria el que es generaria entre aquestes 2 zones a causa de la diferent capacitat calorífica (relacionada amb els diferents usos del sòl). S'ha comprovat que en funció del gradient tèrmic que es té horitzontalment, la brisa és més intensa o menys intensa ([3]) entre altres factors.

Pel que fa als vents de pendents, quan els pendents de les muntanyes s'escalfen durant el dia, en condicions de temps favorable (vent general feble i cels clars), s'estableix una diferència de temperatura horitzontal entre l'aire que està en contacte amb el pendent i l'aire situat al mateix nivell però allunyat del pendent. Aleshores, l'aire calent puja pel pendent com un vent anabàtic. Quan els vents anabàtics dels dos costats de la muntanya es troben en el cim, els vents s'elevan per sobre d'ell i poden arribar a crear cúmuls anabàtics si hi ha prou humitat. A les valls, els vents anabàtics generats als pendents poden generar circulacions de vall, tal com les que es mostren a la Figura 1 (b).

Durant el vespre, els pendents de les muntanyes es refreden per radiació d'ona llarga. Aleshores, l'aire fred s'endinsa pendent avall com un vent catabàtic a causa de la seva flotabilitat negativa. L'aire fred que queda acumulat com un estany fred en el fons de la vall es coneix com a *cold pool*. Aquest mecanisme també és el responsable de la formació de boira, però les capes d'aire que es troben a una temperatura menys freda no baixen fins al fons, sinó que s'expandeixen horitzontalment en el seu nivell de flotabilitat neutra ([2]) tal com indiquen les fletxes roses de la Figura 1 (c).

Si aquests fenòmens fossin depenents sols de les influències locals, seria lògic pensar que el seu desenvolupament és sempre afavorit per una atmosfera prèvia en total calma i que la seva intensitat serà directament proporcional a les influències locals. En realitat les circulacions locals no esdevenen d'una forma tan ideal, sinó que és evident que estan influenciades per altres factors ([3]), com la topografia, la humitat del sòl, entre d'altres.

En aquest treball s'analitzarà la relació que hi ha entre els vents observats a una zona heterogènia i els gradients tèrmics que s'hi generen. Per aquesta raó s'ha elegit la zona de Lleida, ja que permet avaluar els gradients tèrmics provocats gràcies a la topografia

(muntanya-plana) i als diferents usos del sòl (zones irrigades amb diferents pràctiques i zones més seques), tal com es descriuen a [4].

L'objectiu d'aquest treball és cercar les diferències de temperatura que es produeixen (a) a una zona irrigada i (b) a una zona pendent-vall, situades a la conca est de l'Ebre, i estudiar com són els seus cicles diürn, estacional i anual. També es té com a finalitat, un cop assolit l'objectiu anterior, veure si la diferència de temperatura és capaç de generar circulacions locals a l'àrea a partir de les observacions en superfície de certes estacions meteorològiques.

2 Metodologia

2.1 Descripció de la zona d'estudi

La Conca de l'Ebre (Figura 2) és una vall aproximadament triangular, orientada al NW/SE amb una longitud d'uns 400 km, envoltada per serralades importants (els Pirineus i la Serralada Cantàbrica al nord; el Sistema Ibèric a l'oest i el sud; i la Serralada Prelitoral catalana a l'est). La desembocadura de l'Ebre al mar es realitza a través d'uns canons estrets que comuniquen el sur de la comarca del Segrià amb la del Montsià. Per això, la conca es pot considerar, en una primera aproximació, com una vall tancada ([5]), essent l'àrea de Lleida la més baixa i extensa de la conca.

El Pla de Lleida és una zona irrigada majoritàriament dedicada a la producció agrícola allunyada de nuclis de població importants. La irrigació es duu a terme de dues maneres diferents: el reg per goteig i el reg a manta. En altres paraules, podríem dir que es tracta d'un terreny complex a causa de la seva topografia, els usos del sòl, etc. Aquestes heterogeneïtats (terreny i usos del sòl) poden generar circulacions locals en condicions de gradients de pressió febles i un cel clar.

Pel que fa a les zones que s'estudiaran, dins la zona irrigada es diferencien dues àrees d'irrigació diferent: una zona de regadiu a manta (zona manta) i una zona de regadiu per goteig (zona goteig). Aquests dos mètodes de regar tenen un impacte en les propietats del sòl (temperatura i/o humitat) i probablement condicionaran les circulacions generades localment a la zona tal com es veurà en aquest treball. A l'àrea de pendent-vall, analitzarem una zona seca dels pendents (zona seca) i una zona de muntanya (zona muntanya). És important esmentar les característiques principals de cada una d'elles. Les zones de regadiu de la conca s'irriguen des del final de la primavera fins al final de l'estiu. Respecte a la zona muntanya, la temperatura disminueix a mesura que augmenta l'altura a raó d'aproximadament $1\text{ }^{\circ}\text{C}/1\text{ hm}$. Quant a la zona seca, es podria dir que pràcticament és una zona de pendent no tan pronunciada com en el cas de la muntanya i hi trobam cultius de secà (blat). Cada una d'aquestes zones que s'han descrit es troben indicades a la Figura 3.

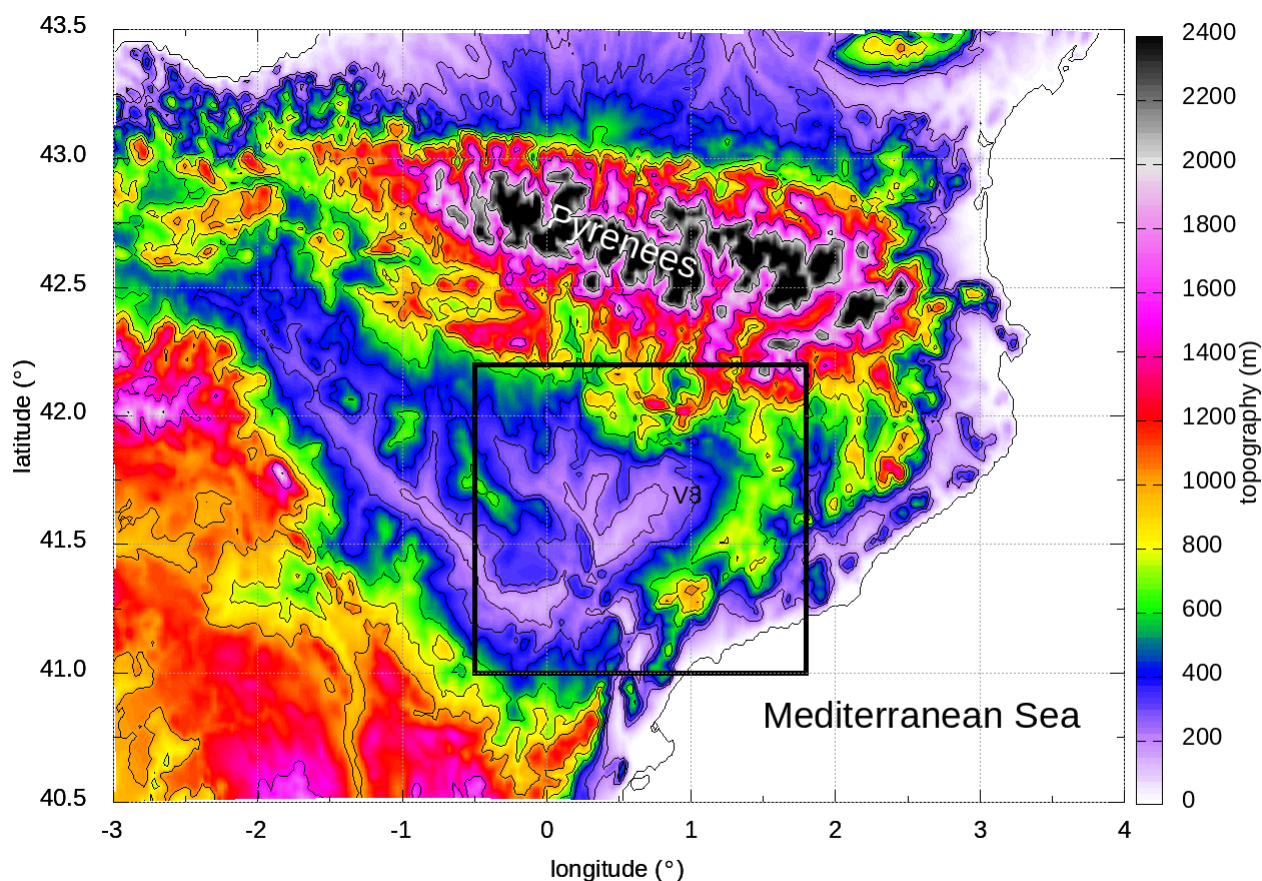


Figura 2: Topografia de la conca de l'Ebre amb un retall (quadrat negre) que ens mostra la zona d'estudi (figura proporcionada pel grup de meteorologia de la UIB).

Respecte a la irrigació, cal tenir en compte aquests fets per explicar els resultats:

- El reg a manta consisteix en obrir una comporta i inundar el terreny. No es fa cada dia sinó que a cada finca li toca un dia en concret. Normalment cada finca dins la zona s'inunda cada 15 dies, però si el temps és més sec es pot fer més freqüentment. En qualsevol cas, no hem de considerar que la zona manta sempre està inundada, ja que hi haurà finques que sí ho estaran devora de finques un poc més seques (zona no homogènia). Quant a la localització de la zona manta, correspon a l'àrea del polígon blau part dreta de la Figura 3 amb unes dimensions d'uns 35 km de llargària i 18 km d'ample.
- El reg a goteig es fa amb un sistema que se subministra gota a gota a la part baixa de la planta. D'aquesta manera les plantes tenen totes les necessitats hídriques cobertes i possiblement són més grans/verdes que si no es fes aquesta pràctica. Però, desde el punt de vista del satèl·lit, és com si fos una zona seca (no àrida) però pertorbada per l'activitat humana. Es podria considerar entre el terme mig de la zona de manta i seca que nosaltres hem considerat. La zona goteig correspon a l'àrea que forma el polígon blau part esquerra de la Figura 3 amb unes dimensions d'aproximadament uns 18 km de llargària i 22 km d'ample.

