

Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional
Facultat de Geografia i Història
Universitat de Barcelona

Tesi doctoral

L'Oscil·lació de la Mediterrània Occidental i la Precipitació als Països Catalans

Memòria presentada per
Joan Albert López i Bustins
per optar al títol de Doctor en Geografia

Programa de doctorat
Geografia, Paisatge i Medi Ambient
Bienni 2002–2004

El director de la tesi

Dr. Javier Martín Vide
Catedràtic de Geografia Física
Universitat de Barcelona

Barcelona, juny de 2007

CAPÍTOL 5

APLICACIONS A RESOLUCIÓ DIÀRIA DEL WEMOI

5.1. POTENCIALITATS DE LA RESOLUCIÓ DIÀRIA DELS PATRONS DE TELECONNEXIÓ REGIONALS

Les potencialitats a resolució diària de l'Oscil·lació de la Mediterrània Occidental, com a nou patró de teleconnexió regional, ja han estat esmentades al llarg de la present tesi. El càlcul de l'índex diari d'un patró de variabilitat de baixa freqüència és un repte quant a desafiar l'adjectiu "baixa" de la terminologia. L'aplicació del WeMOi a resolució diària situa el treball entre els pioners en l'estudi de la variabilitat dels patrons de teleconnexió a resolució diària (Baldwin i Dunkerton, 2001; Beniston i Jungo, 2002; Peña *et al.*, 2006). Davant dels bons resultats obtinguts amb aquest patró de teleconnexió a aquesta resolució diària, s'obren les portes a l'extrapolació de la metodologia a altres patrons regionals, i també globals. En el curs de la recerca d'aquest patró es portaren a terme una sèrie d'investigacions que demostren la potencialitat del WeMOi a resolució diària. La majoria dels treballs que es presenten a continuació han estat fruit de contribucions posteriors a congressos nacionals i internacionals.

Són quatre estudis, presentats de forma molt resumida, que exposen una manera d'emprar el WeMOi diari per determinar diferents aspectes de distintes variables climàtiques com la circulació de vent locals, anomalies tèrmiques locals i, òbviament, episodis de precipitació. Els estudis es localitzen o regionalitzen, en coherència amb la present tesi, en distintes àrees dels Països Catalans.

El primer, que va derivar en una contribució de recerca extensa al IV Congrés de l'Associació Espanyola de Climatologia al 2004 (López-Bustins i Azorín-Molina, 2004), tracta de classificar distintes episodis de precipitació segons unes tipologies pluviomètriques, prèviament establertes i definides per Azorín-Molina i López-Bustins (2004), segons el valor diari que pren el WeMOi. Aquesta classificació pluviomètrica és propera a l'establerta pel CEAM (Estrela *et al.*, 2002). El segon estudi, emmarcat en el projecte de Màster en Climatologia Aplicada (López-Bustins, 2004), continua amb la variable pluviomètrica, però per a episodis ≥ 200 mm/ 24 h que han tingut lloc durant la segona meitat del segle XX als Països Catalans. Es compara la freqüència d'aquests episodis al llarg de l'any amb el calendari definit en l'apartat 2.8. del capítol 2, i la seva evolució en la segona meitat del segle XX.

Al 2005, el Grup de Climatologia de la Universitat de Barcelona contribuïa al 5è. Congrés de la Societat Meteorològica Europea a Utrecht amb la presentació del WeMOi diari com a eina de predicció de l'ocurrència de la brisa a la conca occidental de la Mediterrània (Lopez-Bustins i Azorin-Molina, 2005). I al 2006, el mateix grup aportava la relació positiva entre el WeMOi i la intensitat de les illes de calor urbana a Barcelona (Lopez-Bustins *et al.*, 2006).

5.2. APLICACIONS

5.2.1. CLASSIFICACIÓ PLUVIOMÈTRICA D'EPISODIS DE PRECIPITACIÓ SEGONS LA FASE DE LA WEMO

Aquest estudi s'aplica als episodis de ≥ 10 mm/ 24 h del període 1991-2000 que han succeït a les terres d'Alacant. A partir dels valors diaris del WeMOi es comprova la situació sinòptica que comporta la precipitació, per relacionar-la amb la tipologia pluviomètrica. Prèviament, seguint la metodologia del CEAM, es definiren tres tipologies pluviomètriques segons l'origen atmosfèric de l'episodi (Azorín-Molina i López-Bustins, 2004), que de forma molt genèrica foren: origen atlàntic, quan les pertorbacions tenien una procedència de l'Oceà Atlàntic; mediterrani, quan té lloc una ciclogènesi endògena a la Mar Mediterrània; i convectiu, quan hi ha predomini de les circulacions locals (brises).

Els observatoris d'estudi de les terres alacantines són: Alacant, Dénia i Torrevella com a enclavaments litorals; Alcoi, Tibi i Villena com a punts de l'interior (Figura 1). Si almenys en un d'aquests observatoris la precipitació és ≥ 10 mm en un dia, es comptabilitza l'episodi. En el període 1991-2000, es detectaren 305 episodis, 161 dels quals foren causats per adveccions mediterrànies (52.8%), 76 per situacions convectives (24.9%), i els 68 restants per advecció atlàntica (22.3%). Cal comentar que es corrobora el fet que els fronts atlàntics aporten un tant per cent molt baix del total pluviomètric a les terres més meridionals dels Països Catalans i difícilment amb una intensitat ≥ 10 mm/ 24 h (Miró *et al.*, 2006), per la seva condició geogràfica resguardada de l'Atlàntic.

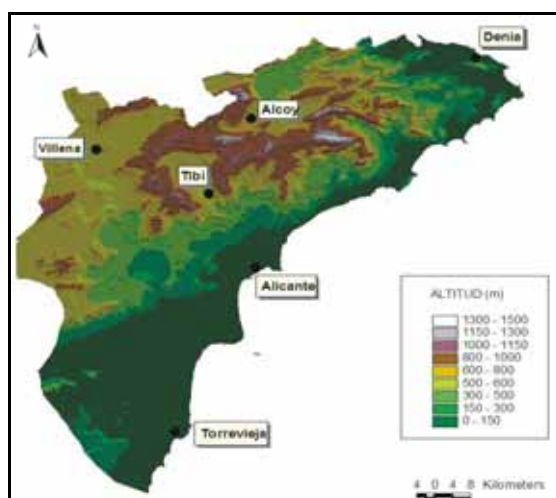


Figura 1. Situació geogràfica dels 6 punts d'estudi a la província d'Alacant (Extret de Azorín-Molina i López-Bustins, 2004).

Una vegada classificats els episodis segons la seva tipologia, es deduí el següent:

a) Precipitacions atlàntiques:

Les precipitacions d'origen atlàntic dominen quan el valor del WeMOi a resolució diària és superior a 1.50, és a dir, positiu (Figura 2). No obstant l'anterior, la Figura 2 manifesta l'existència d'una important excepció, ja que, completament en contra del previst, el nombre d'esdeveniments atlàntics presenta el seu màxim en els valors negatius. Això succeeix quan els episodis de precipitació atlàntica estan vinculats a tàlvegs i depressions fredes sobre l'oest de la Península Ibèrica.

b) Precipitacions mediterrànies:

Les precipitacions d'origen mediterrani ofereixen una plena filiació cap a valors diaris del WeMOi negatius, amb un destacat domini per sobre de les altres dues tipologies pluviomètriques. En aquestes adveccions mediterrànies també existeix una clara excepció, que recau en l'interval (-0.50, 0.50), doncs, es tracta de situacions amb una marcada advecció de nord-est, que s'associen a clars fronts de retrocés mediterranis (Figura 1 del capítol 1), que solen tenir lleugers valors negatius, però superiors a -0.50.

c) Precipitacions convectives:

Les precipitacions convectives troben en l'interval del WeMOi diari comprès entre -0.50 i 0.50 els llimars òptims, aglutinant més del 60% del total d'episodis ≥ 10 mm dels sis observatoris. La neutralització d'aquest dipol baromètric amb valors al voltant de 0 indiquen, en la majoria dels casos, configuracions sinòptiques de exigu gradient bàric a nivells troposfèrics superficials (pantans baromètrics) en l'esclat d'episodis de precipitació convectiva al sud-est ibèric.

