

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 3

TENDÈNCIES I CICLES DEL WEMOI: ELS EFECTES EN LA VARIABILITAT PLUVIOMÈTRICA DELS PAÏSOS CATALANS

3.1. ANÀLISI DE TENDÈNCIES I DE FASES DE LA WeMO: 1821-2000

Per detectar variabilitats i canvis climàtics en variables com la precipitació, s'estudien les fases i tendències dels índexs de teleconnexió climàtica, entre altres metodologies. A continuació, s'analitzen aquestes per al WeMOi principalment, però també per a l'AOi i el NAOi. Es prendran diferents períodes per comprovar si les tendències són estables en el temps: 1821-2000, 1901-2000 i 1951-2000. D'altra banda, les fases de la WeMO en la seva evolució temporal ens permetran establir les regions dels Països Catalans amb una resposta pluviomètrica més sensible a les variacions de l'índex.

Es calculen unes tendències generals del comportament de la WeMO dels últims 180 anys. Per esbrinar la seva significació s'usa el t-test (Önöz i Bayazit, 2003; Power, 2003) mitjançant el software AnClim (Stepanek, 2005), el qual es basa en regressions lineals. Es realitza per mesos, estacions i anualment.

Iniciant l'anàlisi del període 1821-2000, cal comentar, primerament, que l'estiu és quan es donen unes tendències negatives significatives més notables del WeMOi. Són significatives al 0.05 tant en el conjunt de l'estació com en els tres mesos d'estiu individualment: juny, juliol i agost. El problema és que la WeMO no és capaç de modular la precipitació estival dels Països Catalans. L'únic altre període de l'any que presenta una tendència significativa és l'octubre. També és de caràcter negatiu, però els altres mesos de tardor no en presenten cap, i per tant per al conjunt de l'estació tampoc hi ha una tendència significativa. En canvi, l'hivern té en conjunt un increment significatiu, però els mesos que el componen no tenen unes variacions significatives. Anualment, la tendència és una davallada significativa del WeMOi (Taula 1).

Gener	-	Juliol	-0.047/ 10 anys
Febrer	-	Agost	-0.053/ 10 anys
Març	-	Setembre	-
Abril	-	Octubre	-0.030/ 10 anys
Maig	-	Novembre	-
Juny	-0.041/ 10 anys	Desembre	-
Hivern	+0.021/ 10 anys	Estiu	-0.047/ 10 anys
Primavera	-	Tardor	-
Semestre fred	-	Semestre càlid	-0.034/ 10 anys
Anual 2	-0.017/ 10 anys		

Taula 1. Tendències del WeMOi (1821-2000) per mesos, estacions i anualment. (El semestre fred comprèn els mesos d'octubre a març; el semestre càlid comprèn els mesos d'abril a setembre). Només es mostren aquelles tendències significatives al 0.05 segons el t-test.

A l'hivern llarg (inclou març), segons l'apartat 1.6. del capítol 1, en el període inicial del germans Urrutia el WeMOi és força negatiu, però a finals del segle XIX remunta en una fase positiva, que es manté fins a les darreres dècades del segle XX, quan s'inicia una nova fase negativa. Aquests trets, tot i la tendència significativa positiva, també són els que caracteritzen l'evolució del WeMOi a l'hivern curt (desembre, gener i febrer) (Figura 1). Tot i les inhomogeneïtats que poden romandre en el període dels germans Urrutia (1821-1869), quan podria haver hagut una certa infravaloració de la pressió hivernal (veure 1.3.2.1 del capítol 1), fou un període climàtic amb fortes oscil·lacions atmosfèriques i amb certes inundacions catastròfiques documentades a les conques mediterrànies de la Península Ibèrica (Oliva *et al.*, 2006). Al segle XIX, tingueren lloc tres puntes mínimes negatives (1840, 1857 i 1890) que comportaren un tipus de temps advers. A més, poden ser reductes de les últimes oscil·lacions de la Petita Edat de Gel (Barriendos, 1994).

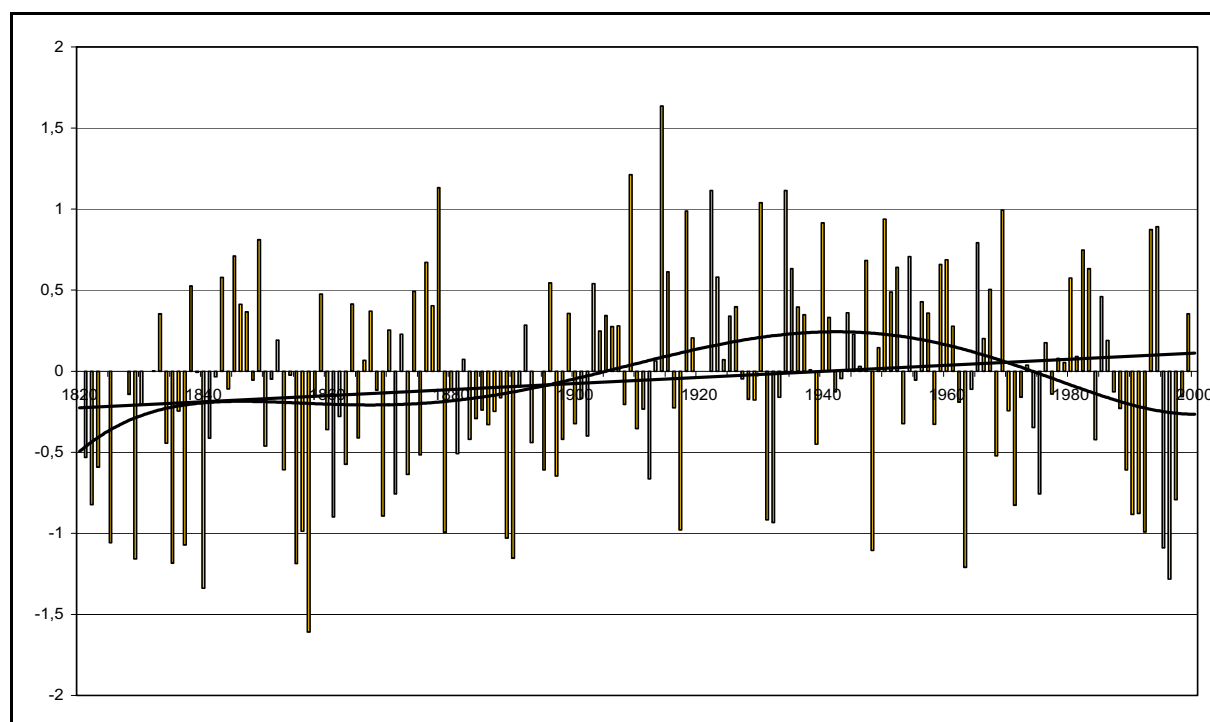


Figura 1. Evolució del WeMOi hivernal (desembre, gener i febrer) durant el període 1821/22-1999/2000 (es tracen les regressions lineal i polinòmica de 5è. grau).

A l'estació primaveral (març, abril i maig) el WeMOi té una lleugera tendència lineal negativa, però no significativa. A l'inici del període es manifesten alguns anys extrems negatius. La regressió polinòmica de 5è. grau mostra com la WeMO ha tingut una fase principalment positiva des de finals del segle XIX fins a principis del segle XX. Posteriorment, hi ha hagut una alternança de fases negatives i positives que no permeten constatar una tendència determinada en el seu comportament més recent (Figura 2).

El WeMOi a l'estació estival s'ha mantingut en un predomini de valors positius durant el segle XIX i fins ben entrat el XX (Figura 3). La seva tendència negativa significativa s'explica pel fet que des del segon terç del segle XX s'ha iniciat una certa alternança de fases positives i negatives del WeMOi. Es pot estar donant un reforçament, tant en intensitat com en freqüència, de la baixa tèrmica estival sobre la Península Ibèrica. Tot i que la WeMO té un pes insignificant en la pluviometria estival dels Països Catalans, s'haurà de valorar més endavant, en aquest mateix capítol si hi ha hagut un cert augment de la precipitació en aquesta estació. En el conjunt del semestre càlid també es dona una tendència negativa significativa.

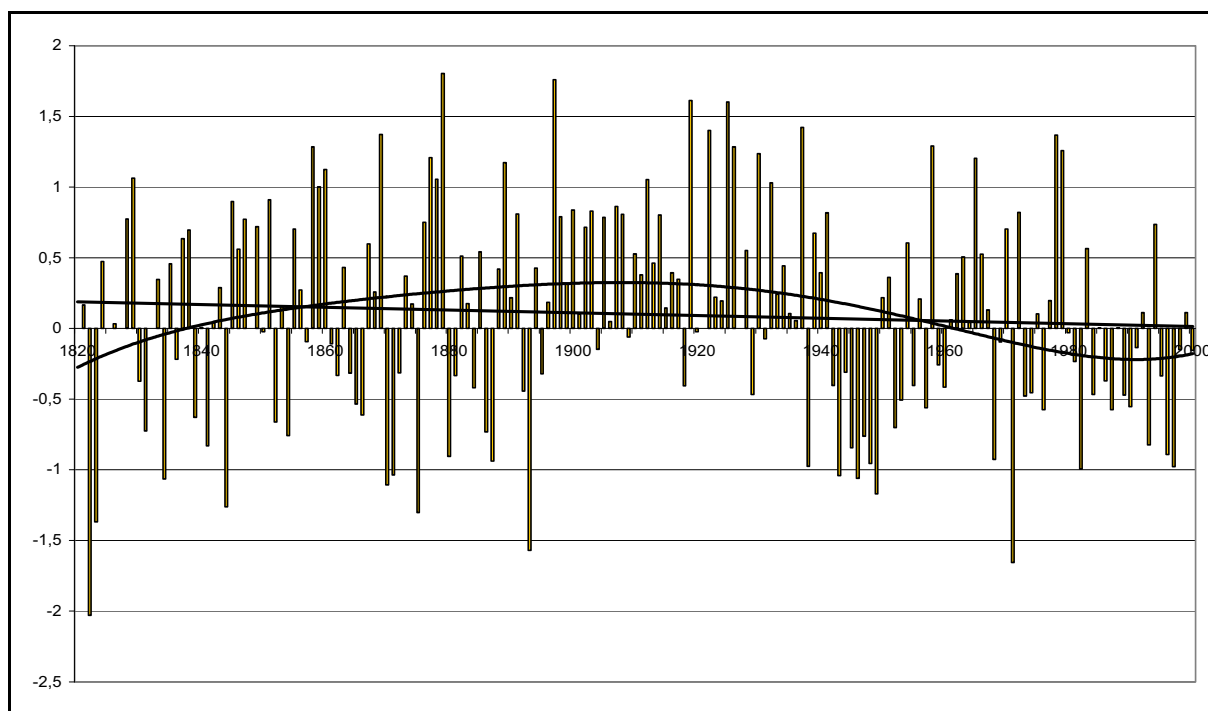


Figura 2. Ídem que Fig. 1, però per a la primavera (març, abril i maig) durant el període 1821-2000.