Aleshores, durant el dia dels mesos d'estiu la radiació solar té aquest efecte sobre les zones d'estudi:

- Zona seca: tota la radiació solar encalenteix el terra.
- Zona manta: només part de la radiació solar encalenteix el sòl. La resta escalfa l'aigua continguda a terra, fent que aquesta s'evapori.
- Zona irrigada: seria el terme mitjà, una part petita de la radiació evaporarà la poca aigua que hi pugui haver al sòl.

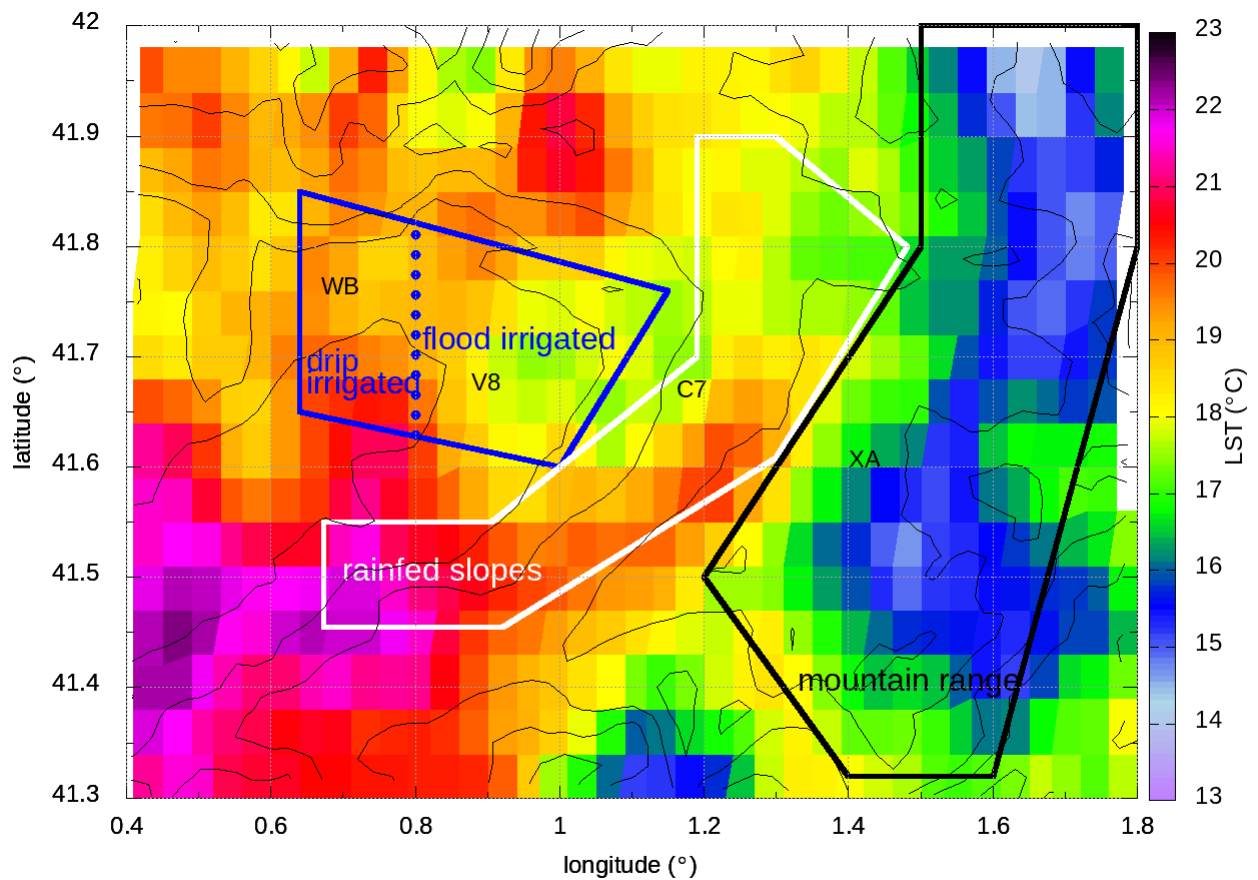


Figura 3: Mapa de LST del dia 16 de juliol de 2016 a les 2200 UTC i localització de les àrees en les quals s'han calculat les mitjanes de temperatura cada hora per tal de poder calcular les diferències de temperatura entre les diferents zones. També apareixen les estacions meteorològiques que s'han emprat per representar cada zona: la Panadella [XA], la Albesa [WB], el Poal [V8] i Tàrrega [C7] (figura proporcionada pel grup de meteorologia de la UIB).

2.2 Característiques de les dades satel·litàries de temperatura en superfície

Les mesures d'LST (*Land Surface Temperature*) s'han obtingut a través del LSA SAF (*Satellite Application Facility on Land Surface Analysis*), on és necessari enregistrar-se prèviament per poder accedir a la base de dades de productes LST. El LSA SAF forma part del EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) i se centra en el desenvolupament i processament dels productes satel·lit que caracteritzen les superfícies continentals, com els productes de la radiació i la vegetació. En aquest treball, el producte de temperatura que s'han emprat és la temperatura superficial del satel·lit Meteosat10.

El Meteosat10 és un satel·lit que correspon al grup MSG (*Meteosat Second Generation*), en particular, és el tercer dels quatre satel·lits MSG, i es va llançar el 5 de juliol del 2012. Aquest satel·lit està situat a una òrbita geoestacionària (mateixa velocitat angular que la Terra) a 36.000 kilòmetres d'altitud sobre l'equador ([6]) i va ser dissenyat per tractar de millorar les prediccions meteorològiques. Les característiques principals del Meteosat10 són les següents:

- El Meteosat10 du a bord una sonda SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager*) que permet una velocitat d'escaneig ràpida, així com una selecció de productes meteorològics avançats des d'una posició a 9.5°N ([6]).
- La sonda SEVIRI mesura irradiancies a diferents longituds d'ona i per calcular la LST s'empren les de 10.8 i 12 μm ([7]).
- Les resolucions dels canals visibles i d'infrarojos són de 3 km x 3 km i 1 km x 1 km respectivament. Aquestes resolucions són al nadir (latitud 0°) ([8]).
- La precisió dels camps d'LST que s'obtenen a partir de productes satel·litaris és d'uns 0.5 °C ([3]).
- L'obtenció de camps d'LST que cobreixen la zona d'Europa, Àfrica i l'Atlàntic Nord.

La temperatura de la superfície de la Terra, o LST, és una mesura d'escalfament directe de la superfície terrestre, on els raigs del sol són absorbits i reemesos. Des del punt de vista d'un satel·lit, el concepte de "superfície" es refereix a tot el que s'observa quan es mira a través de l'atmosfera cap al sòl (p. ex. la neu o el sostre d'un edifici). L'LST és important en l'àmbit científic, sobretot en meteorologia i climatologia, i té un paper important en la física de la superfície terrestre a causa que està involucrada en processos d'intercanvi d'energia i aigua amb l'atmosfera. Cal afegir que per obtenir camps d'LST no hi ha d'haver-hi presència de núvols a la zona d'estudi. En aquest cas, el producte d'LST emprat dona "void data" per aquests píxels coberts de núvols. Aquesta és una limitació important quan es treballa amb productes satel·litaris.

L'instrument SEVIRI a bord dels satel·lits MSG escaneja el disc terrestre complet cada 15 minuts. Per tal de no treballar amb una quantitat excessiva de fitxers, s'han descarregat cada hora.

Les dades dels camps LST que trobam a la pàgina web <https://landsaf.ipma.pt/> estan en el format binari HDF5. Posteriorment, mitjançant uns algorismes realitzats pel grup de meteorologia de la UIB, els valors de la LST es converteixen a format ASCII i s'organitzen en columnes de longitud, latitud i LST. A continuació, es retallen del mapa de temperatures de la terra quatre zones, indicades en la Figura 3: zona muntanya (polígon negre), zona seca (polígon blanc), zona goteig (quadrat blau part esquerra) i zona manta (quadrat blau part dreta). Finalment, es va fer la mitjana de LST a cada zona per poder calcular la diferència de temperatura que hi ha entre elles. En aquesta mateixa Figura 3, es pot apreciar el tamany del píxel i que aquest producte de temperatura considerat és adient per estudiar la variabilitat tèrmica de la zona.

2.3 Descripció de les dades de les Estacions Meteorològiques Automàtiques

La XEMA (*Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques*) és una instal·lació gestionada pel SMC (*Servei Meteorològic de Catalunya*) que, originalment, es va posar en funcionament l'any 1996 amb finalitats agrometeorològiques pel DARP (*Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya*) ([5]). Les EMA (*Estacions Meteorològiques Automàtiques*) ofereixen dades de vent, humitat relativa, temperatura, precipitació, irradiància solar global, gruix de neu i pressió atmosfèrica. La diferència fonamental que hi ha entre elles és l'altura en la qual es mesura el vent. La xarxa XEMA es caracteritza perquè el vent es mesura a moltes estacions a 2 m i 6 m, ja que la seva finalitat inicial no era exclusivament meteorològica sinó també agrícola ([9]).

Les dades recollides per les EMA que s'han considerat per aquest treball són: la velocitat mitjana del vent (ms^{-1}) (a 2 i 10 m depenent de l'estació meteorològica), la direcció del vent ($^{\circ}$, N és 0°) i la temperatura ($^{\circ}C$). En particular, les dades provenen de les següents estacions: la Albesa [WB], el Poal [V8], Tàrrrega [C7] i la Panadella [XA] situades a les comarques de Noguera, Pla d'Urgell, Urgell i Anoia respectivament (Figura 3). Aquestes EMA es poden considerar representatives de les quatre zones que s'analitzaran: WB (situada a 267 m d'altura) correspon a la zona de regadiu per goteig, V8 (223 m) a la zona de regadiu a manta, C7 (427 m) a la zona seca dels pendents i XA (785 m) a la zona de muntanya.

En relació amb l'adquisició i generació de les dades emprades durant tot l'any 2016, cada segon es pren una mesura i cada minut es fa la mitjana de totes elles. A continuació, amb les mitjanes minutals es generen les dades semihoràries (calculades fent la mitjana cada 30 minuts). Malgrat això, per no treballar amb un quantitat excessiva de fitxers s'han descarregat cada hora.