La Taula 1 recull les conclusions més destacades de l'estudi, indicant les situacions d'excepció, les quals es troben àmpliament descrites en l'estudi de López-Bustins i Azorín-Molina (2004). A mode de generalització, els episodis pluviomètrics que tenen lloc als Països Catalans amb un valor positiu del WeMOi aniran associats, quant al més probable, a una advecció atlàntica amb front fred. Aquells amb un valor negatiu, a ciclogènesi típicament mediterrània, i amb un de neutre, a sistemes convectius per la posada en funcionament de vents locals, com són les marinades en situacions de poc gradient de pressió.

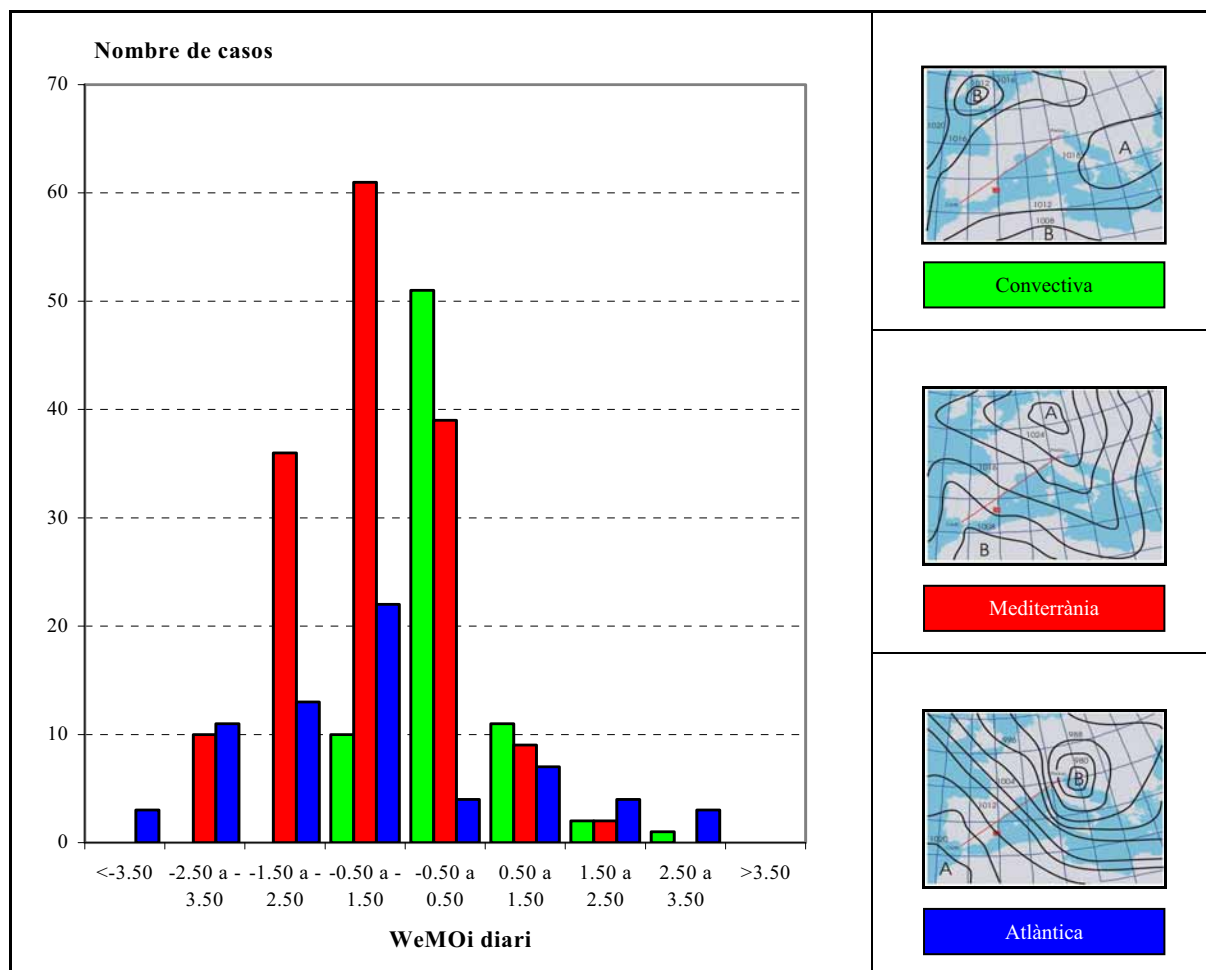


Figura 2. Total del nombre de casos de precipitació convectiva, mediterrània i atlàntica de ≥ 10 mm/ 24 h en almenys en un dels sis observatoris meteorològics considerats de l'àmbit territorial d'Alacant, durant la dècada 1991-2000, agrupats en intervals del WeMOi diari.

Fases de la WeMO	Circulació de l'aire sobre els Països Catalans	Escena sinòptica
Neutra (=)	Advectiva del NE	<i>Front de retrocés</i>
	Vents locals (brises)	Dèbil gradient bàric
Negativa (-)	Advectiva de l'ENE, E, ESE y SE	Tàlveg profund o baixes sobre el Golf de Cadis
		Desenvolupament de ciclogènesi endògena
Positiva (+)	Advectiva del N, NO, ONO y O	Superfícies frontals

Taula 1. Trets atmosfèrics generals de pressió atmosfèrica i circulació de l'aire de les fases de la WeMO en relació amb la tipologia pluviomètrica (colors en coherència amb els de la Figura 2). Es contemplen excepcions (en cursiva).

5.2.2. EL CALENDARI DE LA WEMO I L'EVOLUCIÓ TEMPORAL DELS EPISODIS DE TORRENCIALITAT EXTREMA

5.2.2.1. Introducció

En l'apartat 2.8. del capítol 2, ja s'introdueix el calendari de la WeMO a partir de la mitjana dels valors diaris del WeMOi per quinzenes. I en l'apartat 3.9.3. del capítol 3, s'analitza l'evolució del calendari de la segona meitat del segle XX. Aquest calendari de dades diàries del WeMOi és de gran utilitat per estudiar variacions temporals i de magnitud de certs fenòmens meteorològics. Fins i tot, permet posar-los en relació amb l'evolució interanual i intraanual de la temperatura del mar, com ja s'ha fet en l'apartat del 3.9.3. del capítol 3.

En aquest estudi es consideren els episodis de ≥ 200 mm/ 24 h que han tingut lloc a Catalunya en el període 1951-2000, fent una subdivisió entre el subperíode 1951-1975 i el 1976-2000, per veure si els episodis de màxima torrencialitat han canviat la seva freqüència temporal en funció de les modificacions del calendari de la WeMO. També, s'empren els episodis de ≥ 200 mm/ 24 h detectats al País Valencià per als mateixos períodes.

5.2.2.2. Catalunya (1951-2000)

La recopilació d'episodis ha estat per part de Gázquez *et al.* (2004). El nombre de casos no és gaire elevat, 32 (Taula 2), perquè aquesta torrencialitat extrema sol ser més freqüent al País Valencià, com es comprova en el següent subapartat (5.2.2.3.). Cal destacar que la tardor és l'estació de l'any més propensa a l'ocurrència d'aquesta torrencialitat, i, concretament, la primera quinzena d'octubre (1a. octubre) (>30% dels casos), fet que es pot relacionar amb el mínim negatiu anual del WeMOi. Martín-Vide *et al.* (en premsa) ja detecten un màxim dels episodis torrencials a Catalunya al mes d'octubre. A més, obtenen que els 7 patrons de circulació més freqüents que afavoreixen l'esdeveniment d'aquestes precipitacions a Catalunya tenen una fase negativa de la WeMO ben definida. En altres regions dels Països Catalans, les Illes Balears, també es detecta un màxim de precipitacions torrencials en el mes d'octubre (Grimalt *et al.*, 2006). Durant el màxim positiu, la 1a. febrer, no té lloc cap episodi (Figura 3).

En la seva evolució durant la segona meitat del segle XX, s'aprecia en la comparació d'ambdós gràfics (Figura 4), com la WeMO tendeix a aprofundir-se en valors negatius més extrems en el conjunt de finals d'estiu i tardor. El màxim negatiu ja no és a la 1a. octubre, sinó a la 2a. octubre, incrementant-se el nombre de casos en aquesta segona quinzena. A més,

els episodis ara són més freqüents a la 1a. novembre, en correspondència amb els valors del WeMOi diari, considerablement més negatius en aquesta quinzena en el darrer subperíode 1976-2000 respecte al primer. En l'apartat 3.9.3. del capítol 3, ja es detectà un desplaçament dels períodes de l'any més negatius de la WeMO cap a dies més propers a l'hivern, coincidint amb un escalfament de les aigües marines de novembre (Figura 41 del capítol 3).