Durant la tardor, el WeMOi no té unes oscil·lacions ben definides (Figura 4). Fins a finals del segle XIX es caracteritza per una fase, principalment, positiva. Seguidament, fins al primer terç del segle XX, se situà en uns valors predominantment negatius. Fins al 2000 ha continuat amb oscil·lacions irregulars, no obstant, se'n dedueix una certa tendència negativa, encara que només significativa a l'octubre (Taula 1), per l'aparició de fases de mitja dècada extremadament negatives. La segona meitat dels anys 80 n'és el cicle més destacat, en el qual s'hi van registrar un nombre anòmalament abundant d'episodis de més de 100 mm en 24 h al País Valencià (Armengot, 2002).

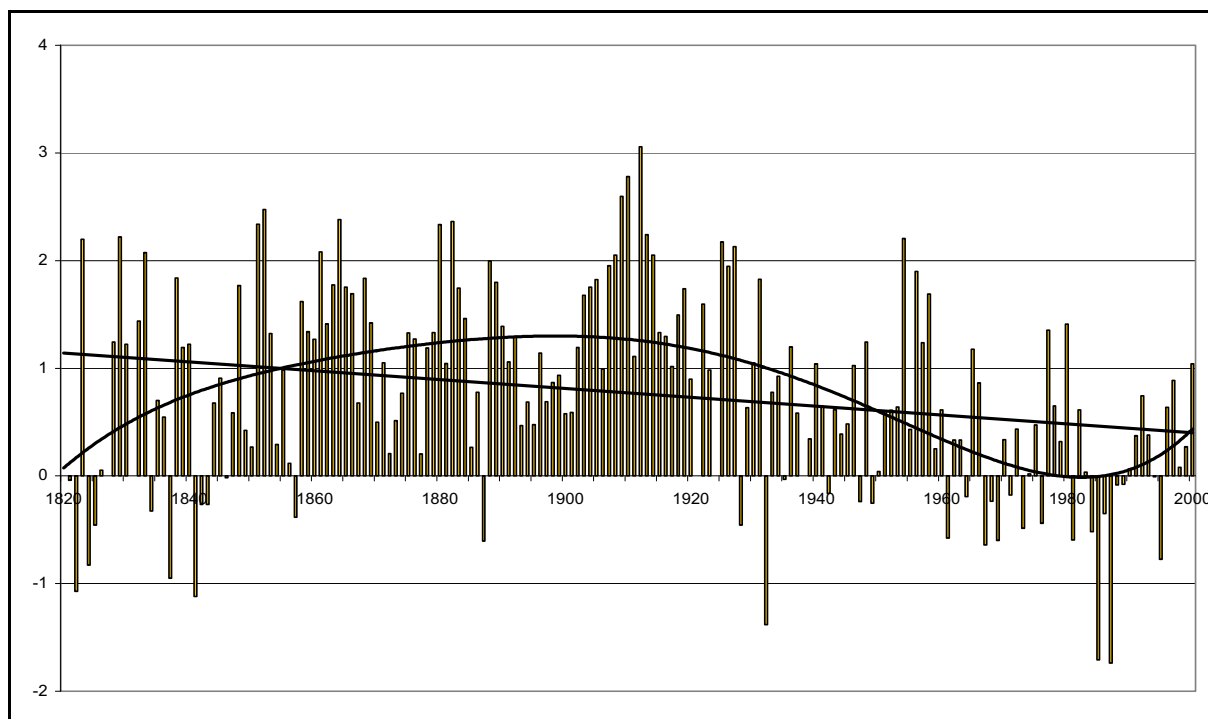


Figura 3. Ídem que Fig. 2, però per a l'estiu (juny, juliol i agost).

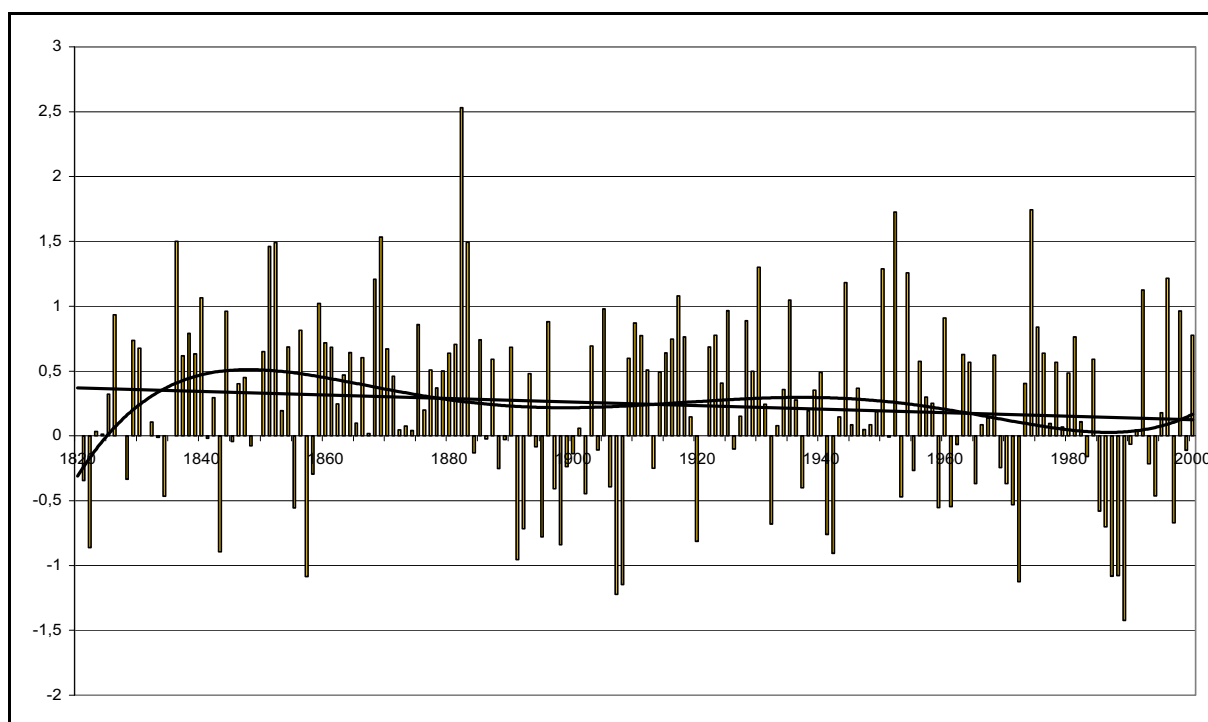


Figura 4. Ídem que Fig. 2, però per a la tardor (setembre, octubre i novembre).

Anualment (anual 2, veure subapartat 2.5.1.2. del capítol 2), el WeMOi té una tendència negativa perquè a partir dels anys 60 del segle XX hi ha un predomini dels valors negatius. La Figura 5 és un reflex de l'evolució conjunta del WeMOi: una primera meitat de segle XIX amb certs valors negatius amb algun d'extrem, establiment d'una fase positiva estable des de mitjans del segle XIX fins a mitjans del segle XX i l'inici d'una nova fase negativa a l'últim terç del segle XX.

Un tret característic comú de les quatre estacions i anualment del comportament de la WeMO és la seva alta variabilitat interanual. Tot i els certs cicles i fases que es poden detectar en períodes de temps prolongats, hi ha una clara irregularitat en els valors de l'índex en anys consecutius. Aquesta característica és coherent amb el caràcter regional del patró.

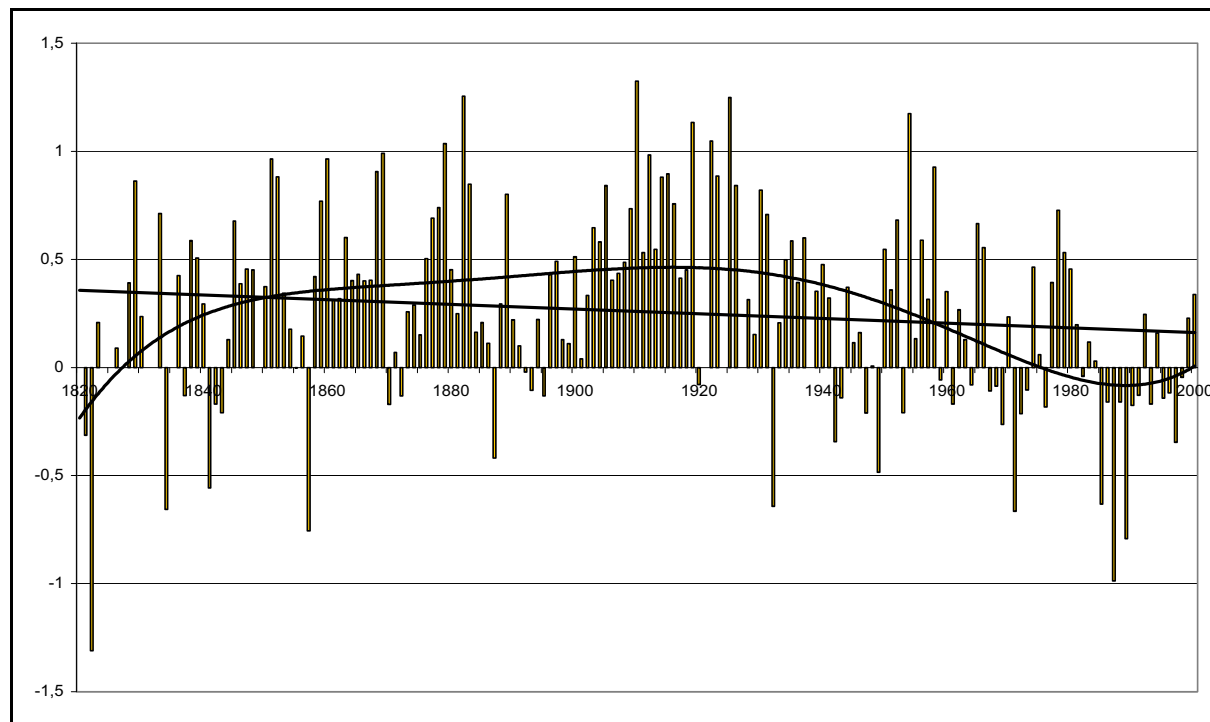


Figura 5. Ídem que Fig. 2, però anualment.

3.2. ANÀLISI DE TENDÈNCIES, FASES DE LA WeMO I D'ALTRES PATRONS DE TELECONNEXIÓ DURANT ELS PERÍODES RECENTS: 1901-2000 I 1951-2000

3.2.1. 1901-2000

Les tendències del WeMOi al llarg del segle XX es mantenen negatives significatives al 0.05 segons el t-test en els mesos d'estiu. Ara el mes de maig també té una tendència negativa. Les quatre estacions tenen tendències negatives, significatives totes elles a excepció de la tardor, conseqüentment, anualment i per ambdós semestres, té lloc una tendència negativa i significativa.