Per realitzar la mitjana mensual de la temperatura (T), la velocitat i direcció del vent, s'ha fet una tria horària de dia i de nit on trobarem les diferències més significatives que hi ha entre les zones. De les 1200 a les 1500 UTC es considera la mitjana de dia, mentre que entre les 0000-0300 UTC s'estima la mitjana de nit. D'altra banda, la direcció del vent s'ha analitzat mitjançant la rosa de vents, ja que és una eina molt útil a l'hora d'identificar quins són els vents predominants o més freqüents i la seva direcció.

Finalment, cal mencionar que per fer els gràfics i els càlculs de les mitjanes i desviacions estàndard s'ha fet servir el llenguatge de programació Python.

3 Resultats

3.1 Identificació de les diferències de temperatura entre les zones

Per tal d'identificar com són les diferències de temperatura entre les zones durant 3 dies de juliol (16, 17 i 18 de juliol de 2016), s'han calculat les mitjanes d'LST per cada una de les zones seleccionades (goteig, manta, seca i muntanya) cada hora tal com es mostra a la Figura 4. En particular, s'han elegit aquests tres dies perquè s'estan estudiant per altres membres del grup de meteorologia de la UIB, ja que la brisa costanera va arribar a la zona d'estudi.

A continuació es mostrarà l'evolució de LST de les quatre zones durant els tres dies d'estiu escollits.

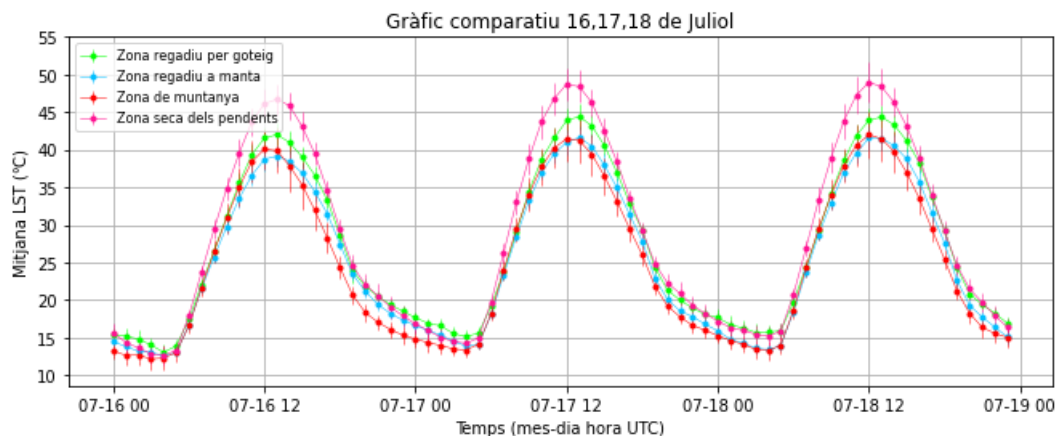


Figura 4: Evolució temporal de la mitjana de LST per cada zona (punt) i la corresponent desviació estàndard (barra) pels 3 dies estudiats (16-18 de juliol de 2016).

Tenint en compte que el gràfic de la Figura 4 mostra el comportament de la LST de tres dies del mes de juliol, període en què es duen a terme el reg a manta i el reg per goteig a la zona irrigada, es pot observar com la zona de regadiu per goteig es troba a major temperatura que la zona de regadiu a manta, sobretot durant el migdia. La raó d'aquesta diferència de temperatura s'explicarà a l'apartat 3.2.2. L'evolució de la LST de la zona de muntanya és molt similar a la de la zona de regadiu a manta, amb la diferència de que passa a ser la zona més freda a mesura que es fa de nit. Pel que fa a la zona seca dels pendents, tal com el seu nom indica, és l'àrea més càlida en comparació amb les altres.

Un cop determinats els valors de les mitjanes LST de cada zona, s'han calculat les diferències de temperatura i representat a la Figura 5. Les abreviacions que apareixen a la

llegenda del gràfic amb els noms de “Seca”, “Goteig”, “Manta” i “Muntanya” corresponen a cada una de les zones estudiades, les quals són respectivament “zona seca dels pendents”, “zona de regadiu per goteig”, “zona de regadiu a manta” i “zona de muntanya”.

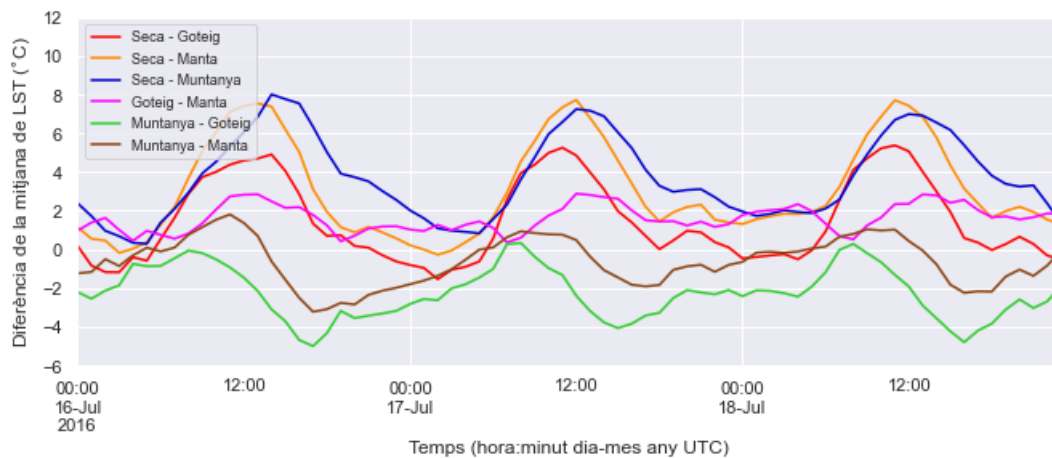


Figura 5: Evolució temporal de les diferències de la mitjana de temperatura de cada zona durant els dies 16, 17 i 18 de juliol de 2016.

Com es pot observar a la Figura 5, la diferència de temperatura entre la zona muntanya i la zona goteig ($\Delta T_{Muntanya-Goteig}$) es manté negativa durant gairebé els tres dies, és a dir, que la zona goteig es troba a major temperatura que la de muntanya, principalment de 1200-1500 UTC. En canvi, $\Delta T_{Seca-Muntanya}$, $\Delta T_{Seca-Manta}$, $\Delta T_{Seca-Goteig}$ i $\Delta T_{Goteig-Manta}$ són sempre positives amb diferències màximes de 8 °C les dues primeres, 5 °C la tercera i de 2 °C la quarta. Per acabar, $\Delta T_{Muntanya-Manta}$ és positiva a mesura que es fa de dia i negatiu mentre es fa de nit.

S’ha comprovat com les diferents zones seleccionades tenen temperatures diferents a causa de bàsicament les propietats de la superfície (topografia i usos del sòl). Es pot veure que les diferències de temperatura que s’han trobat entre les diferents regions considerades (manta, seca, goteig i muntanya) tenen un cicle diürn clar i que a més tenen amplituds, en algun cas, considerables per acabar generant circulacions a la zona d’estudi.

3.2 Patrons de les diferències de temperatura durant l’any 2016

Per tal de simplificar els noms de les diferències de temperatura, s’han enumerat de la següent manera (Taula 1):

ΔT_1	Zona regadiu per goteig - Zona regadiu a manta
ΔT_2	Zona de muntanya - Zona regadiu per goteig
ΔT_3	Zona de muntanya - Zona regadiu a manta
ΔT_4	Zona seca dels pendents - Zona regadiu per goteig
ΔT_5	Zona seca dels pendents - Zona regadiu a manta
ΔT_6	Zona seca dels pendents - Zona de muntanya

Taula 1: Etiquetes de les diferències de temperatura superficial (valor mitjà de cada zona) que s'han calculat en aquest treball i que es faran servir a les figures que es mostraran.

3.2.1 Diferències entre els patrons d'estiu i d'hivern

Amb l'objectiu d'analitzar la variabilitat estacional diària de cada diferència de temperatura (ΔT_i , veure Taula 1) durant l'any 2016, primerament, s'han determinat per a cada hora els valors de les mitjanes LST de cada zona. A continuació, s'ha fet una tria horària de dia i de nit ($\langle LST \rangle_{dia}$ i $\langle LST \rangle_{nit}$) tal com en el tractament de les dades proporcionades per les EMA. Aleshores, s'han calculat els valors de la mitjana LST corresponents als dies (1200-1500 UTC) i les nits (0000-0300 UTC) i les seves diferències de temperatura durant els mesos de gener i juliol per, posteriorment, analitzar-los i veure si estan lligats a vents observats o tenen influència en la climatologia de la conca.

La Figura 6 mostra el comportament de cada ΔT_i durant les hores centrals del dia de gener i juliol. Mirant els gràfics d'aquesta figura es pot comprovar que en presència de núvols no es té camp d'LST i aquests dies en la Figura 6 corresponen als que no tenen punt. Pel que fa als gràfics que mostren l'evolució de ΔT_i durant les hores centrals de la nit no els inclourem perquè les diferències que s'observen són menors que durant el dia i comentarem el què passa de nit a la següent secció amb un altre tipus de gràfic. També podem veure que hi ha poca diferència entre els diferents dies del mes i, aleshores podem suposar que el valor mitjà mensual és representatiu del que realment tenim a cada zona.

Comparant els diferents gràfics de la Figura 6, s'observa com el comportament de ΔT_1 (goteig-manta) es pareix al del ΔT_4 (seca-goteig); el ΔT_3 (muntanya-manta) al ΔT_2 (muntanya-goteig); i el ΔT_5 (seca-manta) al ΔT_6 (seca-muntanya). Per aquest fet, a les següents seccions sols analitzarem els gradients ΔT_1 , ΔT_3 i ΔT_5 . Aleshores tot es referenciarà a la zona manta per tal de simplificar i interpretar els resultats.