Episodis 1951-1975	Episodis 1976-2000
2 d'octubre de 1951	6 de gener de 1977
10 d'octubre de 1951	16 de gener de 1982
14 d'octubre de 1953	16 de febrer de 1982
3 de setembre de 1959	14 de març de 1984
21 de setembre de 1959	27 d'octubre de 1985
7 d'octubre de 1959	1 de març de 1986
11 d'octubre de 1962	12 d'octubre de 1986
7 de desembre de 1963	28 d'octubre de 1989
7 d'octubre de 1965	18 de novembre de 1989
26 de novembre de 1967	11 d'octubre de 1990
4 d'abril de 1969	10 de maig de 1991
11 d'octubre de 1970	22 de juny 1992
6 de desembre de 1971	20 de maig de 1993
	23 de setembre de 1993
	10 d'octubre de 1994
	19 d'octubre de 1994
	4 de novembre de 1994
	21 de setembre de 1995
	12 de novembre de 1999

Taula 2. Data dels casos de ≥ 200 mm/ 24 h a Catalunya per als períodes 1951-1975 i 1976-2000. (Extret de Gázquez *et al.*, 2004).

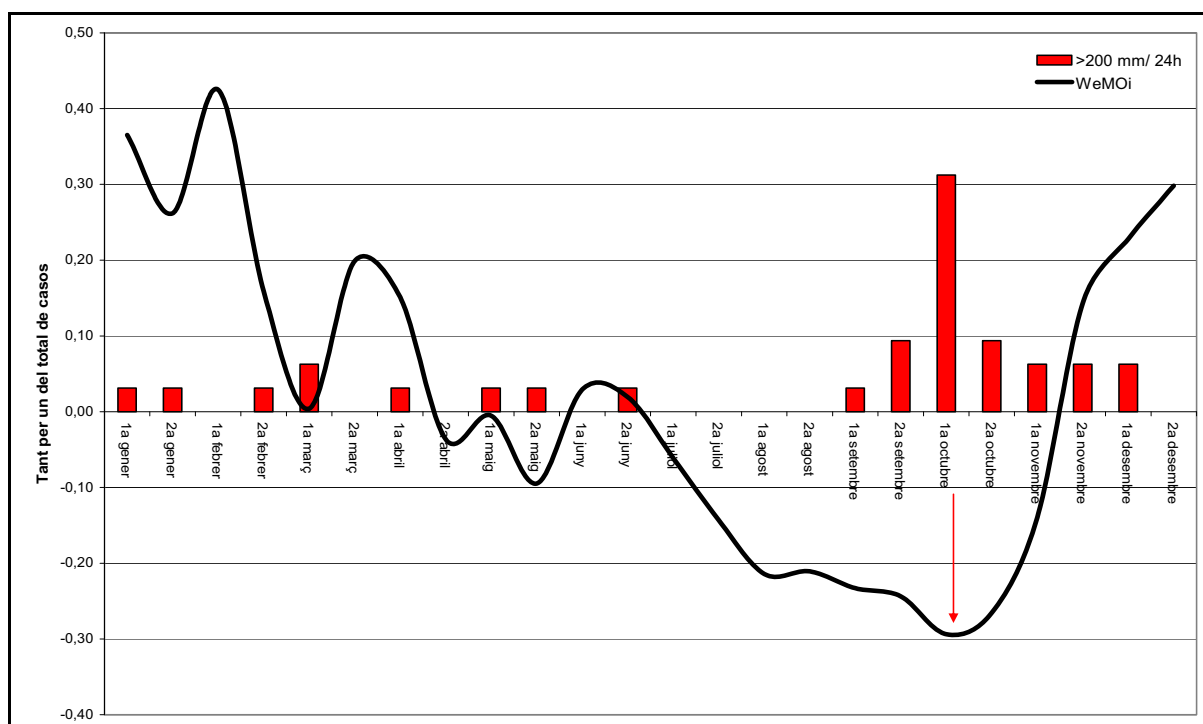


Figura 3. Evolució intraanual del WeMOi per quinzenes, per al període 1951-2000, amb els corresponents dies amb >200 mm (32 casos) a Catalunya.

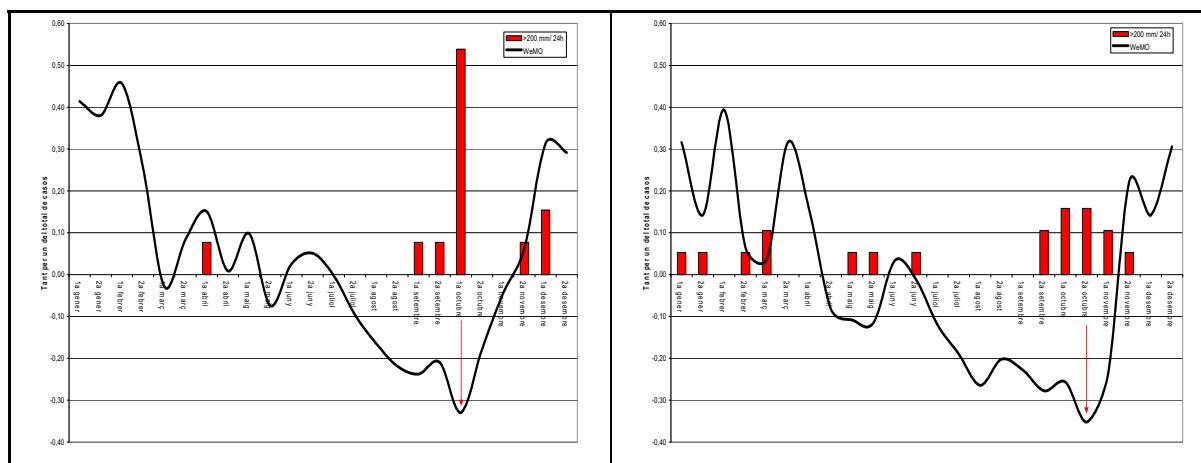


Figura 4. Evolució intraanual del WeMOi per quinzenes, per als subperíodes 1951-1975 (esquerra) i 1976-2000 (dreta), amb els corresponents dies amb ≥ 200 mm/ 24 h a Catalunya.

Aquest allargament fins a principis d'hivern del període de màxima ciclogènesi mediterrània de tardor es pot posar en relació amb el canvi de la dinàmica atmosfèrica a mig termini, en el sentit que s'està donant una major perdurabilitat de l'estació estricta o climàticament tardorenca. Però, també podria tenir lloc un augment de la magnitud per unes temperatures marines més càlides que potenciarien unes precipitacions torrencials més extremes i més freqüents (Millán *et al.*, 1995; Guijarro, 2002).

El màxim absolut del valor del WeMOi de la 1a. febrer es manté sense desplaçaments, però esmorteït per sota de 0.40, i sense l'ocurrència de cap episodi. I el mínim absolut de la 1a. octubre es desplaça a la 2a. octubre i 1a. novembre,

5.2.2.3. País Valencià (1951-2000)

Per al conjunt del País Valencià al llarg del mateix període 1951-2000 s'han registrat un total de 63 episodis de ≥ 200 mm/ 24 h (Taula 3), quasi el doble dels detectats per a Catalunya durant el mateix període. La torrencialitat, com ja s'ha anat comprovant al llarg de la present tesi, és màxima al País Valencià i a la Catalunya Nord, per les seves similituds geogràfiques i en el comportament pluviomètric a causa de la forta influència de la variabilitat de la WeMO.

A partir de la base de dades del INM de totes les estacions del País Valencià de la seva competència per al període 1951-2000 s'han cercat tots els episodis en què almenys en un observatori del País Valencià es registrés una precipitació superior al llindar 199.9 mm/ 24 h (Taula 3). S'esmenta com a episodi per no sobreestimar el nombre de casos, ja que un mateix episodi es podria duplicar per les errònies anotacions dels observadors en el dia D+1. No

obstant, aquestes errades no s'han intentat corregir perquè s'intenta ajustar els episodis en períodes de quinze dies.