Si s'analitzen les tendències durant el mateix període dels índexs dels patrons, ja emprats en aquesta tesi, com el NAOi o l'AOi, es comprova que el comportament de les latituds àrtiques podrien regular el comportament de la WeMO. El NAOi no experimenta cap tendència significativa, però l'AOi s'incrementa significativament en els mesos d'estiu i a l'octubre. Aquests són els mesos quan el WeMOi té una davallada notable, encara que a l'octubre només és significativa en el període 1821-2000. A més, l'AOi també té una tendència positiva significativa a l'estació estival, la tardor i anualment, en el període 1901-2000. Durant aquests mesos i estacions l'AOi i el WeMOi tenen una correlació negativa i significativa al 0.05. A excepció del mes d'octubre, que és l'únic mes de la tardor quan no tenen una correlació significativa; i en conseqüència, el WeMOi no presenta una tendència significativa com l'AOi. Al mes d'abril i a les estacions de primavera i d'hivern, també existeix una relació oposada entre ambdós patrons, i òbviament, anualment i per a cada un dels semestres.

El NAOi es correlaciona positiva i significativament amb el WeMOi just en els mesos que el patró mediterrani no té una relació negativa amb l'AOi. És lògic, ja que la relació entre l'AOi i el NAOi és molt elevada.

La conclusió d'aquesta anàlisi (Taula 2) és que el WeMOi té certes correlacions amb l'AOi i quasi nul·les amb el NAOi, tal com ja s'obté en l'apartat 1.7 del capítol 1. El WeMOi té unes tendències oposades a les de l'AOi a l'estiu, a la tardor i anualment; resultat que es justifica per la correlació oposada que existeix entre les dues oscil·lacions en els mesos d'estiu i tardor principalment. Anualment, també hi ha una relació oposada significativa entre ambdós índexs. L'AOi té unes tendències positives a l'hivern i a la primavera, tot i no ser significatives; doncs, l'AOi també es correlaciona negativa i significativament amb el WeMOi durant aquestes dues estacions.

1901-2000	Tend. WeMOi	Tend. NAOi	Tend. AOi	r WeMOi/NAOi	r WeMOi/AOi	r NAOi/AOi
Gener	-0.028	-0.092	-0.037	0.19	-0.06	0.81
Febrer	-0.043	-0.008	0.009	0.27	-0.07	0.80
Març	-0.054	0.056	0.012	0.14	-0.15	0.81
Abril	-0.095	-0.088	0.002	0.11	-0.34	0.50
Maig	-0.121	-0.039	0.032	0.27	-0.06	0.59
Juny	-0.173	0.076	0.061	0.00	-0.24	0.58
Juliol	-0.239	0.019	0.035	-0.19	-0.27	0.52
Agost	-0.176	-0.062	0.062	0.00	-0.23	0.36
Setembre	-0.043	-0.008	0.024	0.14	-0.21	0.48
Octubre	-0.045	0.045	0.054	0.28	-0.02	0.63
Novembre	0.010	0.018	0.048	0.17	-0.25	0.51
Desembre	-0.057	-0.078	0.064	0.35	-0.12	0.49
Hivern	-0.047	-0.063	0.016	0.18	-0.25	0.70
Primavera	-0.089	-0.024	0.016	0.19	-0.26	0.57
Estiu	-0.197	0.011	0.053	-0.02	-0.36	0.36
Tardor	-0.026	0.018	0.042	0.17	-0.22	0.54
Semestre fred	-0.041	-0.015	0.029	0.05	-0.39	0.66
Semestre càlid	-0.141	-0.017	0.036	0.12	-0.35	0.41
Anual 2	-0.091	-0.013	0.031	0.10	-0.31	0.61

Taula 2. Tendències del WeMOi, NAOi i AOi (variació índex/ 10 anys) i coeficients de correlació de Pearson entre els índexs durant el període 1901-2000. (Els valors en negreta són les tendències –segons el t-test– i les correlacions significatives al 95% del nivell de confiança).

3.2.2. 1951-2000

El mateix anàlisi es porta a terme per al període més recent, la segona meitat del segle XX (Taula 3). En conjunt, segons les anàlisis de les fases prèvies, es tracta d'un cicle de la WeMO de tipus negatiu. Cal prendre atenció a aquest període, car coincideix amb el període d'estudi pluviomètric dels Països Catalans d'aquesta tesi (1951-2000).

El WeMOi es manté amb una tendència negativa al 0.05 a l'estiu, però debilitada en no ser significativa en els mesos de juny i agost. L'AOi no presenta cap tendència en aquesta estació. A l'estiu la circulació atmosfèrica es debilita, i en conseqüència els patrons també. Òbviament no hi ha una relació entre els patrons. El WeMOi no es correlaciona significativament ni amb l'AOi ni amb el NAOi a l'estiu, i la correlació entre els dos últims sí

ho és i positiva, però debilitada respecte a les altres estacions. En el semestre càlid, el WeMOi es redueix significativament però l'AOi només té una tendència lleugerament positiva. El NAOi augmenta de manera significativa en la meitat càlida de l'any, però la correlació entre el WeMOi i NAOi és positiva sense significació. La correlació entre el WeMOi i l'AOi és negativa en aquesta meitat de l'any, però tampoc significativa. Tampoc es troben relacions significatives entre els patrons durant el semestre càlid.

A l'hivern la tendència negativa del WeMOi és significativa, essent el mes de gener l'únic mes hivernal amb una tendència significativa. L'hivern és l'única estació quan l'AOi té una tendència significativa positiva. Aquest increment de l'AOi hivernal ha estat estudiat i considerat com un dels factors claus per explicar la suavització de la temperatura recent dels hiverns del Nord d'Europa (Wu i Straus, 2004). Hurrell i van Loon (1997) arribaren a la mateixa conclusió per l'increment del NAOi a partir de 1980. Cal recordar que és en aquesta segona meitat de segle quan existeix una bona correlació oposada entre els índexs d'ambdós patrons, l'AOi i el WeMOi (apartat 1.7. del capítol 1), i per tant, tenen tendències en distint sentit. En prendre una major dinàmica l'AO en aquesta segona meitat del segle XX per un reforçament del vòrtex polar hivernal dels mesos de gener a març, culminant al febrer, la WeMO respon amb una contundent fase negativa (Martin-Vide i Lopez-Bustins, 2006). Aquest reforçament del vòrtex pot tenir els seus orígens en el refredament recent de l'estratosfera polar en alguns mesos hivernals (Labitzke i Kunze, 2005; López-Bustins, 2006). El NAOi també presenta un increment notable en el mes de febrer, significatiu al 95% del nivell de confiança, però per al conjunt de l'hivern el seu increment no és significatiu. Hurrell i van Loon (1997) ja detectaren una evolució molt positiva del NAOi en aquesta estació durant les dues últimes dècades del segle XX. La correlació del NAOi amb l'AOi a l'hivern és molt elevada i positiva, també és positiva amb el WeMOi, però no significativa. En canvi, el WeMOi i l'AOi es correlacionen en signe negatiu i significativament en aquesta estació. Tot i l'afinitat existent entre l'AO i la NAO, aquests patrons són totalment diferents quant a la seva relació amb la WeMO. Durant el semestre fred, el WeMOi i l'AOi tenen unes tendències oposades significatives al 0.05, el WeMOi negativa i l'AOi positiva. El NAOi s'incrementa però sense significació. La relació de caràcter oposat entre el WeMOi i l'AOi es reforça encara més en augmentar el coeficient de correlació entre ells en aquesta segona meitat del segle XX.

Tant el WeMOi com l'AOi resten bastant invariables durant la primavera i la tardor. Existeix una oscil·lació oposada entre ells en el conjunt de l'estació de la tardor, però les seves tendències no són significatives com a l'hivern. La primavera és l'única època de l'any quan el WeMOi i el NAOi podrien tenir un comportament similar, tant per les seves

tendències com per la correlació entre ells. Per aquesta raó, la màxima influència de la NAO, detectada en el capítol 2, en la pluviometria dels Països Catalans és a la primavera.

En 11 mesos de l'any, el WeMOi té una tendència negativa, i l'AOi, en 9 mesos té una tendència positiva, al llarg de la segona meitat del segle XX, per tant, les seves tendències anuals són contràries. En canvi, el NAOi resta invariable en tenir 6 mesos amb tendència positiva i 6 mesos en tendència negativa. La relació entre el WeMOi i l'AOi és oposada, negativa i significativa, però en cap mes concret hi ha una correlació significativa oposada, però sí en el conjunt de les estacions d'hivern i tardor, que són les èpoques de l'any quan el paper de la WeMO és més important en la pluviometria dels Països Catalans. En canvi, entre el NAOi i el WeMOi hi ha una correlació significativa positiva en tres mesos, però no es reflecteix en el conjunt anual i d'estacions, només a la primavera. La correlació més elevada entre patrons, òbviament, és entre l'AOi i NAOi, en correlacionar-se positiva i significativament en 11 mesos.

1951-2000	Tend. WeMOi	Tend. NAOi	Tend. AOi	r WeMOi/NAOi	r WeMOi/AOi	r NAOi/AOi
Gener	-0.204	0.139	0.293	0.36	0.00	0.78
Febrer	-0.096	0.428	0.425	0.19	-0.11	0.82
Març	-0.006	0.337	0.276	0.18	-0.11	0.79
Abril	0.034	-0.214	0.011	0.36	-0.14	0.27
Maig	-0.284	-0.172	0.074	0.17	-0.15	0.54
Juny	-0.089	-0.062	0.052	0.03	-0.21	0.56
Juliol	-0.279	0.009	-0.018	-0.24	-0.08	0.48
Agost	-0.122	0.095	0.111	-0.06	-0.07	0.50
Setembre	-0.125	-0.284	-0.025	0.06	-0.25	0.52
Octubre	-0.062	-0.232	-0.062	0.18	-0.22	0.60
Novembre	-0.006	0.080	0.146	0.19	-0.12	0.58
Desembre	-0.133	-0.024	0.097	0.46	-0.10	0.64
Hivern	-0.131	0.210	0.310	0.24	-0.29	0.77
Primavera	-0.085	-0.016	0.120	0.33	-0.17	0.45
Estiu	-0.163	0.014	0.048	-0.13	-0.17	0.37
Tardor	-0.064	-0.145	0.020	0.23	-0.35	0.48
Semestre fred	-0.083	0.117	0.216	0.20	-0.35	0.70
Semestre càlid	-0.144	-0.105	0.034	0.17	-0.21	0.34
Anual 2	-0.114	0.008	0.115	0.12	-0.33	0.61

Taula 3. Ídem que Taula 2, però per al període 1951-2000.