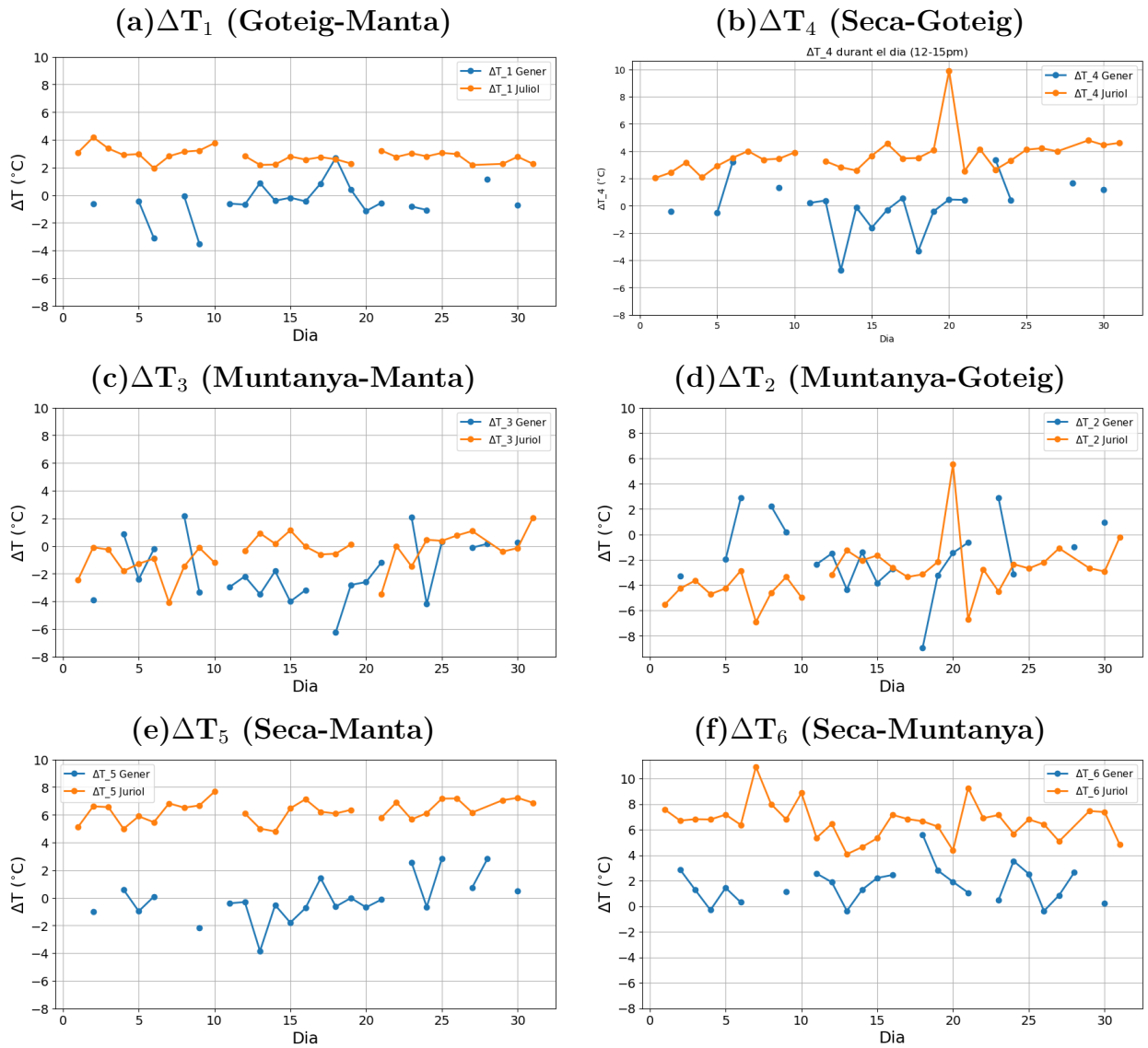


Figura 6: Evolució de les diferències de temperatura durant el dia (considerant aquí 1200-1500 UTC) dels mesos de gener i juliol de l'any 2016.

A continuació, a la Figura 7 s'han determinat les mitjanes mensuals de gener i juliol per cada ΔT_i juntament amb les desviacions estàndard, a partir dels valors de $\langle LST \rangle_{dia}$ i $\langle LST \rangle_{nit}$ calculats per a tots els dies de cada mes.

Si miram l'escala en què es representa ΔT de la Figura 7, es pot observar com les diferències de temperatura durant el dia són molt més significatives en comparació amb les que hi tenen lloc durant la nit. Per això, s'analitzaran amb més profunditat les ΔT_i que s'originen durant el dia i com aquestes es relacionen amb les circulacions generades localment.

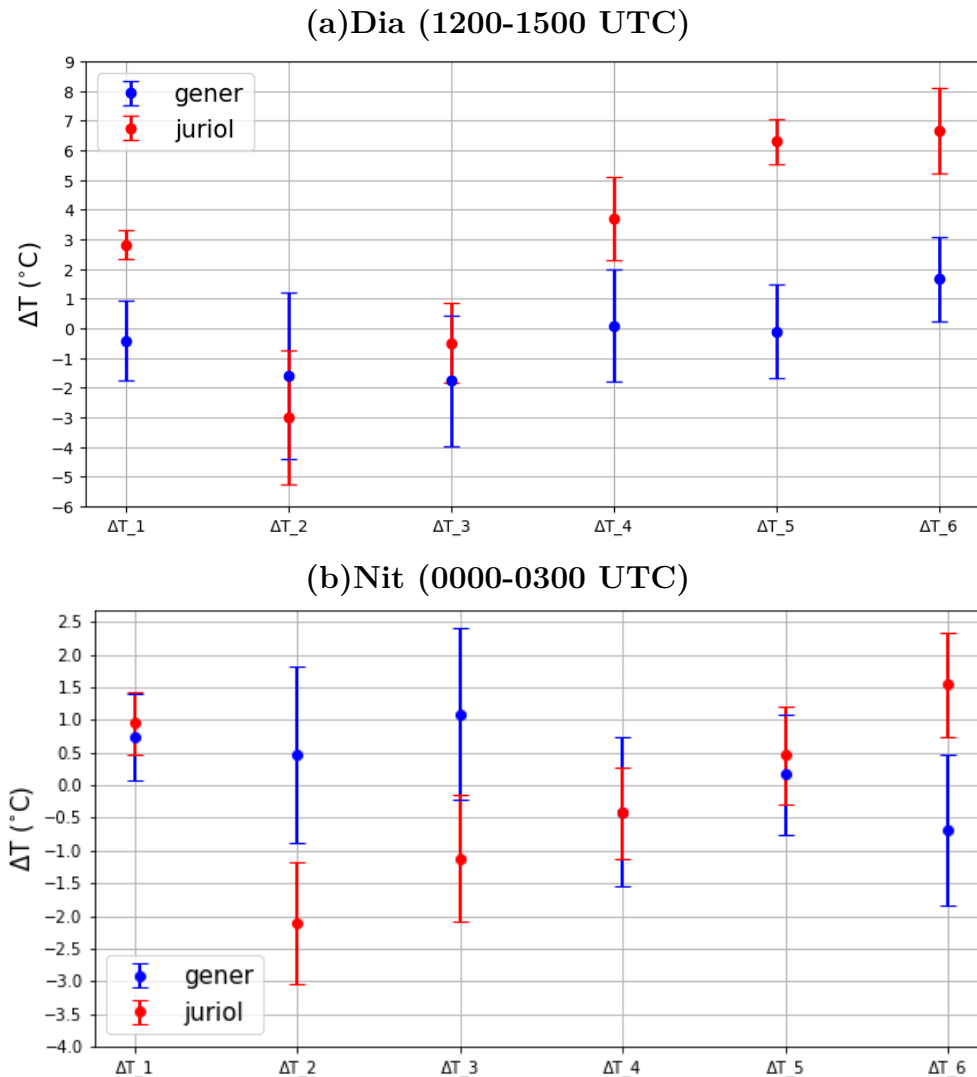


Figura 7: Mitjana de la diferència de temperatura pels mesos de gener i juliol de 2016 per (a) dia (1200-1500 UTC) i (b) nit (0000-0300 UTC). Les barres d'error indiquen la desviació estàndard d'aquest valor mig.

Per exemple, a la zona manta, des del moment en què hi té lloc la irrigació, el sòl queda pertorbat per tot. Aquest efecte d'irrigar i no irrigar ho notam a les ΔT_i de dia ja que les diferències de temperatura durant el dia són més notables. És a dir, de dia, la radiació s'empra per encalenteix el sòl o per encalenteix la terra i l'aigua que hi ha a la terra. Per tant, part d'aquesta energia s'utilitza per encalenteix l'aigua per la qual cosa hi ha una pèrdua. En canvi, durant el vespre no hi ha la radiació solar que encalenteix sinó una pèrdua d'energia radiativa. Aleshores, l'energia es perd de la mateixa manera si està irrigat o no perquè no veim diferències entre els vespres d'estiu i els vespres d'hivern. A priori, el que es pot observar és que els efectes durant la nit no són tan notables tant si la zona es troba irrigada com si no hi està. En canvi, de nit la diferència de temperatura superficial que predomina és la que hi té lloc entre la zona muntanya i la zona plana (representada a la Figura 7 com a ΔT_2 i ΔT_3).

3.2.2 Variabilitat del cicle diürn

Amb l'objectiu de poder analitzar amb més detall el comportament estacional de cada diferència de temperatura durant l'any 2016, a la Figura 8 s'ha calculat el valor mitjà de la diferència de temperatura per cada hora (eix X) i mes (eix Y). Solament es mostraran ΔT_1 , ΔT_3 i ΔT_5 a causa de les semblances que ja s'han comentat al subapartat 3.2.1.