Episodis 1951-1975	Episodis 1976-2000
5 de març de 1951	25 d'octubre de 1977
23 d'abril de 1951	20 d'octubre de 1982
11 de setembre de 1951	1 de novembre de 1982
14 de novembre de 1953	23 d'agost de 1983
20 de novembre de 1953	6 de novembre de 1983
23 novembre de 1955	10 de novembre de 1984
29 març de 1956	21 de febrer de 1985
11 d'octubre de 1956	26 de setembre de 1985
18 de novembre de 1956	28 d'octubre de 1985
02 d'octubre de 1957	15 de novembre de 1985
13 d'octubre de 1957	29 de setembre de 1986
27 d'octubre de 1958	12 d'octubre de 1986
05 de desembre de 1958	3 de novembre de 1987
23 de desembre de 1958	30 de setembre de 1988
20 de setembre de 1959	11 de novembre de 1988
07 de juny de 1960	4 de setembre de 1989
30 d'octubre de 1961	18 de març de 1989
14 d'octubre de 1962	1 de desembre de 1989
29 d'octubre de 1965	8 de setembre de 1990
8 de desembre de 1965	4 d'octubre de 1991
10 d'octubre de 1966	3 de maig de 1992
8 de setembre de 1967	8 d'octubre de 1992
19 de novembre de 197	1 de febrer de 1993
28 d'abril de 1969	26 d'octubre de 1993
5 d'octubre de 1969	15 d'abril de 1994
6 d'octubre de 1971	11 de desembre de 1995
28 de novembre de 1972	11 de setembre de 1996
22 de març de 1973	8 d'abril de 1997
29 de desembre de 1973	18 de juny de 1997
	30 de setembre de 1997
	4 de desembre de 1997
	2 de desembre de 1998
	11 de novembre de 1999
	22 d'octubre de 2000

Taula 3. Data dels casos de ≥ 200 mm/ 24 h al País Valencià per als períodes 1951-1975 i 1976-2000.

D'altra banda, dos episodis poden anar molt seguits en el temps, essent el mateix i comptabilitzant-se com un sol cas si les condicions que els han afavorit a cada un són les mateixes. Per realitzar aquesta distinció s'han emprat els mapes sinòptics de superfície i els d'altura geopotencial a 500 hPa amb la màxima objectivitat possible. Tot i així, certs casos dubtosos no modificarien enormement els resultats finals. Es classifiquen en un mateix i únic cas els dies de precipitació ≥ 200 mm/ 24 h dels episodis del 12 al 16 d'octubre de 1957, del

30 d'octubre al 2 de novembre de 1961, del 14 al 16 d'octubre de 1962, del 3 al 6 d'octubre de 1971, del 28 al 30 de novembre de 1972, del 22 al 24 de març de 1973, del 28 de setembre a l'1 d'octubre de 1986, del 4 al 7 de setembre de 1989 i del 22 al 24 d'octubre del 2000.

Tots aquells registres que estan indicats en la base dades del INM com a acumulació de dies anteriors no s'han considerat vàlids. La major part dels episodis es corroboren amb el registre d'estacions veïnes. L'objectiu principal d'aquesta investigació és esbrinar l'evolució i comportament d'aquests episodis torrencials i no de la seva verificació i calibratge en l'espai i en el temps, que portaria a un altre estudi previ més rigorós amb altres finalitats.

La detecció dels 63 episodis per al País Valencià en el període 1951-2000 no és definitiva, i es pot revisar més endavant. Emperò, el que es destaca en una primera aproximació a la cronologia dels episodis, igual que en el cas de Catalunya, és una certa major freqüència d'aquests en el segon subperíode. Es pot tractar d'un lleuger increment de torrencialitat, però cal tenir en compte que la cobertura espacial dels observatoris als anys 50 és molt baixa en comparació a les dècades posteriors (Figura 16 del capítol 2) (Martín-Vide *et al.*, en premsa). Als anys 90 també hi ha una davallada de la cobertura, emperò la qualitat de les dades és més òptima.

La concentració de casos es produeix, com s'esperava, a la tardor, amb un pic a la 1a. octubre en el període 1951-2000 (Figura 5), i amb una certa acumulació de pluges torrencials fins a l'inici de l'hivern. No són rars els episodis torrencials en la transició d'hivern a primavera.

En l'evolució de 1951-1975 a 1976-2000, els episodis són més freqüents, com en el cas de Catalunya, a finals d'octubre i principis de novembre, corroborant-se així aquest desplaçament del període de pluges torrencials extremes a la tardor tardana (Figura 6). Estrela *et al.* (en premsa) detecten un increment dels totals pluviomètrics d'origen de front de retrocés, que s'associen a precipitació de tipus torrencial, al mes de novembre, coincidint amb l'escalfament en aquest mateix mes de les aigües superficials del Mar Mediterrani, sobretot, a l'àrea entre el Golf de Gabès i el Canal de Sicília. En el primer semestre de l'any, cal comentar l'aparició de certs episodis al mes de febrer inexistents en el subperíode anterior, i una certa acumulació de casos a la 1a. abril, que coincideix amb l'increment més destacat que es detecta en el conjunt del primer semestre de l'any de les precipitacions d'origen mediterrani (de front de retrocés) segons Millán *et al.* (2005).

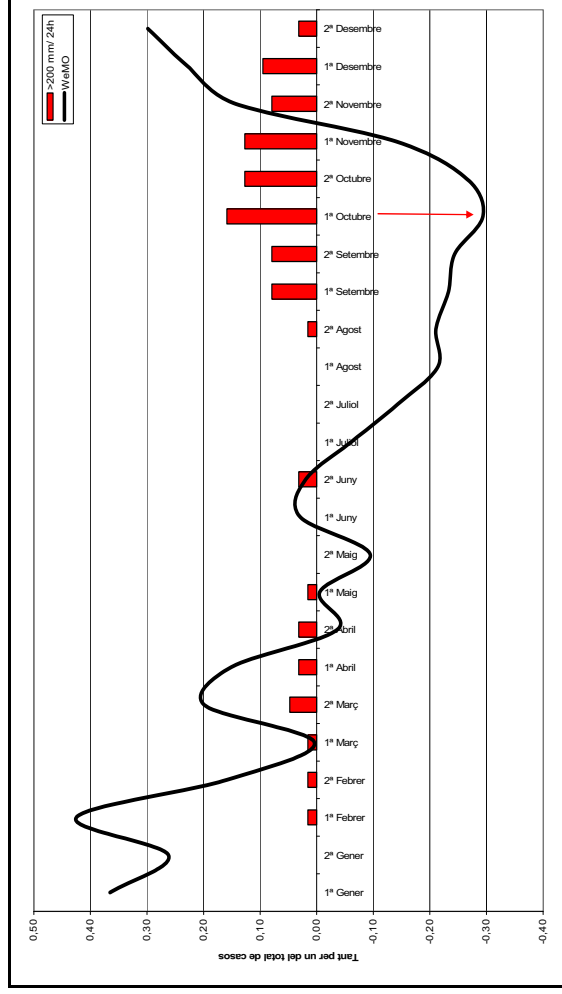


Figura 5. Evolució intraanual del WeMOi per quinzenes, per al període 1951-2000, amb els corresponents dies amb ≥ 200 mm (63 casos) al País Valencià.