3.2.3. FASES DE LA WeMO EN RELACIÓ AMB L'AO

L'hivern i la tardor són les dues estacions quan hi ha una major relació inversa entre la WeMO i l'AO, sobretot, a la segona meitat del segle XX. És durant el conjunt del semestre fred quan es dona aquesta relació inversa perquè és quan la circulació atmosfèrica es comporta amb un dinamisme més intens. Durant aquest període de l'any és quan la WeMO té una major influència sobre la pluviometria dels Països Catalans (Figures 19 i 20 del capítol 2). S'estudien les fases de la WeMO en relació amb les de l'AO en aquestes estacions: tardor (setembre-octubre-novembre) i hivern (desembre-gener-febrer-març). En aquesta última estació se li afegeix el mes de març amb la finalitat d'incloure en l'anàlisi tots els mesos del semestre fred. A més, l'anàlisi hivernal usant aquests quatre mesos és prou comú en diversos treballs de patrons de circulació com la NAO (Osborn *et al.*, 1999) o l'AO fins a l'abril (Baldwin i Dunkerton, 2001). En algunes anàlisis de la present tesi s'empra l'hivern que s'anomenaria llarg (de desembre a març) i en d'altres el curt (de desembre a febrer), segons la finalitat de l'estudi.

3.2.3.1. Hivern (DGFM)

S'han trobat 7 fases oposades entre els dos patrons, WeMO i AO, a l'hivern (DGFM) d'entre 10 i 20 anys cada una (Figura 6). Es considera l'AO com la variable independent que modula el comportament de la WeMO. El patró mediterrani respon amb 4 fases totalment oposades de periodicitats similars durant la segona meitat del segle XX, mentre el comportament oposat és difícilment perceptible durant la primera meitat. Òbviament, una relació negativa no significativa és l'esperada durant aquesta primera meitat de segle ($r = -0.1933$, $p\text{-valor} = 0.1745$).

L'última fase és extremadament positiva en l'AO i negativa en la WeMO. En conseqüència, aquesta 7a. fase és susceptible d'explicar la variabilitat i tendència pluviomètrica recent als Països Catalans i d'altres àrees de la Península Ibèrica. Els golfos de València i Bilbao, com a dipol oposat pluviomètric, presenten tendències pluviomètriques contràries en l'estació hivernal durant el període 1910-2000.

En el cas de València, la tendència pluviomètrica és positiva i significativa al 95% del nivell de confiança. El WeMOi té una tendència negativa i significativa durant l'estació hivernal (DGFM) durant aquest període al 0.05. L'AOi, coherentment, té una tendència

positiva encara que no significativa, i la precipitació de Bilbao descendeix però no significativament (Taula 4 i Figura 7).

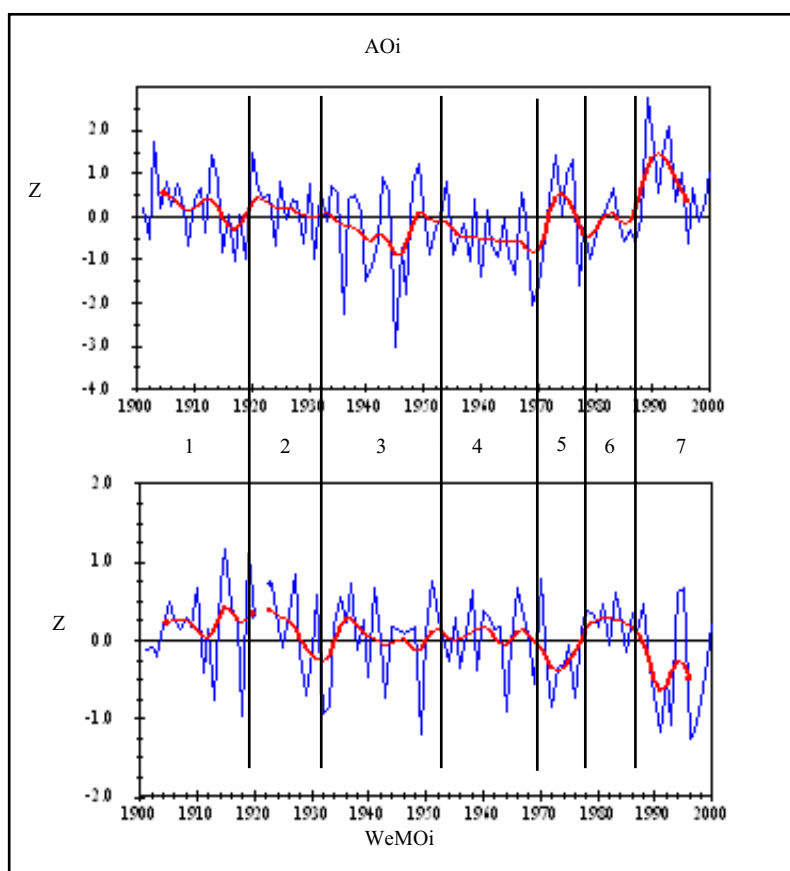


Figura 6. Fases de la WeMO i de l'AO a l'hivern (DGFM) durant el període 1900/01-1999/2000 (manquen dades del WeMOi al 1921). Filtre gaussià de baix pas, amb un període de longitud d'ona de 10 anys, del WeMOi i de l'AOi. (Extret de Martin-Vide i Lopez-Bustins, 2006).

Tendències 1910-2000	AOi	WeMOi	Pluviometria de València	Pluviometria de Bilbao
Z/ 100 anys	+0.43	-0.49	+0.42	-0.24
t-test per al coeficient $b_1(y = b_0 + b_1x)$	$t = /1.102/ <1.987$ (95%)	$t = /-2.111/ >1.988$ (95%)	$t = /+2.117/ >1.987$ (95%)	$t = /-1.108/ <1.987$ (95%)

Taula 4. Tendències de l'AOi, del WeMOi i de la precipitació hivernal (DGFM) de València i Bilbao (1910/1911-1999/2000). (En negreta són les tendències significatives al 0.05 segons el t-test). (Reelaborat a partir de Martin-Vide i Lopez-Bustins, 2006).

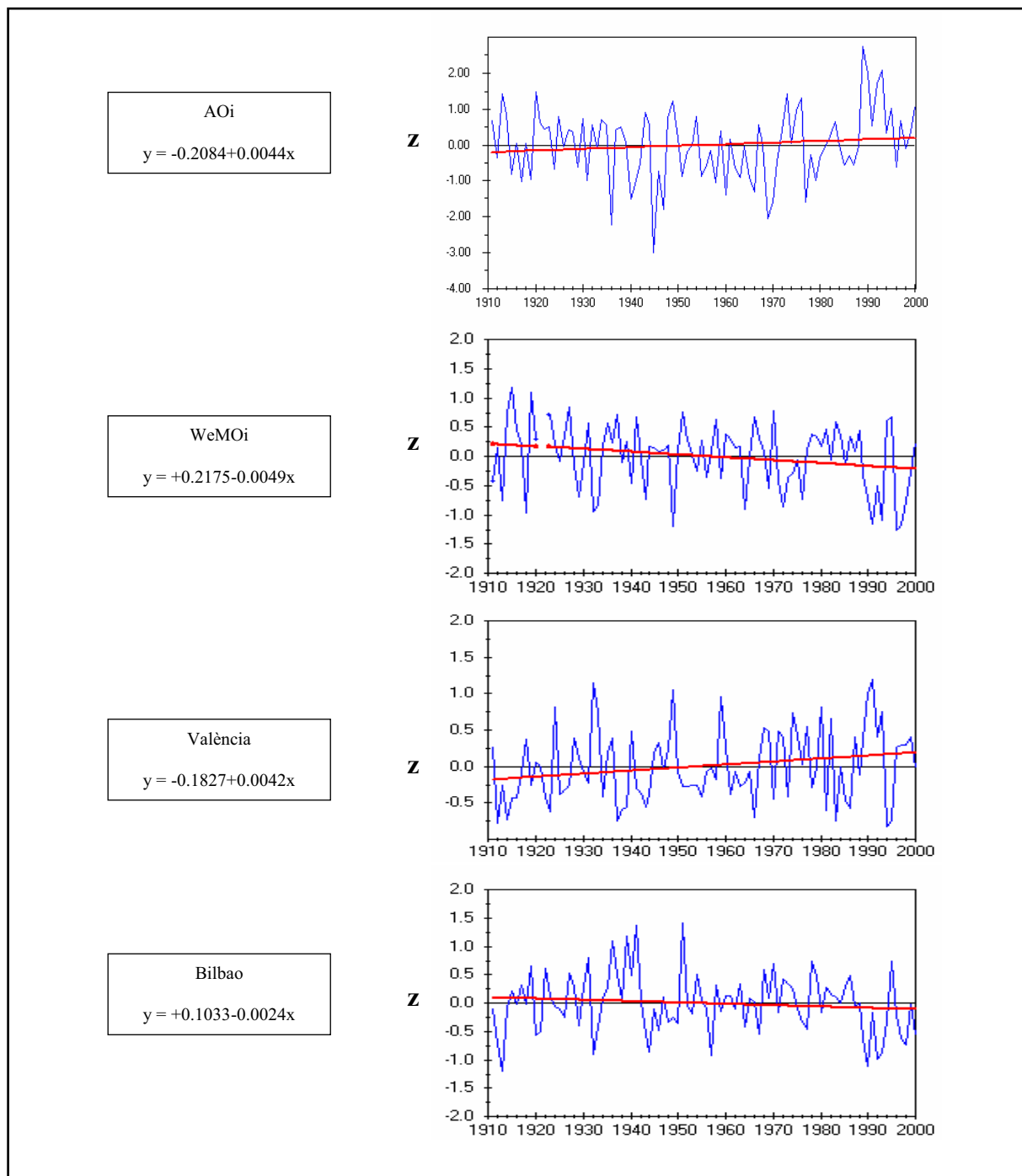


Figura 7. Evolució temporal de l'AOi, del WeMOi i de la precipitació hivernal de València i Bilbao (1910/1911-1999/2000). Es mostren les respectives rectes de regressió. (Reelaborat a partir de Martin-Vide i Lopez-Bustins, 2006).

En una anàlisi més enfocada a la pluviometria dels Països Catalans, s'estudien quines són les pluviometries en cada una de les 4 fases oposades que tenen lloc durant la segona meitat de segle, període amb una major interacció entre ambdós patrons.

Els intervals temporals de les fases de la segona meitat de segle són (Figura 8):

- 4a. fase, 1951/52-1969/70: Les precipitacions no varien notablement arreu del territori. És raonable si la WeMO roman en una fase lleugerament positiva. En canvi, l'AO se situa en una fase negativa més pronunciada, contribuint a incrementar la pluviometria en

aquelles zones on es correlaciona significativament amb signe negatiu a l'hivern: la vessant sud de l'Alt Pirineu lleidatà (Figura 11). Els valors positius que es troben a l'est de Mallorca no són del tot explicable amb l'AOi, perquè tot i que s'hi correlaciona negativament, no ho fa de forma significativa.

- 5a. fase, 1970/71-1975/76: Les fases dels patrons són més extremes. L'increment pluviomètric és generalitzat arreu dels Països Catalans sota aquesta fase negativa de la WeMO. Fins i tot, les àrees del Pirineu que es correlacionen millor amb l'AOi incrementen la seva pluviometria.