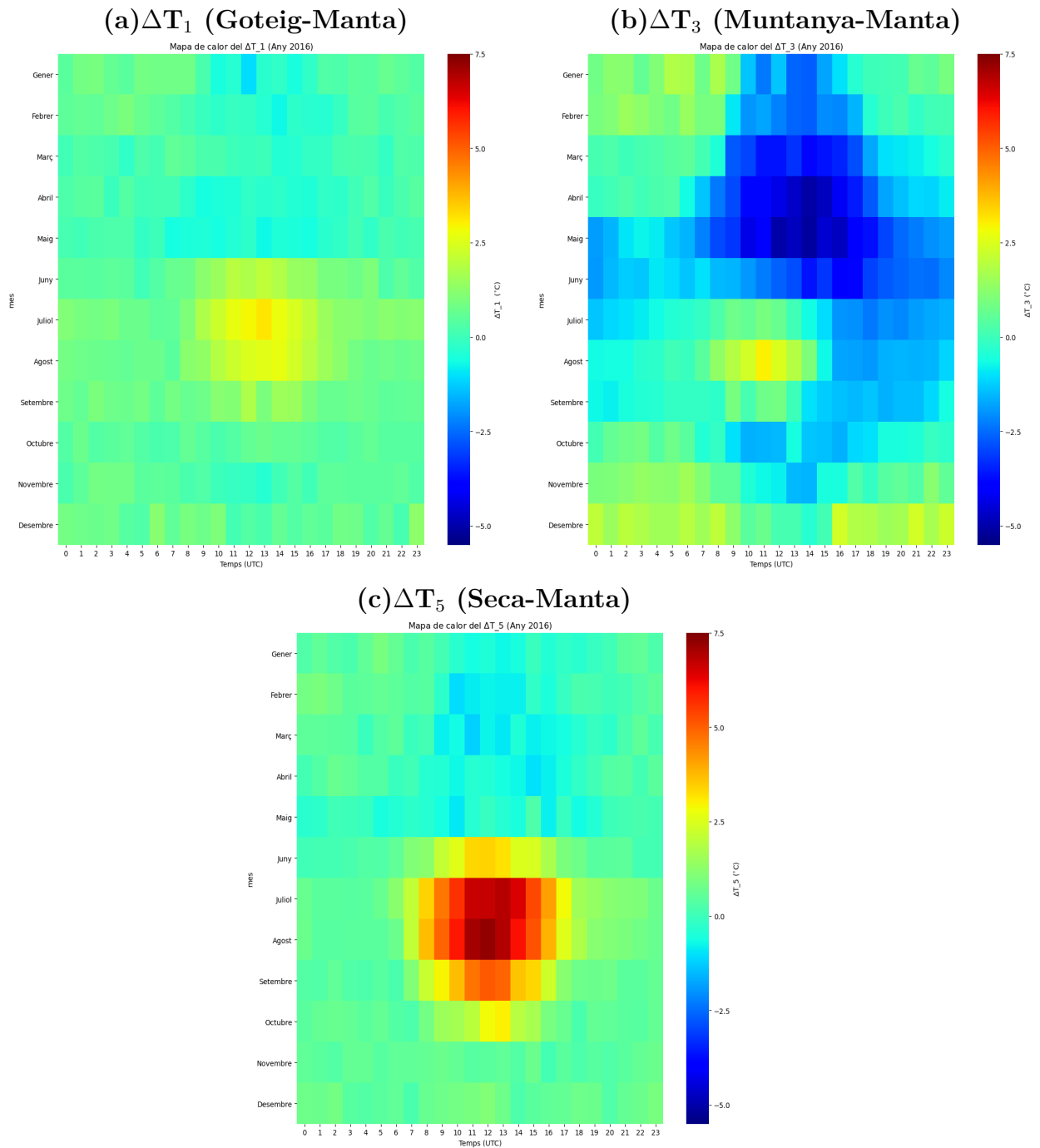


Figura 8: Representació de (a) ΔT_1 , (b) ΔT_3 i (c) ΔT_5 per a tot l'any 2016. El valor mig de la diferència de temperatura s'ha calculat per cada hora (eix X) i mes (eix Y).

Si analitzem l'evolució de ΔT_1 (Figura 8 (a)), es pot veure que la diferència és nul·la tirant a positiva, excepte durant les hores centrals dels dies d'estiu, sobretot a juliol, període en què es duen a terme el reg a manta i el reg per goteig a les zones de regadiu. El fet que ΔT_1 sigui positiva, vol dir que la zona de regadiu per goteig es troba a major temperatura que la del reg a manta. Per un costat, la zona de regadiu a manta s'encalenteix menys perquè una part de la radiació s'encarrega d'encalenticir la superfície d'aigua que es troba sobre el sòl i l'altra part d'escalfar el sòl mateix. Per l'altre costat, la zona de regadiu per goteig es troba a major temperatura tenint en compte que la radiació solar sols s'ha d'encarregar d'escalfar el sòl i evaporar les gotes d'aigua ocasionades pel reg per goteig.

Pel que fa al comportament de ΔT_3 (Figura 8 (b)), fàcilment es pot observar com la diferència és bastant negativa a maig ($\Delta T_3 = -5.0$ °C) i positiva a l'agost (d'uns 3 °C). Aquest canvi de signe de ΔT_3 ens mostra la importància que té l'impacte de la irrigació sobre la conca, ja que pel mes de maig no s'irriga i per agost sí. És a dir, l'evolució de ΔT_3 que s'observa a maig és fora l'influx dels usos del sòl lligats a l'activitat humana. Tenint en compte que la temperatura decreix a mesura que augmenta l'altura, la zona de muntanya es troba a menor temperatura que la zona de regadiu a manta durant els dies dels mesos de primavera. En canvi, la situació s'inverteix a l'agost, en altres paraules, el fet d'irrigar afavoreix l'evaporació i, en conseqüència, la temperatura superficial disminueix més que si no s'irrigàs, llavors tenim la zona manta encara més freda que la zona muntanya.

La Figura 8 (b) també mostra que la diferència de temperatura és positiva durant la nit, sobretot a l'hivern, a causa de l'aire fred (favorable a la formació de boira, vegeu més detalls a [10]) que queda acumulat en el fons de la vall. Aquest aire s'expandeix horitzontalment i es produeix el fenomen conegut com a *cold pool*. Seguint amb el raonament anterior, aquesta $\Delta T_3 > 0$ (zona muntanya més càlida que la zona manta) afavoriria la generació de vents anabàtics pendent amunt durant la nit, però realment aquest fet no s'observa (tal com es mostrarà posteriorment amb les roses de vents). El motiu és que durant la nit la diferència de temperatura que s'hauria de mirar no és la d'LST de muntanya i manta, ja que el punt que s'analitza a la zona manta es troba dins de la *cold pool*, totalment desconnectat del què passa a capes altes. En aquest cas, s'hauria de mirar la diferència de temperatura entre la zona muntanya i el cim de la *cold pool*, però aquesta dada no la tenim amb les dades que analitzem.

Respecte a la diferència ΔT_5 (Figura 8 (b)), sols es pot observar una diferència de temperatura positiva durant les hores centrals del dia de l'estiu, sobretot juliol i agost. Aquesta $\Delta T_5 = 7.5$ °C és el valor més gran que s'obté durant el dia en comparació amb les que s'han trobat als panells (a) i (b) de la Figura 8. Llavors tenim que la zona seca dels pendents és més càlida que la zona de regadiu a manta. Aquest valor és originat a causa de que la radiació solar és molt major a la zona seca ja que s'irriga amb molta menys quantitat d'aigua i té menys vegetació en comparació amb la zona manta. A més, la inclinació del pendent de la zona seca és cap a ponent i, per tant, aquestes muntanyes reben més insolació que les que estan orientades cap a una altra direcció diferent on es pon el Sol.

Tot seguit, és important comparar la influència de les diferències de temperatura a un nivell més general. Tenint en compte la petita distància que hi ha entre les zones de goteig-

manta en comparació amb les altres (muntanya-manta i seca-manta), les circulacions locals generades per ΔT_3 i ΔT_5 tendran més influència sobre la climatologia de la conca. Comparant els gràfics (b) i (c) de la Figura 8, s'observa que ΔT_3 és molt negatiu ($-5\text{ }^\circ\text{C}$) durant els mesos de març, abril i maig; i que ΔT_5 és molt positiu ($7.5\text{ }^\circ\text{C}$) durant juliol i agost. Aleshores, ΔT_3 serà el màxim responsable de les circulacions locals originades durant la primavera i ΔT_5 durant l'estiu. A més, també cal destacar com l'efecte d'irrigar o el tipus d'irrigació que es faci pot alterar els gradients tèrmics i, per tant, les circulacions locals del lloc.

3.3 Variabilitat interanual (2009-2019) de les diferències de temperatura

Per saber si l'evolució dels ΔT_i que s'han analitzat per tot l'any 2016 es comporta sempre igual o va variant amb els anys, s'han extret els camps d'LST des de l'any 2009 al 2019 per tal d'analitzar la variabilitat interanual de cada diferència de temperatura.

Aleshores, a les Figures 9, 10 i 11 s'ha calculat el valor mitjà de la diferència de temperatura de dia (1200-1500 UTC) i de nit (0000-0300 UTC) per cada any (eix X) i mes (eix Y).

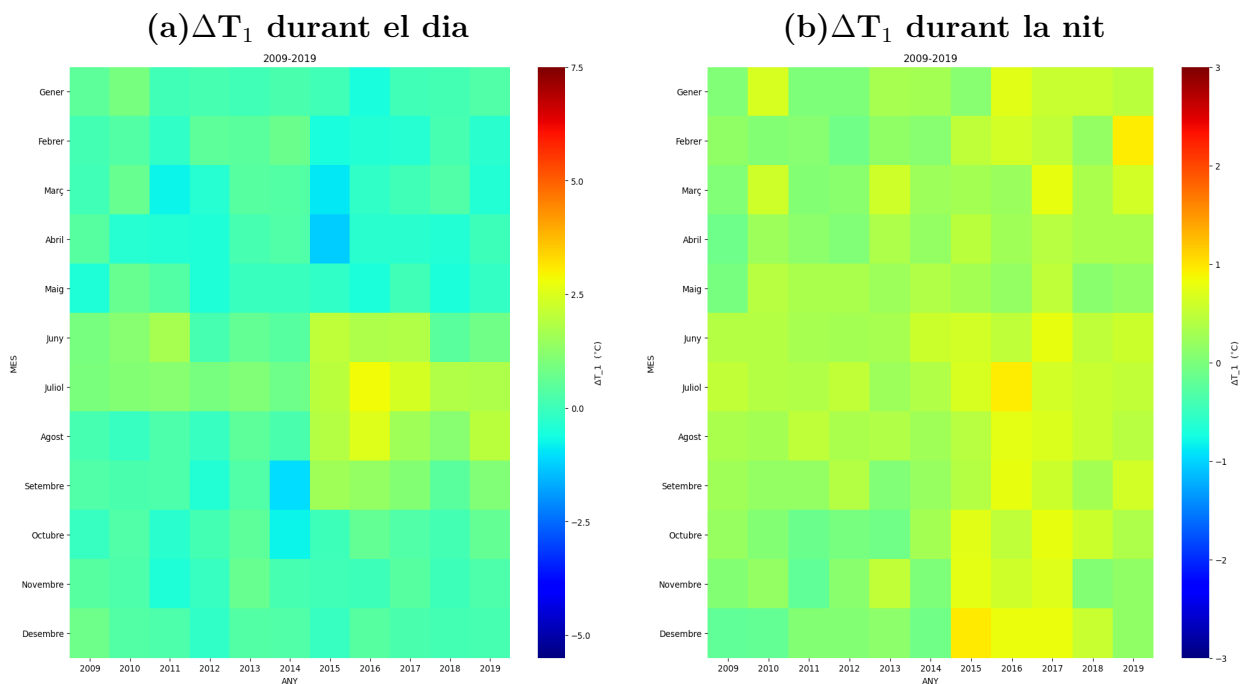


Figura 9: Variabilitat interanual de ΔT_1 (goteig-manta) des de l'any 2009 al 2019. S'ha calculat el valor mig de la diferència de temperatura per cada any (eix X) i mes (eix Y) durant (a) el dia (1200-1500 UTC) i (b) la nit (0000-0300 UTC).