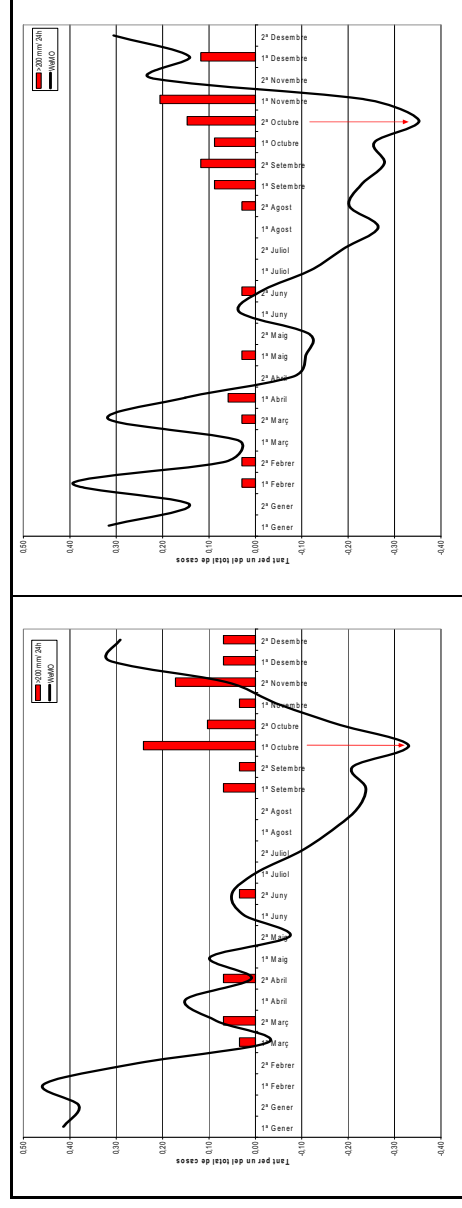


Figura 6. Evolució intraanual del WeMOi per quinzenes, per al subperíode 1951-1975 (esquerra) i 1976-2000 (dreta), amb els corresponents dies amb ≥ 200 mm al País Valencià.

5.2.3. WEMOI: CRITERI OBJECTIU DE SELECCIÓ DE LA BRISA MARINA AL SUD DELS PAÏSOS CATALANS (ALACANT)

5.2.3.1. Resum

L'objectiu d'aquest estudi és presentar l'índex diari de la WeMO com a un nou filtre automàtic de selecció de la brisa marina. La variabilitat sinòptica a escala diària és el primer factor que determina el desenvolupament de la brisa marina. Escenaris sinòptics amb dèbil gradient de pressió en superfície, fracció d'insolació elevada i forçament tèrmic diürn entre terra i mar representen factors determinants per a la posada en funcionament d'aquesta circulació local de vent. En aquest treball s'usa el WeMOi per quantificar la influència del factor sinòptic i seleccionar de forma objectiva la brisa marina. S'han correlacionat els valors diaris de l'índex amb les bases de dades objectiva i subjectiva de dies de brisa marina construïda per a Alacant (1999-2000). L'interval diari del WeMOi [-1, 1] s'usa com a primer criteri objectiu per detectar condicions sinòptiques estables en superfície que potencien la posada en funcionament de la brisa marina al sud dels Països Catalans (Alacant).

5.2.3.2. Objectiu, dades i mètode

L'objectiu d'estudi és perfeccionar el mètode de selecció de la brisa marina i proposar un criteri universal basat en l'ús de patrons de teleconnexió regional a resolució diària. El mètode, òbviament, és creuar el WeMOi diari amb les bases de dades de brisa marina objectiva i subjectiva. Es compara amb el NAOi diari calculat a partir de San Fernando – Sttykishólmur. Alternativament, s'usa el dipol Bordeus (44°50'N-00°41'O) – Múrcia (38°00'N-01°10'O) (Figura 7) per eliminar les dues situacions d'excepció que inhibeixen l'ocurrència de la brisa marina durant la fase neutra de la WeMO: 1) Advecció del nord-est, i 2) Advecció del sud-oest (Figura 1 del capítol 1).

L'àrea d'estudi és Alacant per ser un espai representatiu de l'eficàcia del criteri al sud dels Països Catalans, amb aplicació potencial sobre la resta de la costa dels Països Catalans. El període d'estudi són els anys 1999 i 2000. Per crear les bases de dades, s'ha usat la direcció i velocitat del vent a Alacant corresponent a dues estacions meteorològiques: Laboratori de Climatologia de la Universitat d'Alacant (38°22'99"N- 0°30'68"O, 102 m sobre el nivell del mar i 5.1 km de distància a la costa) i Alacant-Renfè (38°20'70"N- 0°29'50"O, 25 m sobre el nivell del mar i 365 m de distància a la costa). Les bases de dades experimentals de brisa

marina són: 1) Objectiva (370 dies de brisa marina pura, mètode de selecció automàtic), i 2) Subjectiva (498 dies de brisa marina no pura, mètode de selecció manual).

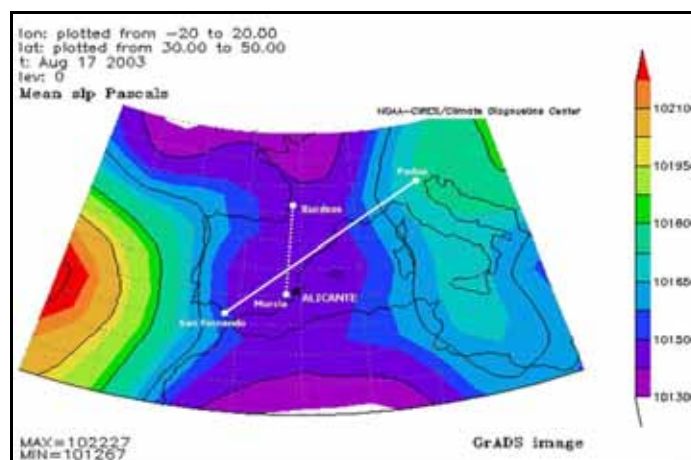


Figura 7. Mapa sinòptic en superfície (NCEP/NCAR Reanàlisi) del 17 d'agost de 2003 i àrea d'estudi. Dipols baromètrics: San Fernando-Padua i Múrcia-Bordeus. Fase neutra de la WeMO [0]. Condicions ideals per a que bufi la marinada (Extret de Azorín-Molina i López-Bustins, 2006).

5.2.3.3. Anàlisi i discussió de resultats

El WeMOi explica millor l'ocurrència de la brisa marina que el NAOi a la costa alacantina (Costa Blanca). Amb WeMOi al voltant de 0 (fase neutra), cel serè i intensa radiació solar existeix una elevada probabilitat de formació de la brisa marina a Alacant. La influència de la fase neutra de la NAO sobre les condicions sinòptiques estables al Mediterrani Occidental és reduïda. La NAO no és un patró vàlid per seleccionar la brisa marina a la costa dels Països Catalans. L'aplicació del WeMOi a la base de dades subjectiva és l'única distribució resultant gaussiana segons el test de Kolmogorov-Smirnov (Figura 8).

A continuació, cal definir aquell interval del WeMOi que s'empri com a primer criteri objectiu per seleccionar els dies de brisa usant la base de dades subjectiva. A partir de la Taula 4, se selecciona l'interval [-1, 1] del WeMOi com el rang més equilibrat per a la preselecció de situacions de pressió en superfície favorables per generar el funcionament de la brisa marina. Aquest interval és l'últim on la diferència de l'increment relatiu entre els dies de brisa i sense brisa marina a Alacant és positiu, d'aquesta manera s'intenta incloure en la selecció el major nombre de dies de brisa possible en una mostra que sigui el més petita possible.