- 6a. fase, 1976/77-1987/88: Les precipitacions es redueixen principalment al sud del País Valencià i a Eivissa amb aquesta fase positiva de la WeMO. A Catalunya, hi ha un cert increment que no es correspon directament amb aquelles àrees que es relacionen més satisfactòriament amb l'AOi, no obstant, la fase negativa de l'AO no és gaire pronunciada.

- 7a. fase, 1988/89-1999/2000: És la fase més il·lustrativa. En situar-se l'AO en una fase extrema positiva, se'n força una de màxima extrema negativa de la WeMO, esdevenint la més pronunciada de les 4 fases. En conseqüència, es reflecteix un increment pluviomètric d'aquelles àrees amb una major influència neta de la WeMO a l'hivern: la integritat del País Valencià a excepció de l'interior de València (la Plana d'Utiel i els Serrans), zones del Pirineu Oriental i les Pitiüses (Figures 19 i 23 del capítol 2). Existeix un punt discrepant a la Catalunya Central, a causa probablement de la seva posició en una àrea d'ombra pluviomètrica, Puig-reig, que incrementa quelcom la seva precipitació en regir-se més aviat per la WeMO. En canvi, aquelles àrees més influenciades per l'AO o la NAO pateixen sequera, essent aguditzada en alguns punts de les Terres de Ponent i de l'Alt Pirineu. A Menorca i al nord de Mallorca la reducció de la precipitació també és considerable, mentre a les Pitiüses no hi ha una variació o fins i tot un lleuger increment a Formentera, dibuixant-se la gradació de sud-oest a nord-est. Entre les Muntanyes d'Alacant i de València és on té lloc un major increment pluviomètric, de fet, és on l'AOi té una correlació positiva gairebé significativa a l'hivern (Figura 11), a més d'ésser, una àrea molt influenciada per la fase negativa de la WeMO.

En el conjunt de les quatre fases, s'ha pogut comprovar que el paper de l'AO és essencial quant a la modulació de la WeMO i de la precipitació dels Països Catalans. Quan l'AO presenta un comportament extremadament positiu, afavoreix la formació d'una fase extrema negativa de la WeMO, amb les conseqüents variacions pluviomètriques als Països Catalans, encara que, el forçament de l'AO en la seva fase extrema negativa no és tan evident en la WeMO positiva ni en les pluviometries.

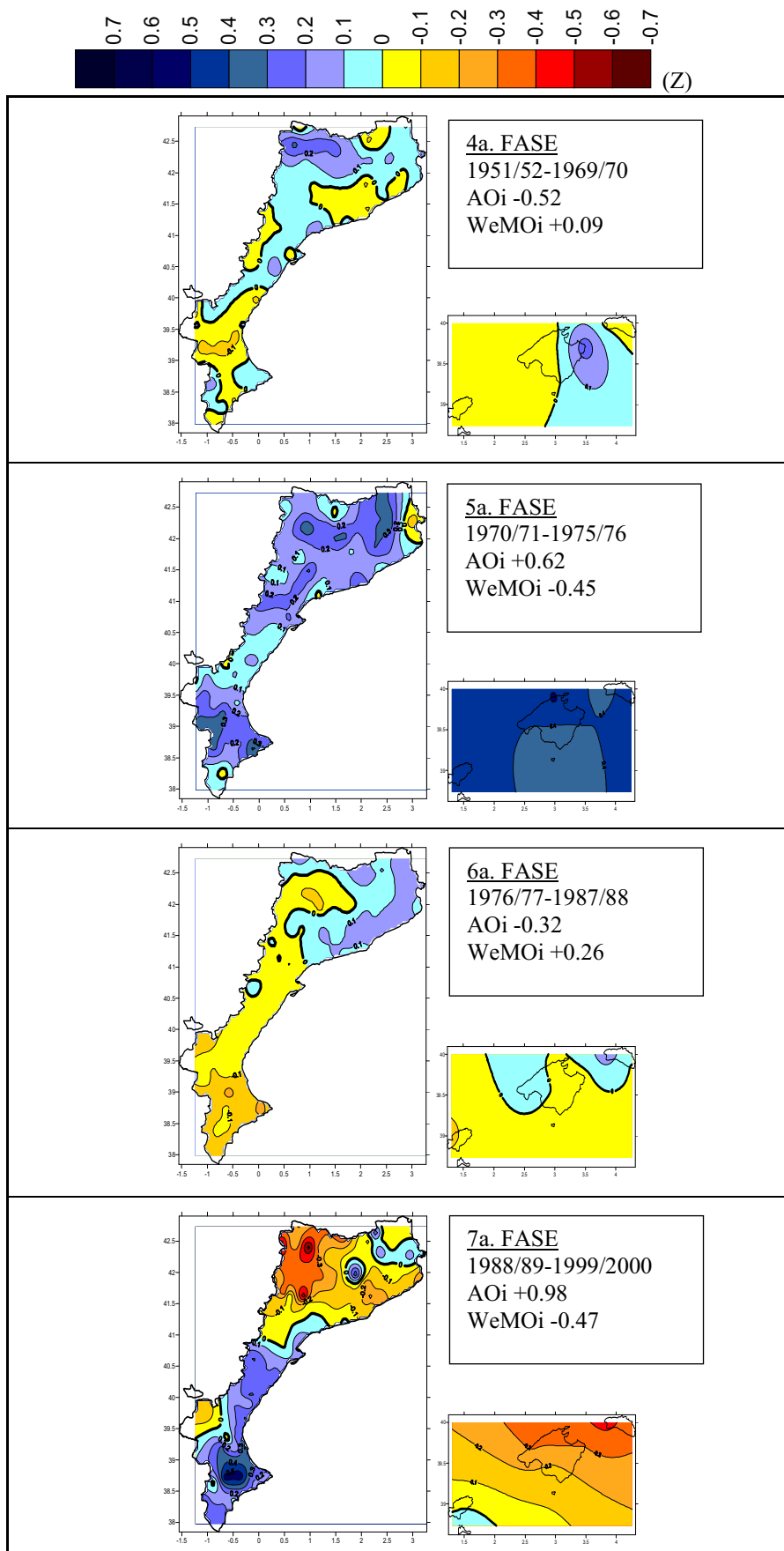


Figura 8. Distribució espacial de les mitjanes dels valors estandarditzats de la pluviometria hivernal (DGFM) dels Països Catalans respecte al període de referència 1961-1990 dels anys compresos dins cada fase considerada de l'AO i de la WeMO de la segona meitat del segle XX. (El valor 0 es representa amb una línia en negreta i correspon a la mitjana pluviomètrica. Es mostren les mitjanes de l'AOi i del WeMOi dels anys de cada fase).

3.2.3.2. Tardor (SON)

Al llarg del segle XX, també es presenten 7 fases oposades entre la WeMO i l'AO a la tardor. El rang de duració temporal de les fases és més irregular, de més de 30 anys a menys de 10 anys (Figura 9). El primer terç de segle és la primera fase i la més llarga, l'AO és negativa i la WeMO positiva, per això en el conjunt del segle la tendència de l'AOi és positiva i significativa, i del WeMOi negativa, encara que no significativa. Durant la segona meitat, quan l'AOi té uns valors més positius, apareix una millor interrelació entre els dos patrons. Als anys 80, té lloc una pulsació extrema positiva de l'AO que es reflecteix en una profunda oscil·lació negativa de la WeMO. És en els anys més extrems de finals d'aquesta dècada quan té lloc una major freqüència i intensitat dels episodis torrencials al País Valencià (Armengot, 2002).

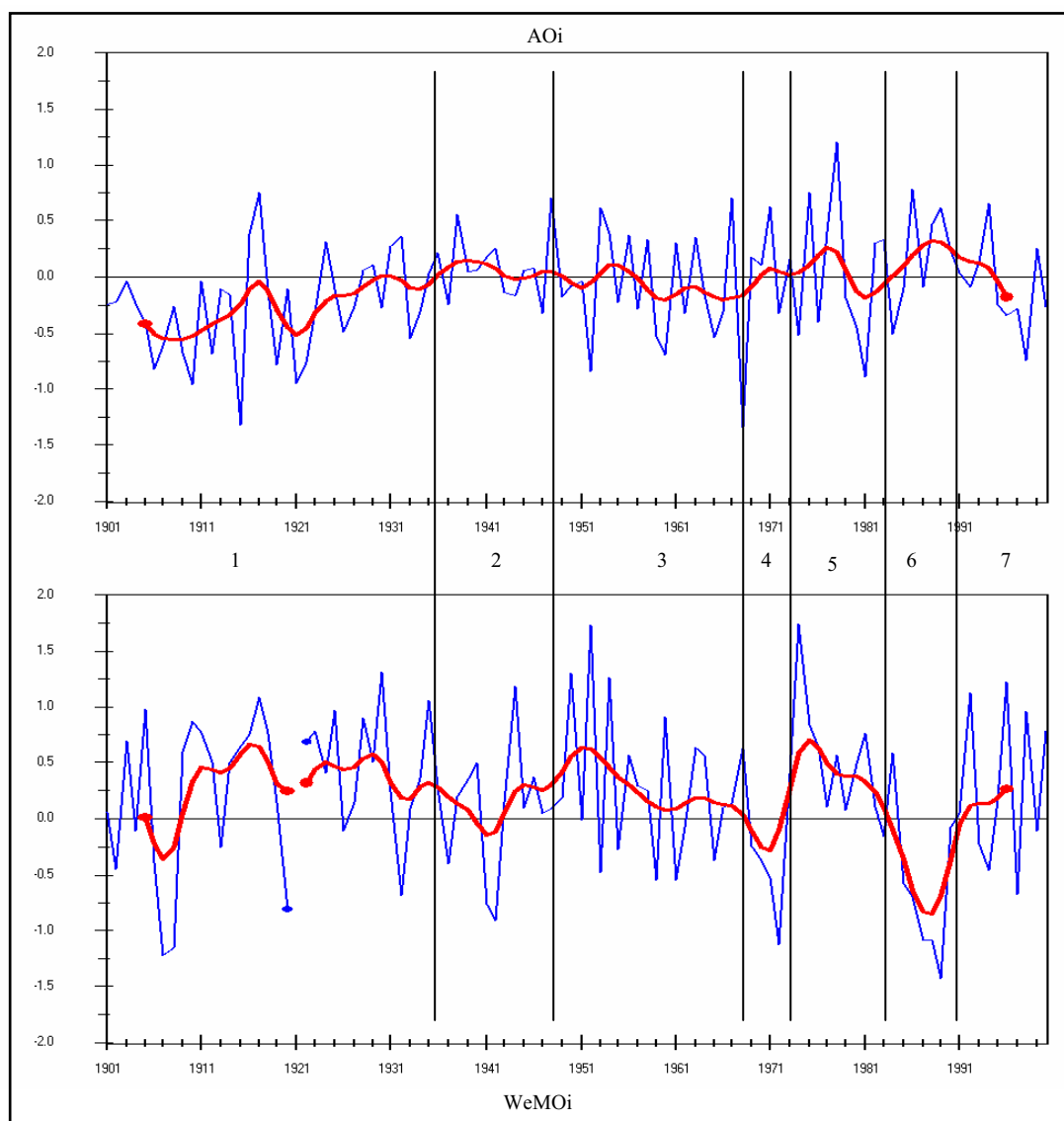


Figura 9. Fases de la WeMO i de l'AO a la tardor (SON) durant el període 1900/01-1999/2000. Filtre gaussià de baix pas, amb un període de longitud d'ona de 10 anys, del WeMOi i de l'AOi.