A la Figura 9 que representa ΔT_1 , es pot veure que durant els mesos de juliol i agost de l'any 2016, apareix una taca groga tant de dia com de nit i, als anys següents la taca

es va dissipant. Aquest fet es deu a que el 2016 va ser un any especialment sec (segons els bolletins meteorològics de l'AEMET ¹) i, segurament, durant aquell estiu varen haver de regar més (tant a manta com per goteig) ja que l'estiu va ser molt sec. Com a conseqüència, a la zona manta l'evaporació va augmentar de manera que la temperatura va disminuir més que als altres anys. Aleshores, fàcilment es pot veure a les figures, que les diferències de temperatura varen ser més intenses.

També es pot observar a la Figura 9 que durant la nit, no hi ha gaire diferència de temperatura perquè ambdues zones es troben dins la zona plana i baixa de la conca on la *cold pool* predomina. A més, els efectes de la irrigació tampoc es nota de nit. Aleshores podem dir que no hi ha cicle estacional.

Respecte a la Figura 10 de ΔT_3 durant les hores centrals del dia, la diferència de temperatura és pràcticament negativa excepte durant els mesos de juliol i agost. Es pot observar que durant aquests dos mesos, a partir de l'any 2016, torna a aparèixer la mateixa taca groga que es veu per ΔT_1 , fet que indica que l'efecte de la irrigació és notable, sobretot des de l'any 2016.

Pel que fa a la figura de ΔT_3 , immediatament es pot observar que durant les nits d'estiu es té un comportament diferent que a l'hivern, és a dir, s'indueix a un canvi de signe, el qual no podíem veure als gràfics de la Figura 8. El fet que es tingui irrigat durant el vespre fa que la diferència de temperatura superficial sigui negativa a l'estiu i positiva a l'hivern. Dit d'una altra manera, es pot apreciar com l'efecte d'irrigar o el tipus d'irrigació que es faci altera les circulacions locals del lloc, ja que en condicions normals tindríem un ΔT_3 igual a zero o positiu a causa del fenomen *cold pool* que hi té lloc durant la nit.

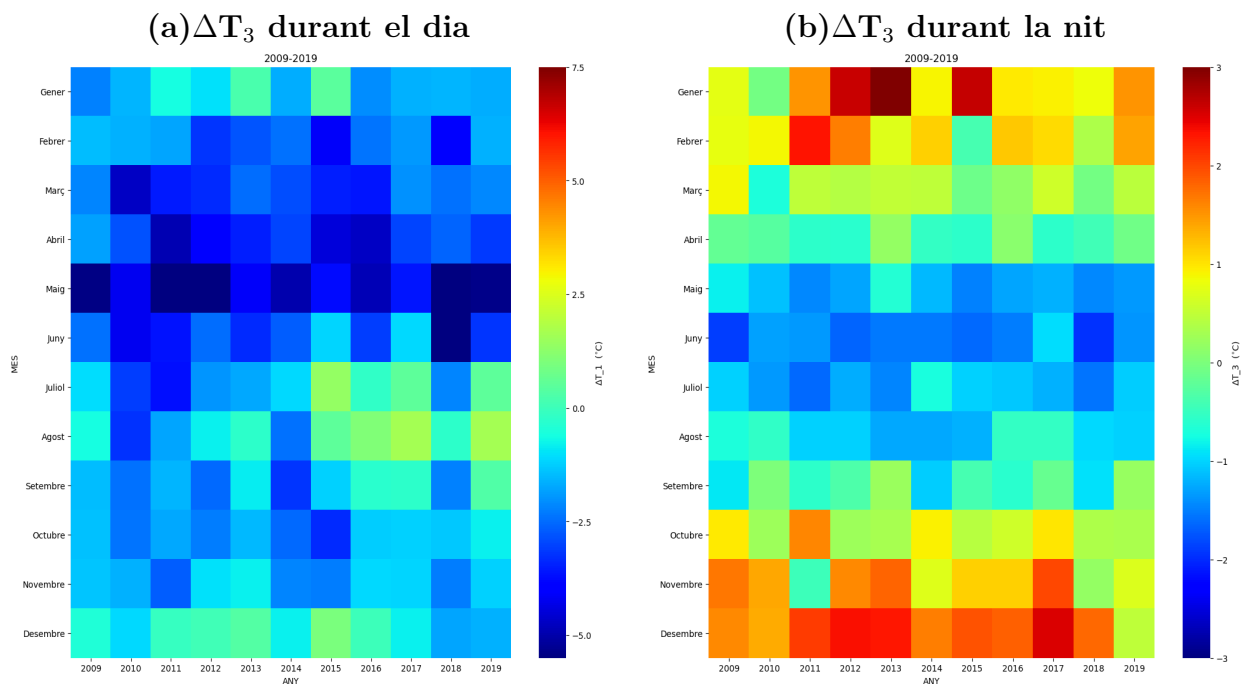


Figura 10: Igual que a la Figura 9, però per ΔT_3 (muntanya-manta).

¹<http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilanciaclima/resumenes>

La Figura 11 de ΔT_5 mostra que durant el dia hi té lloc el comportament invertit que havíem vist que hem vist per ΔT_3 a la nit, és a dir, la diferència de temperatura superficial és negativa durant els dies dels mesos d'hivern i molt positiva pels dies d'estiu. En canvi, durant la nit es té una diferència de temperatura majoritàriament positiva, però de sols $1^\circ C$ (petita comparada amb els $7.5^\circ C$ que s'observen durant el dia).

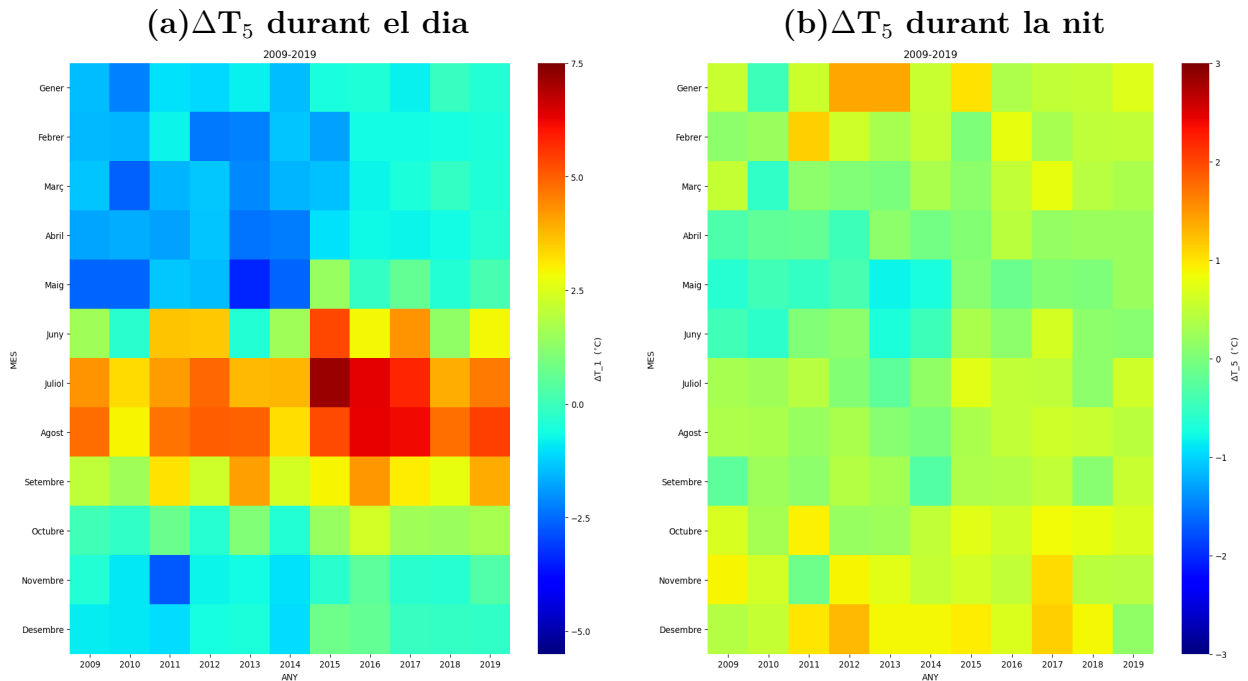


Figura 11: Igual que a la Figura 9, però per ΔT_5 (seca-manta).

A la Figura 11, també es pot apreciar com ΔT_5 és més significativa durant juliol i agost a partir de l'any 2016. Aquest fet és degut al fet que a la zona de Lleida, en els darrers anys, l'aportació d'aigua que es fa a les plantes és més gran i, consegüentment, això pot acabar impactant a les propietats de la superfície (arbres més grossos, amb més fulles...) i, com podem comprovar, també tenir el seu impacte amb els camps d'LST analitzats, essent les diferències de temperatura entre $1-2^\circ C$ més intenses a partir de l'any 2016 que en els anys anteriors.