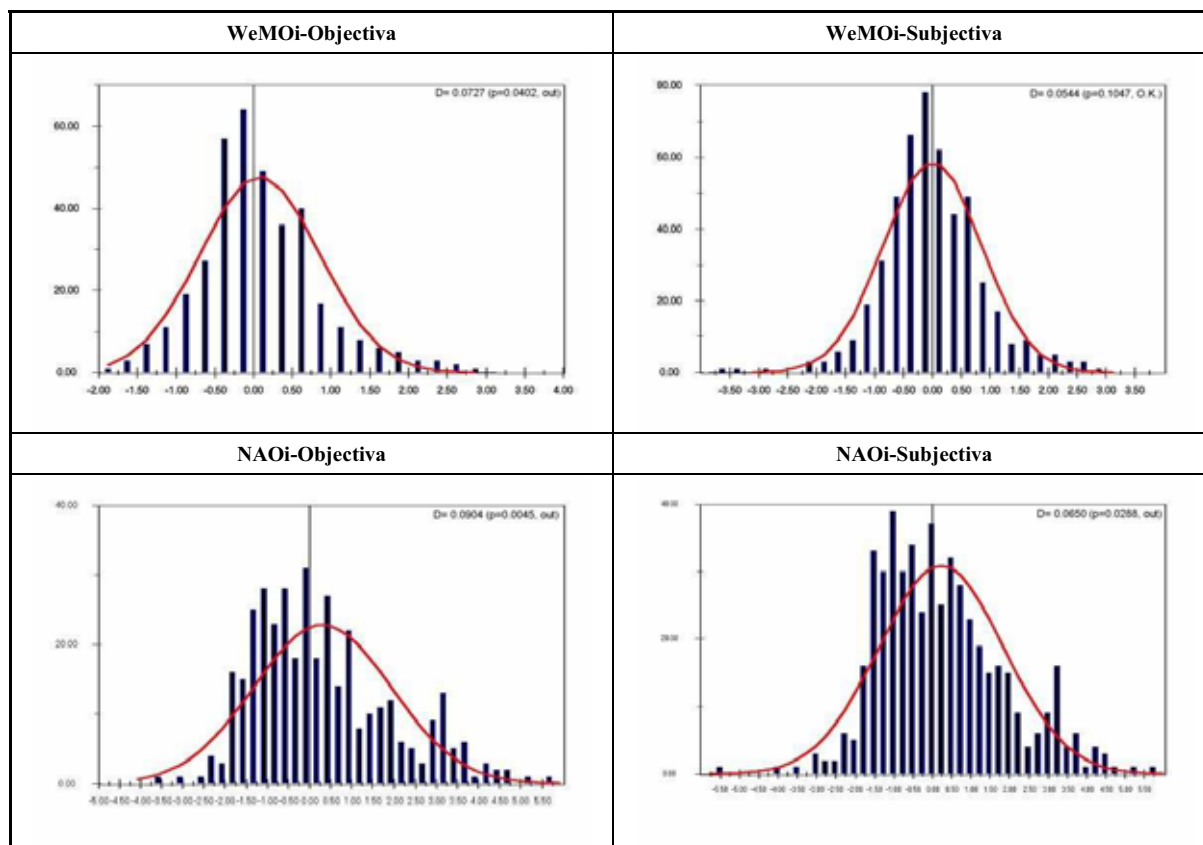


Figura 8. Distribució dels dies de brisa marina en relació amb els valors diaris del WeMOi i del NAOi per a ambdues bases de dades, objectiva i subjectiva. S'indica el valor D del test de Kolmogorov-Smirnov per a una distribució normal (s'ha usat el software *AnClim* – Stepanek, 2005 –). (Extret d'Azorín-Molina i López-Bustins, 2006).

Class	Sb $\sum n_i$	NSb $\sum n_i$	Sb $\sum n_i$ (%)	NSb $\sum n_i$ (%)	Rise Sb $\sum n_i$ (%)	Rise NSb $\sum n_i$ (%)	Rise Sb – Rise NSb
1 [-0.25 , 0.25]	141	27	28.31	11.89			
2 [-0.5 , 0.5]	250	50	50.20	22.03	21.89	10.13	11.76
3 [-0.75 , 0.75]	348	77	69.88	33.92	19.68	11.89	7.78
4 [-1 , 1]	405	100	81.33	44.05	11.45	10.13	1.31
5 [-1.25 , 1.25]	440	124	88.35	54.63	7.03	10.57	-3.54
6 [-1.5 , 1.5]	457	140	91.77	61.67	3.41	7.05	-3.63
7 [-1.75 , 1.75]	472	157	94.78	69.16	3.01	7.49	-4.48
8 [-2 , 2]	480	176	96.39	77.53	1.61	8.37	-6.76

Taula 4. Distribució de freqüències absolutes ($\sum n_i$) i relatives ($\sum n_i$, %) acumulades dels dies de brisa marina (Sb) i sense brisa marina (NSb), agrupats per intervals de classe de rang de llindar creixent. Increment relatiu dels dies de brisa marina (*Rise Sb*) i sense brisa marina (*Rise NSb*) entre els intervals de classe major (2) i inferior (1). L'última columna ofereix la diferència en l'increment relatiu entre els dies de brisa i sense brisa marina a Alacant (1999-2000). Base de dades subjectiva. (Extret d'Azorín-Molina i López-Bustins, 2006).

5.2.3.4. Avaluació del criteri de selecció [-1, 1]

Més d'un 80% dels dies de brisa marina classificats per ambdós mètodes de selecció (subjectiu i objectiu) han estat seleccionats segons l'interval [-1, 1] (Figura 9). Aquest primer

criteri elimina un percentatge elevat de dies de no brisa marina per a ambdues bases de dades: 45.1% (objectiva) i 56.0% (subjectiva). Usant la base subjectiva, la brisa marina bufa en més del 80% dels dies seleccionats en l'interval [-1, 1]. Aquest percentatge és superior al de la base de dades objectiva (<65%) a causa de la major exigència dels criteris de selecció aplicats. Els dies de brisa marina són més freqüents que els propis casos de l'índex fins a la classe [-1, 1] (Figura 9), dada que ratifica el criteri objectiu de selecció formulat en l'anterior subapartat (Taula 4).

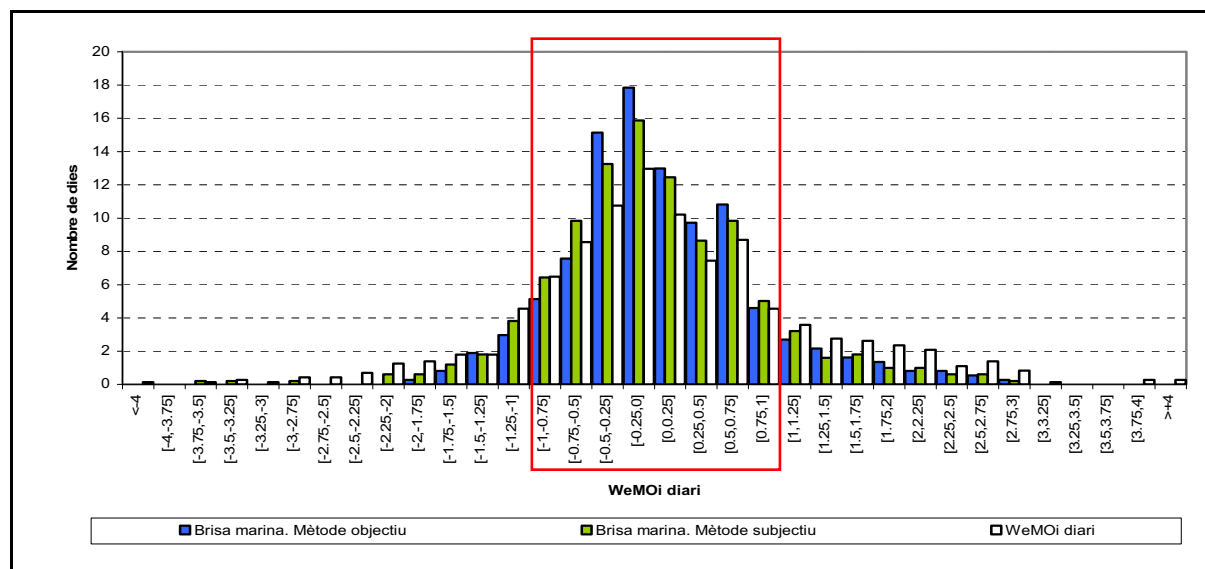


Figura 9. Distribució dels valors de l'índex diari de la WeMO i dels dies de brisa marina (bases de dades objectiva i subjectiva), agrupats per intervals de classe del WeMOi. (Se senyala amb un requadre vermell el nombre de dies compresos en l'interval [-1, 1]).

5.2.3.5. Conclusions i treball futur

Un patró de teleconnexió regional, com és la WeMO, ha estat usat com a un nou criteri objectiu per seleccionar dies amb condicions sinòptiques estables i de dèbil gradient de pressió. L'interval diari del WeMOi [-1, 1] ha estat definit com el primer filtre objectiu per seleccionar dies potencialment proclius per al desenvolupament de la brisa marina. Aquest mètode pot ser aplicat a la resta de la costa dels Països Catalans, i extrapolar-se a altres àrees d'estudi. El mètode ha estat revisat amb l'objectiu d'eliminar les errades i millorar els resultats. Un índex secundari (com a diferència de pressions atmosfèriques estandarditzades entre Múrcia i Bordeus) ha estat definit per estudiar les excepcions d'aquest criteri: adveccions del nord-est i sud-oest dins la fase neutra de la WeMO [-1, 1] (es mostra en detall en l'estudi de Azorín-Molina i López-Bustins, 2006).