Les fases de la tardor de la segona meitat del segle XX són 5 (Figura 10):

- 3a. fase, 1951-1968: Aquesta fase no té una precipitació molt distinta de la mitjana 1961-1990. S'explica per uns valors bastant neutres dels índexs. Les precipitacions incrementades notablement al nord de Mallorca no es poden justificar segons aquestes fases dels patrons.

- 4a. fase, 1969-1973: Només són cinc anys, i les fases dels patrons són més pronunciades respecte al període anterior. S'incrementa la pluviometria al País Valencià i a les zones de Catalunya ben correlacionades amb el WeMOi (Figura 19 del capítol 2) en presentar-se una fase negativa del patró de la WeMO. L'Alt Pirineu té una davallada de la precipitació per no correlacionar-se amb el WeMOi, però sí amb l'AOi amb signe negatiu. A la meitat sud de les Illes també s'incrementa la pluviometria.

- 5a. fase, 1974-1984: Una fase extrema positiva de la WeMO dóna lloc a una reducció generalitzada de la pluviometria arreu dels Països Catalans, a excepció, de la Val d'Aran on la pluviometria és afavorida per la fase positiva de la WeMO. Les reduccions més importants tenen lloc al País Valencià, on la WeMO té una major influència en la seva fase negativa. Valero *et al.* (2004) detecten el període de sequera més important de la precipitació tardorenca del segle XX en el conjunt de la Mediterrània Occidental a finals dels anys 70.

- 6a. fase, 1985-1991: Aquest període inferior a una dècada és el més representatiu de tots. Tant l'AO com la WeMO presenten les seves fases oposades més extremes, positiva i negativa, respectivament. En conseqüència, són anys amb un País Valencià anòmalament humit a la tardor per l'alta freqüència d'episodis torrencials (Armengot, 2002). L'any 1987 i 1989 es caracteritzen per l'acumulació dels episodis de precipitació més extrems al País Valencià mai enregistrats instrumentalment abans. Catalunya incrementa lleugerament la precipitació en aquelles zones on la WeMO té una certa influència, sobretot, a les Terres de l'Ebre. Cal comentar que la façana litoral del País Valencià té una correlació positiva significativa amb l'AOi (Figura 12), i, en conseqüència, això també explica l'increment de precipitació. L'àrea on hi ha una reducció pluviomètrica més destacada és a la Val d'Aran, ja que la seva precipitació es correlaciona tant positivament amb el WeMOi (Figura 19 del capítol 2), com de manera negativa amb l'AOi (Figura 12). Les Illes mostren la disposició de sud-oest a nord-est com a resultat de la interacció AO/WeMO, doncs les Pitiüses són les que tenen un augment pluviomètric per la influència que hi exerceix la WeMO en la seva fase negativa (Figura 23 del capítol 2) i òbviament, l'AO en la positiva (Figura 12).

- 7a. fase, 1992-2000: El segle XX finalitza amb una fase positiva de la WeMO i amb una de negativa de l'AO, comportant una davallada pluviomètrica al País Valencià i un augment a l'Alt Pirineu de la Franja i de Lleida. Les Illes romanen sense una variació determinada segons les fases dels patrons.

En el conjunt de les 5 fases, igual que a l'hivern, hi ha una major influència de la WeMO en la pluviometria quan és més negativa, que és quan l'AO és més positiva. Això és palès clarament a la sisena fase.

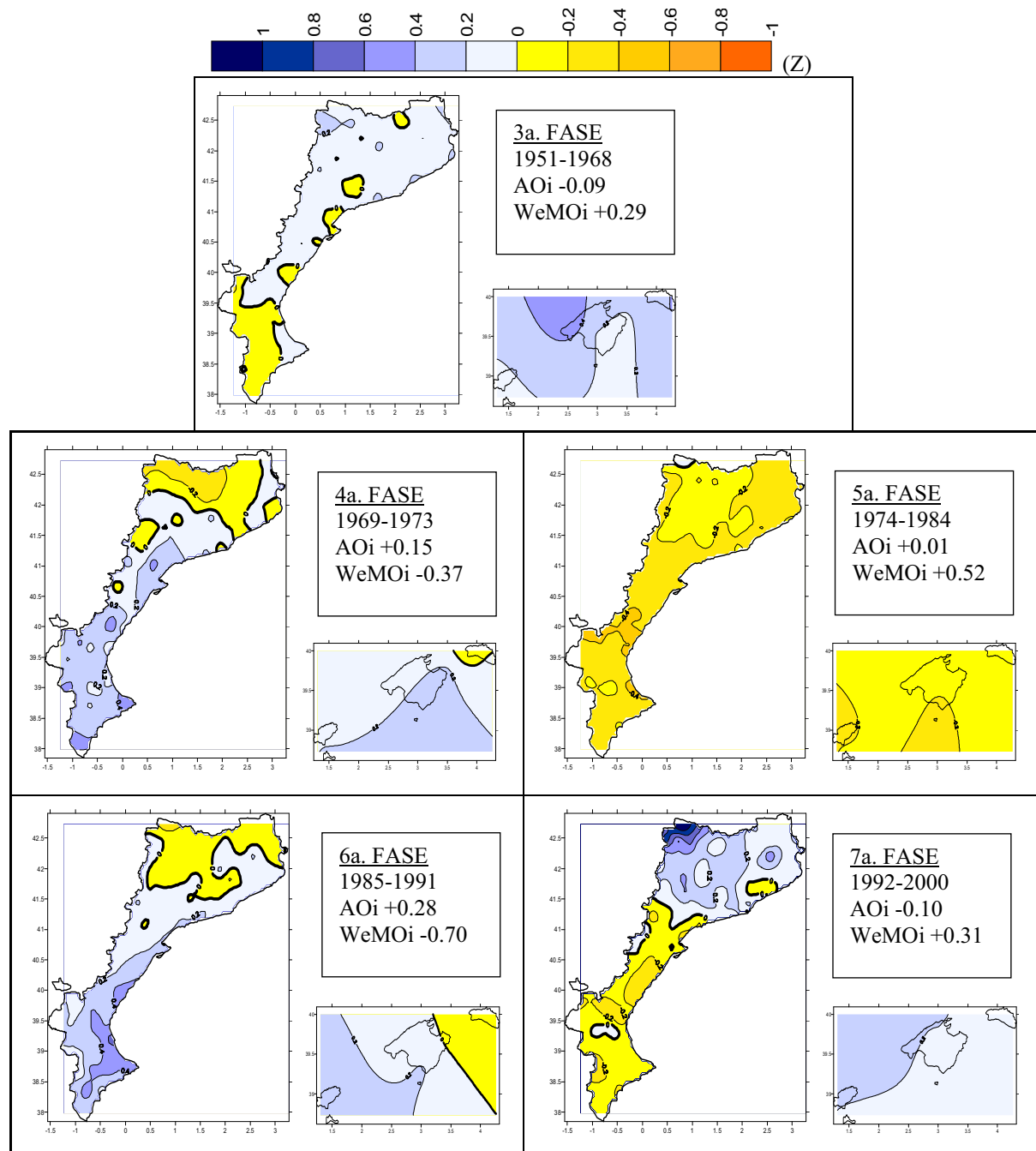


Figura 10. Ídem que Fig. 8, però per a la tardor (SON). (Cal notar que l'escala de colors és distinta de l'usada a la Figura 8 tant en la gamma com en l'interval de valors perquè s'hi representen les mitjanes de 4 mesos en comptes de 3 mesos com es fa per a aquesta Figura 10. A la Figura 8, l'interval de valors de l'escala de colors és més reduït perquè les mitjanes dels valors estandarditzats no siguin molt suavitzades).

3.3. L'AO I LA PLUVIOMETRIA DELS PAÏSOS CATALANS

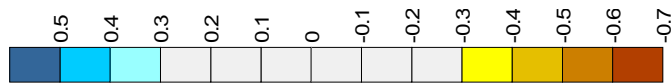
3.3.1. RELACIONS ENTRE L'AO I LA WEMO

L'AO representa la dinàmica atmosfèrica global de l'hemisferi boreal, sobretot, a l'hivern, quan el vòrtex polar es troba més reforçat. Els valors de l'AOi es remunten al 1899; els valors des de 1899 fins al 1957 es basen en les dades descrites per Trenberth i Paolino (1980) i els valors des de 1958 fins a l'actualitat són de reanàlisi de NCEP/NCAR (Thompson i Wallace, 2000).