Els patrons descrits anteriorment per l'any 2016 són comuns a la zona, encara que la intensitat de les diferències de temperatura pot variar d'any amb any, depenent de les condicions meteorològiques i de la irrigació, entre d'altres.

3.4 Circulacions observades durant l'any 2016 i la seva relació amb les diferències de temperatura

Finalment, s'han analitzat les dades de les estacions de mesura en superfície per tal de veure com aquestes diferències de temperatura condicionen els vents de la zona.

A les Figures 12, 13 i 14 es mostra l'evolució de les mesures de les estacions meteo-

rològiques per l'any 2016, on els valors dels gràfics (temperatura, velocitat i direcció del vent) són mitjanes mensuals calculades de la mateixa manera que a la Figura 7.

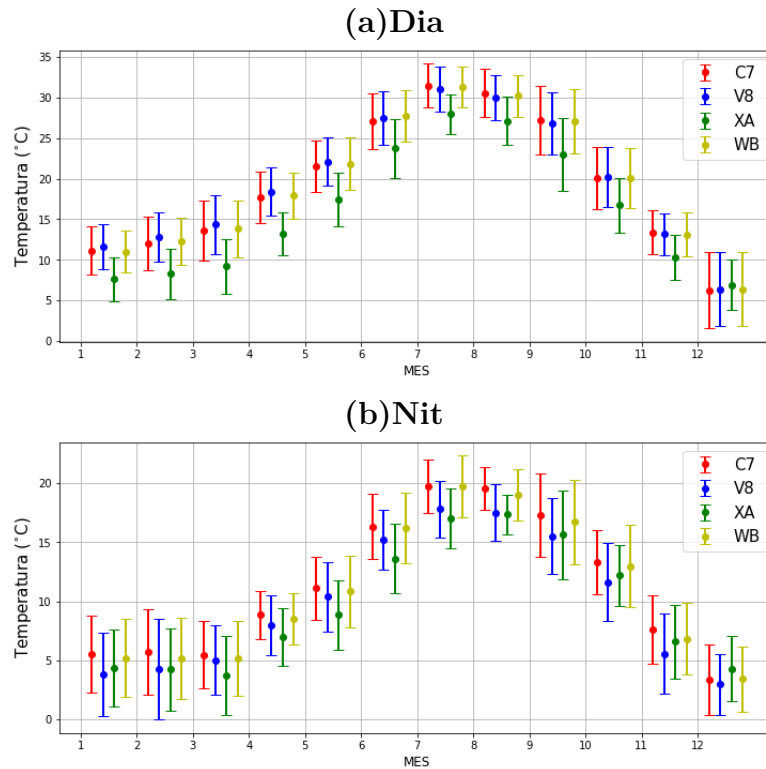


Figura 12: Mitjana mensual de la temperatura (T) durant (a) el dia (1200-1500 UTC) i (b) la nit (0000-0300 UTC) per l'any 2016 a les estacions la Panadella [XA], la Albesa [WB], el Poal [V8] i Tàrrrega [C7]. Les barres d'error indiquen la desviació estàndard d'aquest valor mig.

La Figura 12 mostra el comportament de la temperatura durant els dies i les nits de l'any 2016. A primera vista, es pot veure que ambdós gràfics presenten la mateixa corba amb una diferència de temperatura d'uns $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

S'ha de tenir en compte que les dades recollides per les estacions meteorològiques depenen de l'altura a què es troba cada una. El fet que l'estació La Panadella (XA) es trobi a una gran altitud (785 m) a diferència de les altres i que la temperatura decreix a mesura que l'altura de la muntanya augmenta, fa que les dades de temperatura de La Panadella siguin molt menors en comparació amb les recollides per les altres estacions (Figura 12).

A més, als gràfics de la Figura 12, es pot observar com les evolucions de temperatura de La Albesa [WB], El Poal [V8] i Tàrrrega [C7] són molt semblants durant el dia, però varien a la nit. És important remarcar que durant la nit La Albesa [WB] es troba a major temperatura que El Poal [V8] a causa del tipus d'irrigació que es du a terme a cada zona, fet que ja s'ha justificat a l'apartat 3.2.2 en comentar-se l'evolució de ΔT_1 (goteig-manta). Durant el vespre, també es pot observar que la zona seca és la que es troba a més alta temperatura.

Com ja s'ha mencionat a l'apartat 2.3, la direcció i la velocitat del vent s'han analitzat mitjançant la rosa de vents, tal com es mostra a les Figures 13 i 14, on es mostraran els gràfics de dia corresponents al mes de juliol i els gràfics de nit del mes de gener respectivament.

Respecte a la Figura 13, es pot veure com a les intensitats de les circulacions generades per les diferències de temperatura a causa de la irrigació se l'hi sumen els vents que provenen de l'oest.

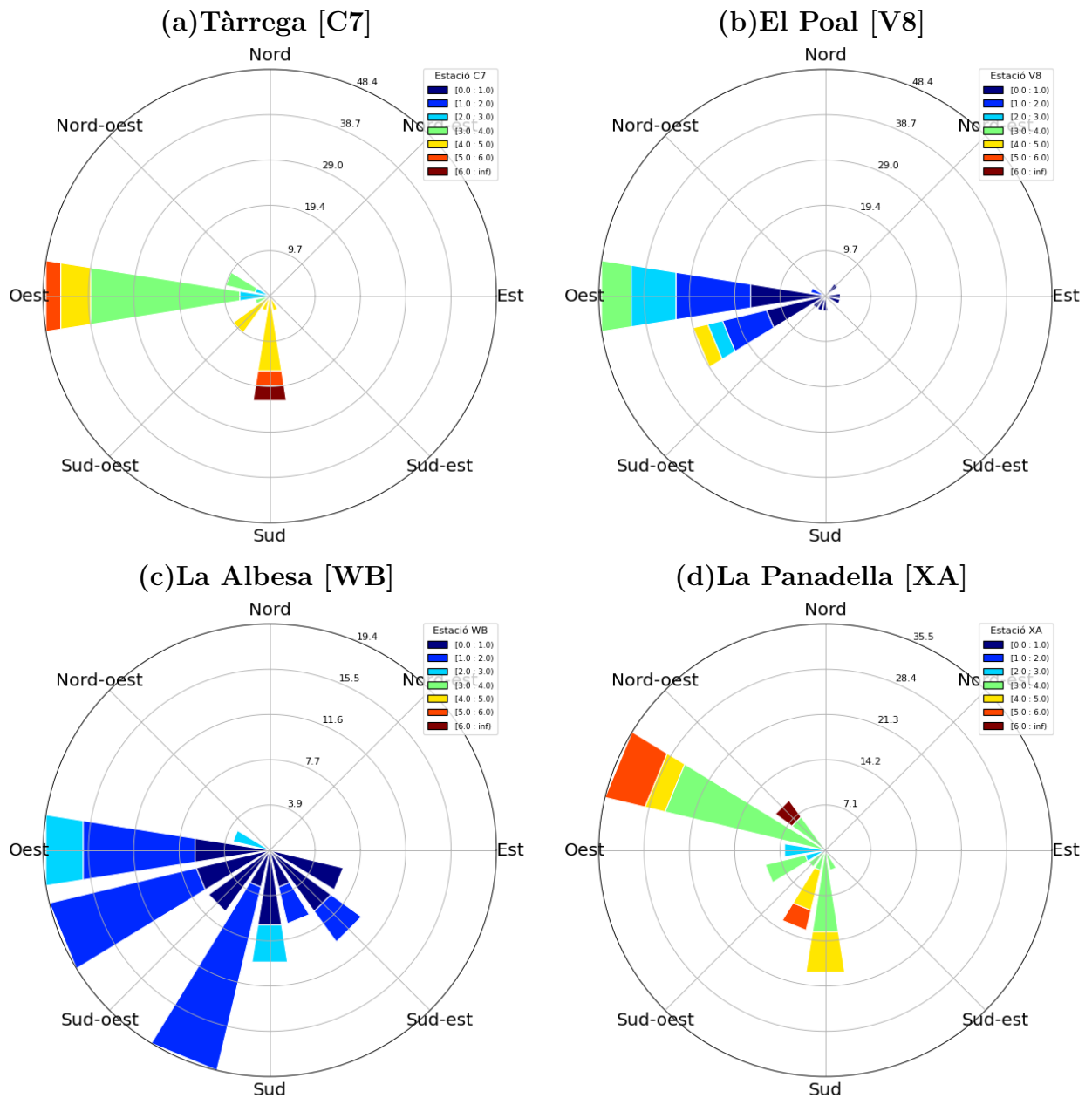


Figura 13: Rosa de vents durant els dies (1200-1500 UTC) del mes de juliol de l'any 2016.