El treball futur és definir un mètode objectiu precís tenint en compte les grans possibilitats d'implementació del criteri [-1, 1] amb altres filtres secundaris (radiació, insolació, nuvolositat, vent geostrofic, etc.), amb objecte d'ampliar el coneixement sobre les característiques i processos físics que controlen aquest mecanisme de vents (Azorin-Molina i Lopez-Bustins, en avaluació).

5.2.4. EL WeMOI I LA INTENSITAT DE L'ILLA DE CALOR DE BARCELONA

5.2.4.1. Resum i objectiu

Tot i que les situacions sinòptiques que més afavoreixen l'esdeveniment d'una intensa illa de calor urbana –*Urban Heat Island*– (UHI) són les anticiclòniques, algunes de tipologia d'advecció nord també poden portar a una d'intensa a Barcelona (Moreno, 1994). Això és demostrat usant el WeMOi, ja que la seva fase positiva ve definida principalment per adveccions del NO (Figura 1 del capítol 1). La correspondència més significativa és a l'hivern i a la tardor. L'objectiu d'aquest treball és demostrar que mitjançant l'ús d'un patró de teleconnexió regional, com la WeMO, a resolució diària, les adveccions del nord sobre l'àrea de Barcelona incrementen la intensitat de la seva UHI.

5.2.4.2. Dades i mètode

Per obtenir les dades de l'UHI de Barcelona es treballa amb les temperatures mínimes de dues estacions meteorològiques, una en el casc antic molt propera al port, “Drassanes”; i l'altre, a l'aeroport d'El Prat de Llobregat (Baix Llobregat), a la conurbació de Barcelona. Ambdues són properes al mar i a una alçada sobre el nivell del mar similar. La distància entre ambdues és lleugerament superior als 15 km. El període d'estudi és des del 3 de juliol de 1970 al 19 de febrer de 1984. Així, 4.980 diferències de temperatura mínima són calculades, les quals seran correspostes amb un valor diari del WeMOi amb la intenció de trobar alguna relació.

5.2.4.3. Anàlisi

Selecció dels dies amb una intensa UHI (≥ 5 °C): 458 casos dels 4.980 estudiats (9.2%). Una vegada se li ha assignat a cada dia un valor diari del WeMOi, dues mitjanes del valor del WeMOi són calculades. Una és dels dies de tot el període, 4.980 casos, i l'altra d'aquells amb una intensa UHI, 458 casos. L'anàlisi es realitza per a tot l'any, i per a cada estació. La freqüència més elevada d'intenses UHI té lloc a l'hivern (16.2% dels dies d'hivern), doblant el nombre de casos d'altres estacions. La segona estació més freqüent en l'ocurrència d'UHI intenses és la tardor (7.6% dels dies de tardor).

5.2.4.4. Resultats

És a l'hivern quan s'obté una mitjana més positiva dels valors diaris del WeMOi. No obstant, la tardor té la diferència més notable entre les mitjanes, ja que la mitjana de tot el període és lleugerament negativa a causa de l'ocurrència freqüent en aquesta estació de l'any de temporals marítics mediterranis, és a dir, llevantades (Taula 5). Aquests episodis es caracteritzen per dies ennuvolats, humitat relativa elevada i vents de moderats a forts, que mitiguen el desenvolupament de l'UHI, obtenint una freqüència absoluta molt inferior a la d'hivern. El mateix succeeix en l'ocurrència de la brisa marina, en ser la seva freqüència mínima a la tardor per un predomini d'aquest tipus de temps (Azorin-Molina i Martin-Vide, 2007). No obstant, quan la situació meteorològica afavoreix la formació d'una intensa UHI, el WeMOi té uns valors positius que disten molt dels valors negatius d'aquells episodis de llevantades.

	Dies de tot el període		Dies amb una intensitat d'UHI ≥ 5 °C		Diferència entre les mitjanes
	Casos	Mitjana WeMOi	Casos (% de tot el període)	Mitjana WeMOi/ (Interval de confiança al 95%)	
Anual	4.980	0.0381	458 (9.2 %)	<u>0.3177</u> / (0.3124, 0.3230)	+0.2796
Hivern	1.254	0.3074	203 (16.2 %)	<u>0.6293</u> / (0.6164, 0.6422)	+0.3219
Primavera	1.196	0.0518	86 (7.2 %)	<u>-0.0349</u> / (-0.0646, -0.0052)	-0.0867
Estiu	1.256	-0.0963	72 (5.7 %)	-0.0833 / (-0.1088, -0.0578)	+0.0130
Tardor	1.274	-0.1075	97 (7.6 %)	<u>0.2758</u> / (0.2522, 0.2993)	+0.3833

Taula 5. Comparació entre les mitjanes del WeMOi dels dies de tot el període i dels dies amb una UHI intensa anual i estacionalment. Es mostra l'interval de confiança de la mitjana de la mostra. (Les mitjanes del WeMOi subratllades amb una UHI intensa ≥ 5 °C són aquelles que són significativament diferents de les mitjanes del WeMOi de tot el període; aquelles diferències entre les mitjanes en negreta són les més notables).

Els valors extrems positius del WeMOi, tant a l'hivern com a la tardor, incrementen significativament el percentatge de dies amb una intensa UHI. Però, les UHI intenses també es detecten amb una fase neutra de la WeMO, la qual es representa majoritàriament per situacions anticiclòniques i de pantà baromètric. En conseqüència, les línies dels gràfics de la Figura 10 dibuixen dos pics, sobretot a l'hivern; un, als intervals al voltant de 0, i l'altre, entre els valors extrems positius. En aquests intervals, els dies amb una intensa UHI estan més concentrats en percentatge que considerant tota la mostra. Les línies dels gràfics mostren una major irregularitat en els intervals extrems del WeMOi perquè el nombre de dies és més escàs.