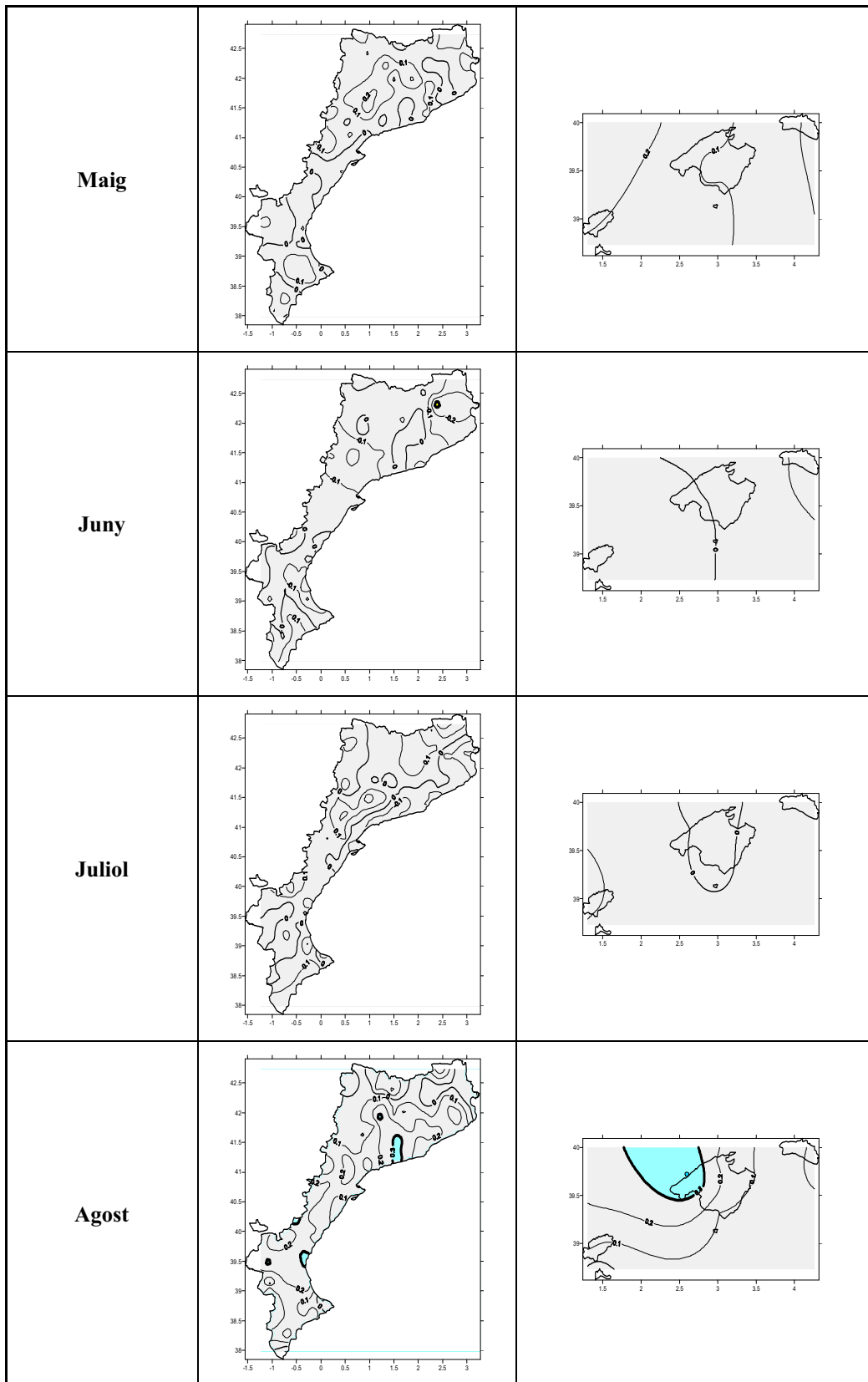
Es dedica una especial atenció a l'AO, en aquesta tesi, per la seva vinculació oposada amb la WeMO (apartat 1.7. del capítol 1) a l'estació hivernal. Les seves fases han estat oposades al llarg del segle XX, sobretot, en la seva segona meitat, quan el vòrtex polar s'ha reforçat des de 1989, coincidint amb l'entrada de la WeMO en una profunda fase negativa a finals del segle XX. Durant les dècades centrals de la passada centúria predominaven els valors negatius de l'AOi, mentre uns de positius del WeMOi (Figura 6). Un primer apunt per explicar aquesta dinàmica oposada és el treball de Querreda Sala (1989), que detectà una elevada correlació entre la gènesi d'episodis de pluja torrencial a l'est de la Península Ibèrica i les anomalies tèrmiques que es registraven en latituds polars de l'Atlàntic Nord. Aquesta relació s'explica per la despresa de baixes circumpolars a les latituds mediterrànies. El comportament circulatori atmosfèric constant del vòrtex polar es correlaciona altament amb anomalies tèrmiques a l'Atlàntic Nord, a l'estació hivernal (Thompson i Wallace, 1998). Aquesta troballa no difereix gaire del discurs de Rossby (1939) en l'estudi del "cicle de l'índex zonal" que actualment s'anomena "mode anular".

3.3.2. CORRELACIONS ENTRE L'AOI I LA PLUVIOMETRIA DELS PAÏSOS CATALANS

A continuació s'exposen les correlacions entre la pluvimetria dels Països Catalans i l'AOi per mesos (Figura 11) i per estacions, semestres i anualment (Figura 12). Tot i la proximitat existent entre la NAO i l'AO, es demostra en els següents mapes com les seves influències en la pluvimetria de l'àrea d'estudi són bastant diferents.



AOi 1951-2000	Països Catalans continentals	Illes Balears
Gener		
Febrer		
Març		
Abril		



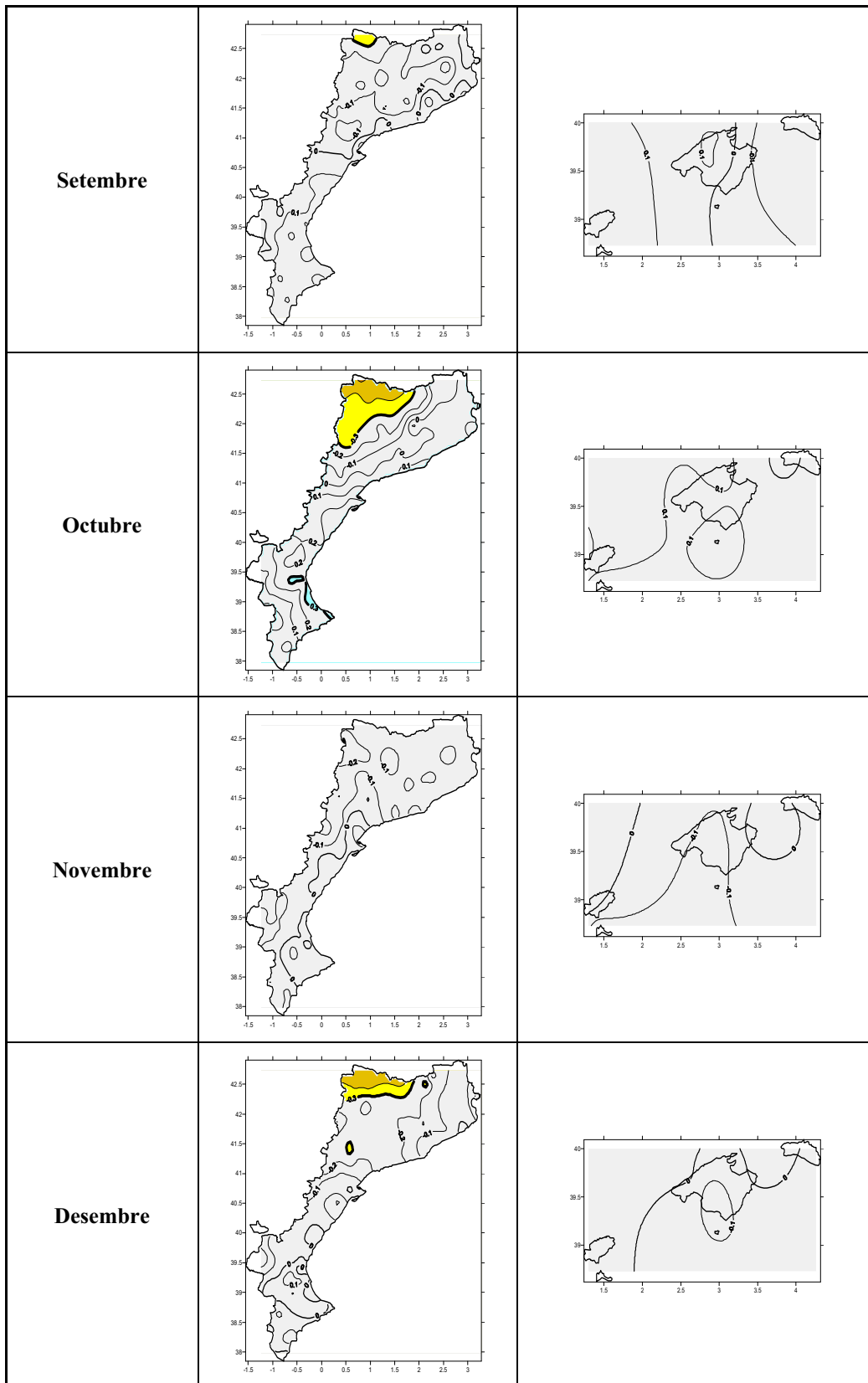


Figura 11. Coeficients de correlació de Pearson entre l'AOi i la pluviometria dels Països Catalans per a cada mes durant el període 1951-2000. (Les àrees de color són significatives al 95% del nivell de confiança).

El mes de gener és quan l'AO té una major influència en la pluviometria dels Països Catalans, tant en intensitat com en extensió. Es limita a la meitat occidental de Catalunya, la Franja de Ponent i l'interior del País Valencià en la seva fase negativa. Altres mesos amb alguna de les àrees descrites correlacionades significativa i negativament amb l'AOi són el febrer, març, setembre, octubre i desembre. Aquests dos últims amb significació superior al 0.01 ($r < -0.4$) a l'Alt Pirineu Occidental. L'AO també té influència en la seva fase positiva, però més dèbil. Aquesta relació contrària és màxima en el mes de febrer a la Catalunya Nord i a la costa nord dels Tarongers, però en altres mesos també hi apareix en diferents punts del litoral dels Països Catalans, com en els mesos d'abril, agost i octubre. Gener i febrer en aquesta anàlisi són dos mesos de contrast: el gener obté la millor relació amb la NAO, però també és el que té una correspondència més satisfactòria negativa amb l'AO; i el febrer és el mes que sustenta una millor relació negativa amb la WeMO, però també és el que té la correlació més significativa en signe positiu amb l'AOi. En el conjunt de les Illes Balears només apareix una certa influència positiva de l'AO a Mallorca en els mesos d'abril i agost.

La relació WeMO/AO recau en la similitud entre aquests mapes de correlacions de la pluviometria dels Països Catalans amb l'AOi i els de les diferències absolutes dels coeficients de correlació del WeMOi i del NAOi amb aquesta mateixa pluviometria dels Països Catalans (Figura 18 del capítol 2). El mes de febrer és un clar exemple, les àrees més influenciades per la WeMO per sobre de la NAO són la Catalunya Nord i Castelló, que són precisament les àrees que tenen una correlació positiva amb l'AOi. Aquesta semblança és gairebé present en tots els mesos, encara que la majoria no tinguin una relació significativa amb l'AOi.

La franja litoral i prelitoral de l'àrea d'estudi es correlaciona positivament amb l'AOi en el mes d'octubre, quan la WeMO és gairebé ininterrompudament dominant al llarg de tota la façana litoral, no obstant, els màxims d'ambdós mapes no coincideixen. Cal recordar que l'oscil·lació oposada entre ambdós índexs al llarg de la segona meitat del segle XX es dona principalment en el conjunt de les estacions de l'hivern i de la tardor (Taula 3). En canvi, aquelles àrees que es correlacionen més negativament amb el NAOi (Figura 18 del capítol 2) són les que ara estan sota el domini de l'AO en la seva fase negativa; és el cas de la majoria dels mesos d'hivern. Es tracta també d'aquelles zones on la influència de la WeMO és pràcticament nul·la, que es reflecteix amb valors negatius en els mapes de diferències absolutes dels coeficients obtinguts amb el NAOi i el WeMOi. Òbviament, la Val d'Aran obté una relació negativa significativa amb l'AOi, fet que no succeïa amb el NAOi, en aquells mesos quan la seva correlació és elevada positiva amb el WeMOi; clars exemples en són el setembre, l'octubre i el desembre.