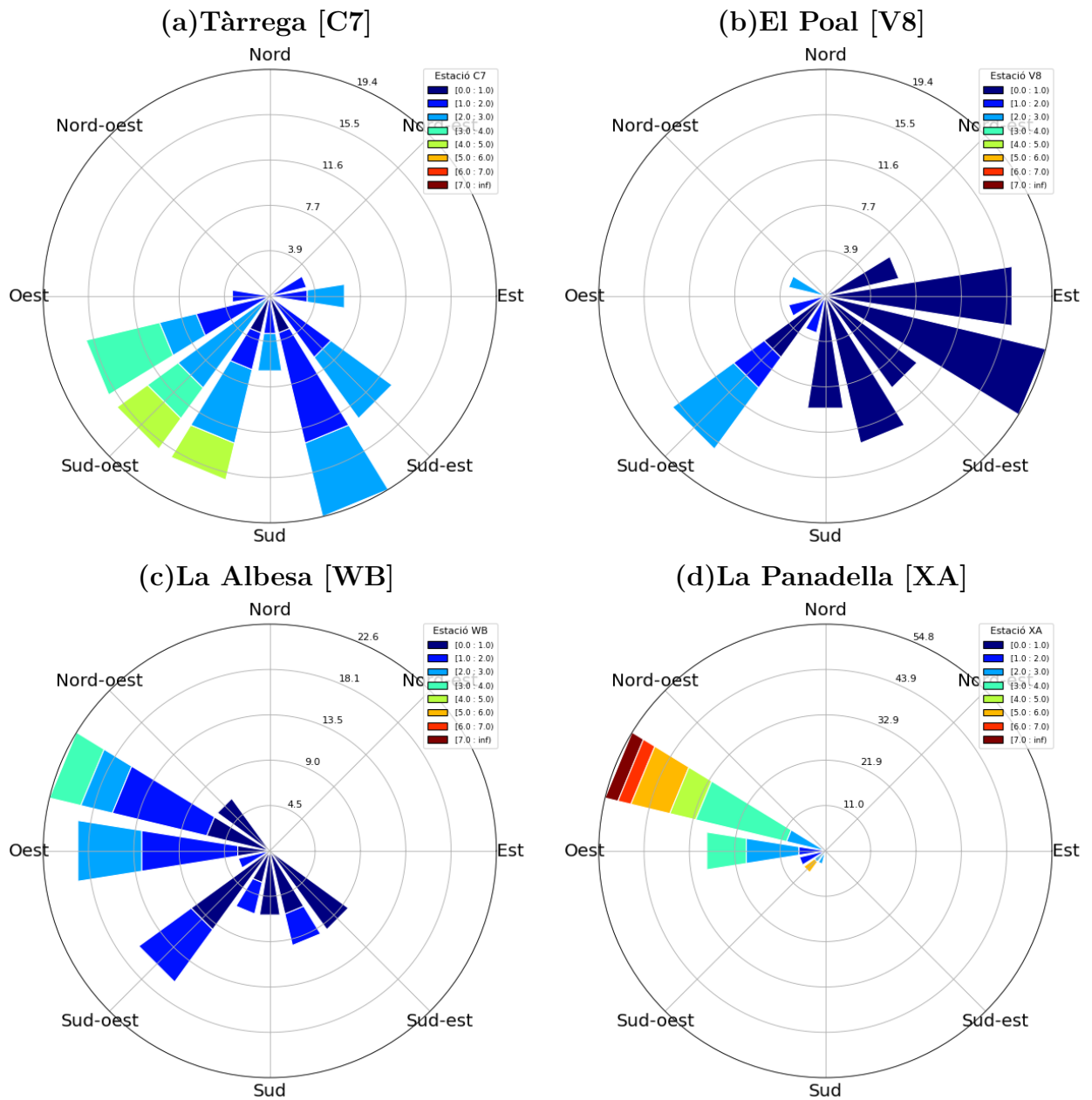


Figura 14: Rosa de vents durant les nits (0000-0300 UTC) del mes de gener de l'any 2016.

Una dada a afegir és que membres de l'equip de treball han comprovat que durant l'any 2016 només el voltant del 40 % dels dies tenim vents locals. Aleshores, per exemple, en els gràfics dels dies de juliol de la Figura 13 on es pot observar que els vents més intensos provenen de l'oest, aquesta contribució tant pot ser de vent local com de vent general. Tenint en compte l'escala de colors del gràfic, els vents més intensos possiblement estan relacionats amb la circulació general (escala sinòptica), mentre que els vents més febles corresponen a circulacions generades localment. Es podria agafar com a llindar de separació els $2-3 \text{ ms}^{-1}$.

Durant les nits del mes de gener, predominen els vents de pendent avall o vents catabàtics que van de les muntanyes cap a la zona plana (zona irrigada) on suposarem que probablement la *cold pool* estigui ben formada, ja que a la Figura 12 es veu com l'estació

V8 és la més freda. Aquests vents de pendent avall no es corresponen amb el signe de la diferència de temperatura superficial ΔT_3 (muntanya-manta) que hem analitzat a la Figura 10. Aleshores es confirma que la ΔT_i més rellevant durant les nits d'hivern no és ΔT_3 sinó la diferència de temperatura muntanya-cim de la *cold pool*. En conseqüència, ΔT_3 no és la que realment estem analitzant per aquest treball perquè la presència de l'aire fred del *cold pool* incrementa la diferència de temperatura present entre les dues zones.

Sabem que en el Pla de Lleida, el vent provenen de l'oest durant el dia i de l'est durant la nit. A la Figura 14, els vents d'oest de nit corresponen a vents relativament intensos i segurament són vents d'escala sinòptica, no originats localment (haurien de ser del quadrant de l'est).

Es podria concloure que els gradients tèrmics descrits anteriorment serveixen per explicar els vents locals mesurats a la zona d'estudi, excepte quan hi ha condicions favorables de formació de la *cold pool* que és un altre gradient rellevant i que s'hauria de mirar (però no tenim dades per fer-ho en aquest treball).

4 Conclusions

En aquest TFG hem estudiat la relació que hi ha entre els gradients tèrmics i els vents locals que es generen a una zona en terreny complex. He considerat la subconca oriental del riu Ebre, ja que permet avaluar els gradients tèrmics originats a causa de la topografia (muntanya-plana) i als diferents usos del sòl (zones irrigades amb diferents pràctiques i zones més seques). En aquesta zona s'han identificat si les heterogeneïtats superficials (usos del sòl i topografia) poden ser responsables de les circulacions generades localment a la zona, tal com es descriu a [4]. En aquest treball primer hem cercat les diferències de temperatura que es produeixen a una zona irrigada i a una zona pendent-vall. Després hem analitzat la relació que hi ha entre els vents observats a aquesta zona heterogènia i les diferències de temperatura que s'hi generen.

Hem vist que el fet d'irrigar i no irrigar i fins i tot la quantitat d'aigua que irriguen té un impacte sobre el gradient tèrmic de la zona estudiada, ja que pertorba el balanç energètic en superfície. En els darrers anys, les circulacions observades s'han vist intensificades a causa de l'augment en l'aportació d'aigua a la zona irrigada. Aleshores les circulacions generades localment poden dependre de si l'estiu és sec o humit perquè l'aportació d'aigua serà diferent. En particular pels estius més secs, la diferència de temperatura entre la zona irrigada a manta i goteig s'intensifica, així com la diferència seca-manta (ΔT_5). Aquestes diferències són notables de dia, ja que de nit les diferències són menors.

De dia la diferència de temperatura ΔT_5 (seca-plana) és positiva, afavorint d'aquesta manera les circulacions de vents de pendent amunt (anabàtics). En canvi, de nit, on pensariem que les diferències ΔT_3 (seca-plana) i ΔT_5 (muntanya-plana) serien negatives, hem vist que es continuava tenint una diferència positiva on la muntanya es trobava a major temperatura que la plana i, per tant, aquest fet contradiu al que s'estava observant respecte als vents catabàtics. Aleshores de nit, les diferències tèrmiques calculades no serveixen per explicar les circulacions de vents de pendent avall (catabàtics) perquè en el

cas de la formació d'una *cold pool* al fons de la plana, el gradient rellevant seria muntanyacim de la *cold pool*.

Aquesta anàlisi dels patrons de les diferències tèrmiques que hem fet en profunditat per a l'any 2016, el qual serà particular perquè va ser un any molt sec, és el mateix que es produeix pels deu anys estudiats (2009-2019). Tot i que cada any tenim situacions sinòptiques diferents en què, per exemple, hi ha estius més secs, més vents de ponent, etc. Així doncs, cada any té la seva variabilitat estacional, però al final aquests patrons tèrmics els tenim cada any més o menys intensificats depenent de les característiques de l'any en concret.

La metodologia aplicada en aquest treball es podria exportar a altres llocs que trobem dins el disc Meteosat. Per tant, la metodologia es pot exportar a altres bandes sempre que les dimensions de la zona d'estudi siguin semblants a la nostra. Conques de dimensions més petites a la desena de kilòmetres no seran adients per aplicar aquest mètode, ja que la resolució del producte d'LST emprat no és suficient per capturar la variabilitat de la zona.

Com a treball futur seria interessant analitzar específicament les circulacions locals aplicant un filtre a les dades d'LST per tal de garantir que s'analitzin només les condicions en que només hi ha circulacions locals i comparar-les amb els casos que aquestes no hi són presents. Aquesta és una feina que tenc en ment i que els resultats es presentaran al congrés *8th International Conference on Meteorology and Climatology of the Mediterranean* (maig 2021, online).

Referències

- [1] Geography. *How Do Variations in Temperature and Pressure Cause Local Atmospheric Circulation?* [Web; accedit el 05-01-2021]. URL: <https://geography.name/how-do-variations-in-temperature-and-pressure-cause-local-atmospheric-circulation/>.
- [2] R. B. Stull. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic, 1988, pàg. 666.
- [3] A. Grau, M. A. Jiménez i J. Cuxart. *Statistical characterization of the sea-breeze physical mechanisms through in-situ and satellite observations*. International Journal of Climatology 41 (2020), pàg. 17 - 30.
- [4] J. Cuxart, M. A. Jiménez, J. Cunillera, D. Martínez, F. Molinos i J. L. Palau. *Study of Mesobeta Basin Flows by Remote Sensing*. Boundary-Layer Meteorol 143 (2012), pàg. 143 - 158.
- [5] D. Martínez, J. Cuxart i J. Cunillera. *Conditioned climatology for stably stratified nights in the Lleida area*. Tethys 5 (2008), pàg. 13 - 24.
- [6] EUMETSAT. *Meteosat series*. [Web; accedit el 09-01-2021]. URL: <https://www.eumetsat.int/our-satellites/meteosat-series>.
- [7] LSA SAF. *Land Surface Temperature*. [Web; accedit el 09-01-2021]. URL: <https://landsaf.ipma.pt/en/products/land-surface-temperature/lst/>.
- [8] eoPortal. *Meteosat Second Generation*. [Web; accedit el 09-01-2021]. URL: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/m/meteosat-second-generation>.
- [9] SMC (Servei Meteorològic de Catalunya). *Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques (XEMA)*. [Web; accedit el 06-01-2021]. URL: <https://www.meteo.cat/wpweb/divulgacio/equipaments-meteorologics/estacions-meteorologiques-automatiques/xarxa-destacions-meteorologiques-automatiques-xema/>.
- [10] J. Cuxart i M. A. Jiménez. *Deep Radiation Fog in a Wide Closed Valley: Study by Numerical Modeling and Remote Sensing*. Pure Appl. Geophys. 169 (2012), pàg. 911 - 926.