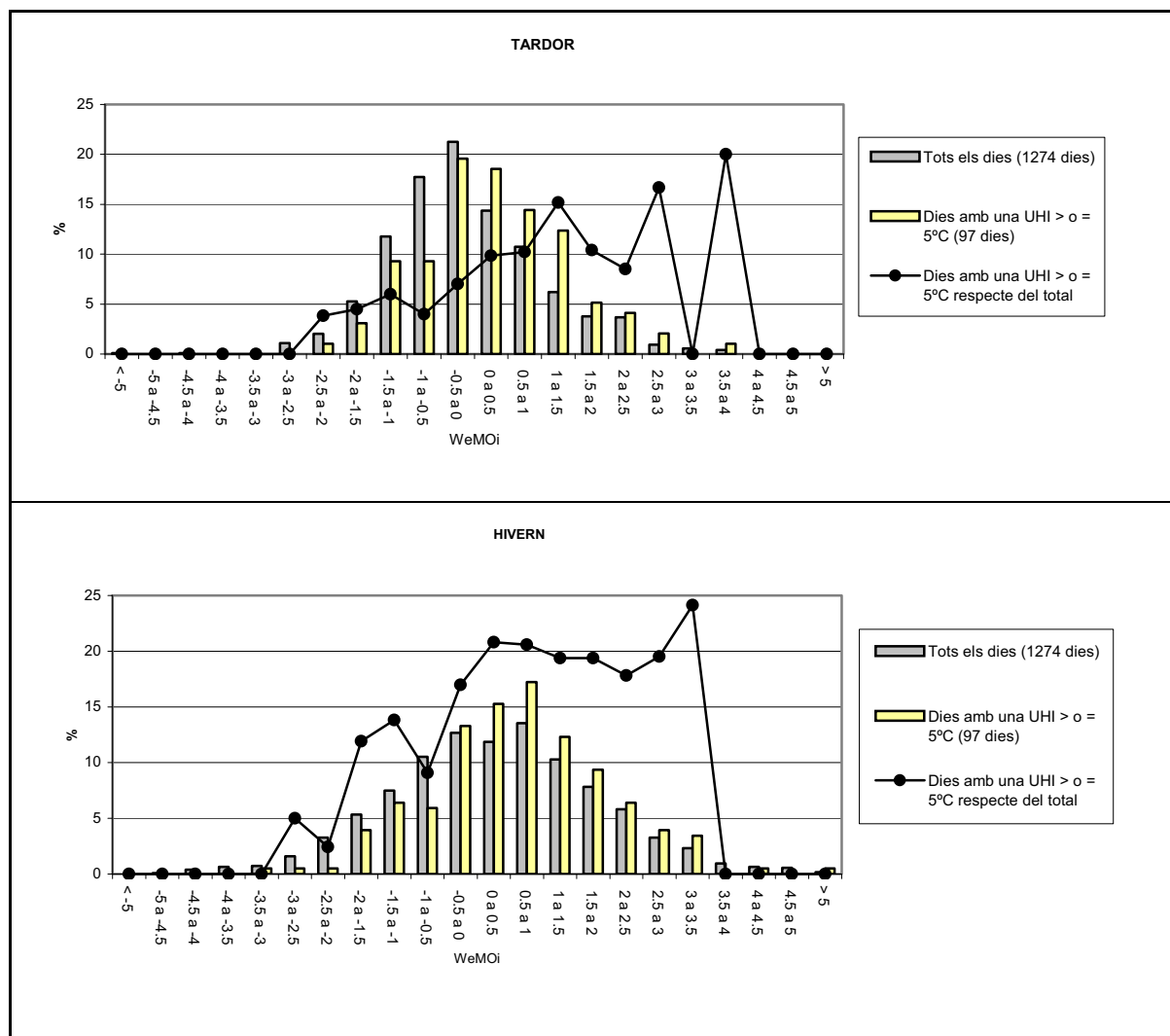


Figura 10. Distribució percentual dels valors del WeMOi de dies d'ambdues mostres (tot els dies del període i els dies amb una UHI ≥ 5 °C) a l'hivern i a la tardor. % dels dies amb una UHI ≥ 5 °C respecte del total calculat per a cada interval (línia).

5.2.4.5. Conclusions

El WeMOi a resolució diària es pot aplicar a una nova variable meteorològica molt distinta a la precipitació com és l'UHI. Una intensa UHI (≥ 5 °C) té lloc a Barcelona en quasi el 10% dels dies del període d'estudi, per tant, es dedueix que 1 de cada 10 dies es dona una UHI intensa a Barcelona. La freqüència més elevada és a l'hivern, seguit de la tardor.

Una UHI intensa tendeix a ocórrer sota situacions anticiclòniques (fase neutra de la WeMO), però també amb adveccions del nord-oest (fase positiva de la WeMO) tal com es detecta en l'anàlisi anual i de les estacions d'hivern i tardor. Tot i que l'hivern assoleix la mitjana dels valors del WeMOi més positiva amb dies d'UHI intensa, és a la tardor quan hi ha una diferència més notable entre les mitjanes del WeMOi de les dues mostres a causa dels temporals de llevant, que són freqüents en aquesta estació (fase negativa de la WeMO).

Referències bibliogràfiques

- Azorín Molina C, López-Bustins JA. 2004. Catálogo sinóptico manual y causas atmosféricas de la precipitación en la provincia de Alicante. *Boletín de la AGE* **38**: 279-310.
- Azorín-Molina C, López-Bustins JA. 2006. WeMOi: criterio objetivo de selección de la brisa marina en el sureste de la Península Ibérica (Alicante). *V Congreso de la Asociación Española de Climatología* **5**: 53-63, Zaragoza.
- Azorin-Molina C, Martin-Vide J. 2007. Methodological approach to the study of the daily persistence of the sea-breeze in Alicante (Spain). *Atmosfera* **20**: 57-81.
- Azorin-Molina C, Lopez-Bustins JA. An automated sea breeze selection technique based on regional sea-level pressure difference: WeMOi. *International Journal of Climatology*, en avaluació.
- Baldwin MP, Dunkerton TJ. 2001. Stratospheric harbingers of anomalous weather regimes. *Science* **294**: 581-584.
- Beniston M, Jungo P. 2002. Shifts in the distributions of pressure, temperature and moisture in the Alpine region in response to the behaviour of the North Atlantic Oscillation. *Theoretical and Applied Climatology* **71**: 29-42.
- Estrela MJ, Millán M, Peñarocha D, Pastor F. 2002. *De la gota fría al frente de retroceso. Las precipitaciones intensas en la Comunidad Valenciana*. CEAM, Valencia, 260 p.
- Estrela MJ, Pastor F, Miró JJ. Precipitaciones torrenciales en la Comunidad Valenciana: La temperatura superficial del agua del mar y áreas de recarga. Primeros resultados. *Xarxa temàtica RIMARC*, en premsa.
- Gázquez A, Perpinyà M, Llasat MC, Peña JC. 2004. Episodios pluviométricos superiores a los 200 mm en 24 horas en Catalunya. Catalogación y configuraciones meteorológicas asociadas. *IV Congreso de la Asociación Española de Climatología* **4**: 303-312, Santander.
- Grimalt M, Laita M, Rosselló J, Caldentey J, Arrom JM. 2006. Distribución espacial y temporal de las precipitaciones intensas en Mallorca. *V Congreso de la Asociación Española de Climatología* **5**: 411-420, Zaragoza.
- Guijarro JA. 2002. Tendencias de la precipitación en el litoral mediterráneo español. *III Congreso de la Asociación Española de Climatología* **3**: 237-246, Palma.
- López-Bustins JA. 2004. *Anàlisi dels episodis extrems de precipitació ≥ 200 mm/ 24 h al País Valencià en el període 1951-2000. Ajustament a l'Oscil·lació de la Mediterrània Occidental (WeMO)*. Projecte del Màster en Climatologia Aplicada de la Universitat de Barcelona.
- López-Bustins JA, Azorín Molina C. 2004. Aplicación del índice diario de la Oscilación del Mediterráneo Occidental al estudio de la tipología pluviométrica en Alicante. *IV Congreso de la Asociación Española de Climatología* **4**: 333-345, Santander.
- Lopez-Bustins JA, Azorin-Molina C. 2005. The Western Mediterranean Oscillation index (WeMOi): an objective primary filter for finding sea breeze days on the east coast of the Iberian Peninsula. *EMS Annual Meeting Abstracts* **1**: 00141, Utrecht.
- Lopez-Bustins JA, Martin-Vide J, Moreno MC, Raso JM. 2006. Urban Heat Island Intensity in Barcelona and the Western Mediterranean Oscillation. *6th International Conference on Urban Climate* **1**: 830-833, Göteborg.
- Martín-Vide J, Sánchez-Lorenzo A, Raso JM, López-Bustins JA, Cordobilla MJ, Peña JC, Soler X, Prohom M, Garcia-Manuel A, Cernocky T. Catálogo de patrones sinópticos asociados a precipitaciones torrenciales en Cataluña. *Xarxa temàtica RIMARC*, en premsa.
- Millán M, Estrela MJ, Caselles V. 1995. Torrential precipitations on the Spanish east coast: The role of the Mediterranean sea surface temperature. *Atmospheric Research* **36**: 1-16.
- Millán M, Estrela MJ, Miró JJ. 2005. Rainfall Components: Variability and Spatial Distribution in a Mediterranean Area (Valencia Region). *Journal of Climate* **18**: 2682-2705.
- Miró JJ, Estrela MJ, Millán M. 2006. Análisis de tendencia de la precipitación por frentes atlánticos en la Comunidad Valenciana (1959-2004). *V Congreso de la Asociación Española de Climatología* **5**: 211-220, Zaragoza.
- Moreno MC. 1994. Intensity and form of the urban heat island in Barcelona. *International Journal of Climatology* **14** (6): 705-710.
- Peña JC, Garcia C, Esteban P, Martí G, Prohom M. 2006. Recent decrease of temperature over the Eastern Pyrenees and its relationship with the atmospheric circulation: preliminary results. *Proceedings of the 5th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems*. Session 4 - Climate Change **1**: 361-363, Barcelona.
- Stepanek P. 2005. *AnClim – Software for Time Series Analysis*. Dept of Geography, Faculty of Natural Sciences, MU, Brno. 1.47 MB.
- Sumner GN, Romero R, Homar V, Ramis C, Alonso S, Zorita E. 2003. An estimate of the effects of climate change on the rainfall of Mediterranean Spain by the late twenty first century. *Climate Dynamics* **20**: 789-805.

Altres

- Fundació CEAM (Centre d'Estudis Ambientals de la Mediterrània), Paterna, València. Dir. Millán Millán. <http://www.gva.es/ceam/>
- NCEP/NCAR Reanalysis plots <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.surface.html>