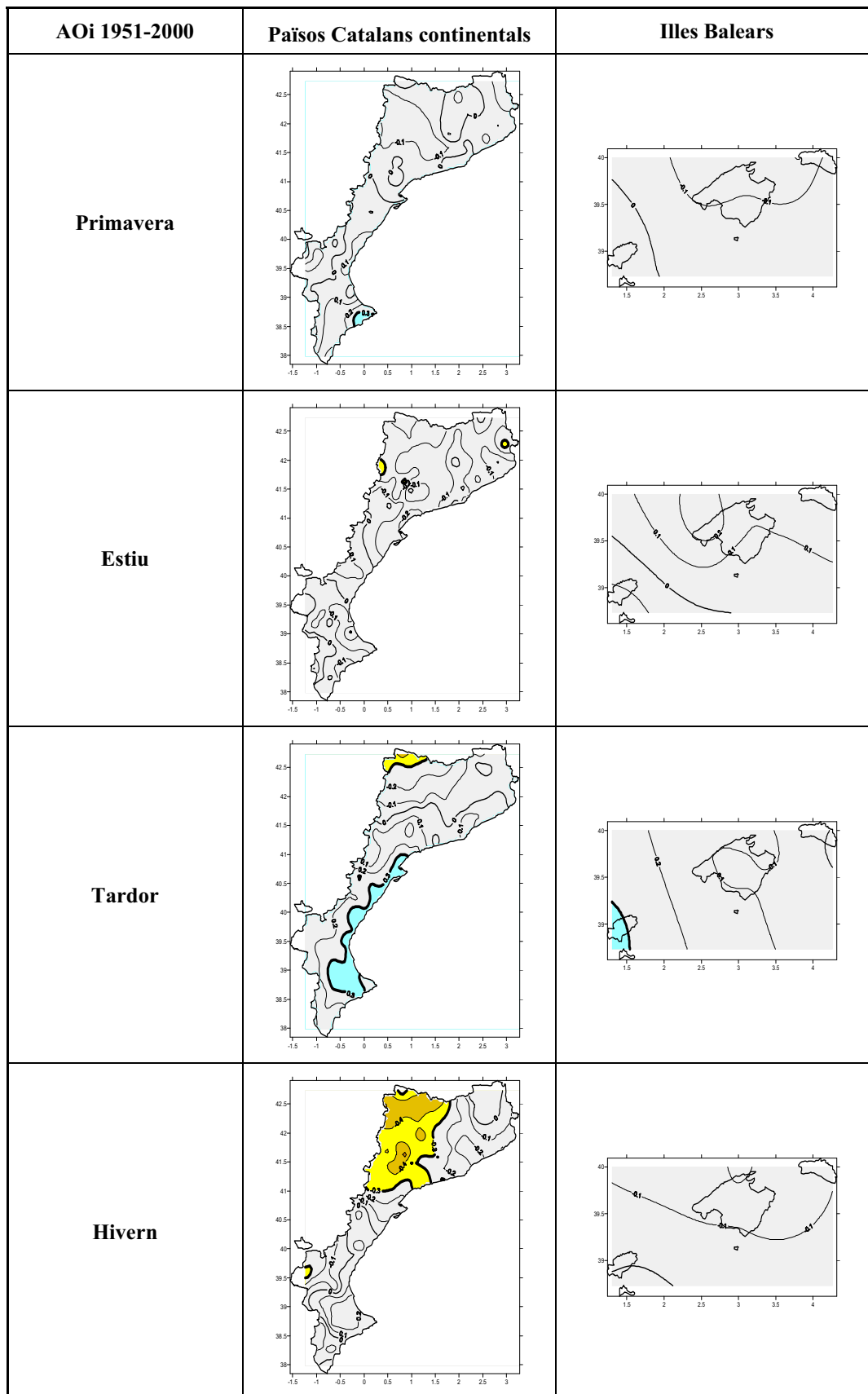
Els resultats es realcen si es passa a analitzar les correlacions estacionals i semestrals. En el conjunt de la primavera, l'AOi té una relació positiva significativa només a la Marina Baixa, l'única àrea on el WeMO té clarament un major pes que la NAO. A l'estiu no se'n treuen conclusions, ja que l'AO tampoc té influència sobre la pluviometria dels Països Catalans. La tardor té coincidències en dues àrees. Una primera extensa, conformada per tota la Costa dels Tarongers, el Delta de l'Ebre i les Muntanyes d'Alacant-València, és on l'AOi s'hi correlaciona significativa i positivament i la diferència absoluta neta entre els coeficients de les correlacions del WeMOi i NAOi és més elevada. Una segona reduïda, la Val d'Aran i rodalies, es correlaciona negativa i significativament amb l'AOi, i és on la WeMO té més pes que la NAO pel paper d'influència en la seva fase positiva. Finalment, a l'estació hivernal, és a la Conca del Segre, a un tram reduït de la Costa Daurada i al reducte més continental del País Valencià on l'AOi té una relació satisfactòriament negativa que coincideix amb la zona on la NAO té un domini àmpliament per sobre de la WeMO. A les Muntanyes d'Alacant-València i a la zona de les comarques del nord de Girona i de la Catalunya Nord, l'AOi hi té una correlació positiva amb la precipitació hivernal, molt propera a la significació a les muntanyes esmentades, ja que són àrees on el paper de la WeMO és més important que el de la NAO.

Mentre que en el semestre càlid el paper de l'AOi és nul, en el semestre fred, l'AO té una doble influència en la pluviometria dels Països Catalans continentals. Durant el semestre fred es repeteixen uns resultats similars als aconseguits a l'estació hivernal, però es realça la seva influència en la seva fase positiva a les terres del sud del Golf de València. Algunes zones són coincidents, per exemple, les Terres de Ponent són on la NAO té un major pes, i la costa sud dels Tarongers, on la WeMO és predominant. Les comarques de transició de Girona a Perpinyà esmorteixen la seva relació positiva amb l'AOi durant el semestre fred, per un major pes, que durant l'hivern, de la NAO per sobre de la WeMO a la zona. La precipitació de la Val d'Aran no apareix amb una relació negativa significativa amb l'AOi, tot i tenir una relació positiva amb el WeMOi.

Anualment, als Països Catalans continentals els resultats obtinguts són els del semestre fred, però debilitats per la inclusió del semestre càlid. El mateix succeïa amb els mapes de correlació anuals del WeMOi i del NAOi. A les Illes no es dedueix cap relació definida.

En el conjunt de les Illes Balears, el paper de l'AO és quasi nul. Només a la tardor, a les Pitiüses, l'AOi s'hi correlaciona positivament, zona on el WeMOi té una correlació significativa i negativa. La semblança entre els mapes de diferències absolutes del NAOi i el WeMOi, i els de correlacions amb l'AOi es debilita, respecte als mapes dels Països Catalans continentals. Tot i així, es conserva la distribució de sud-oest a nord-est en el quadrant balear

tant en el semestre fred com a l'hivern, amb uns coeficients positius amb l'AOi a les Pitiüses que passen gradualment a negatius a Mallorca i Menorca.



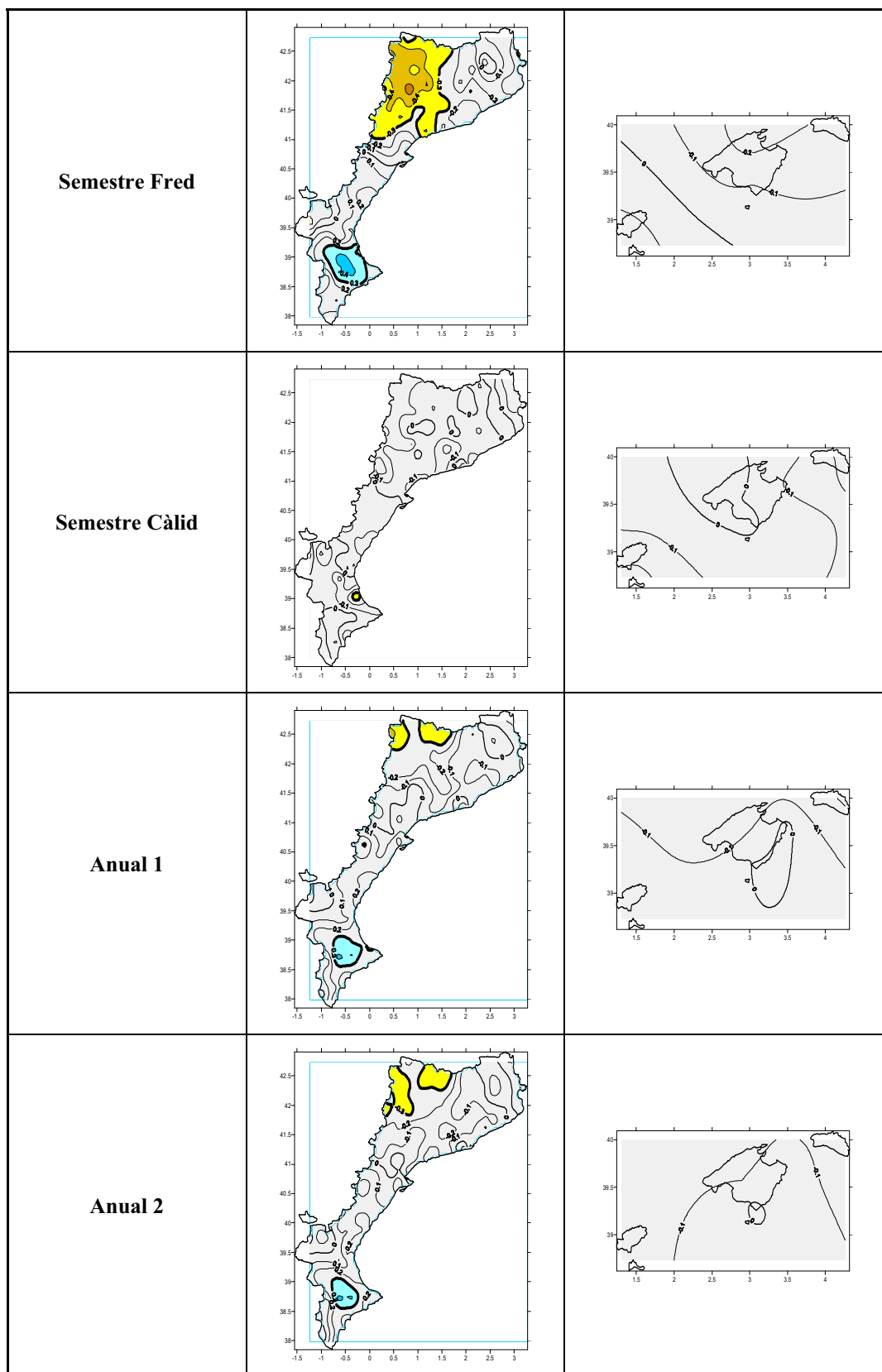


Figura 12. Ídem que Fig. 11, però per estacions, semestres i ambdues bases anuals.

En el conjunt de la integritat dels Països Catalans, les àrees que augmenten la seva pluviometria sota la fase positiva de l'AO són aquelles on la WeMO té una influència superior a la de la NAO en les seves respectives fases negatives. Aquestes àrees són precisament les que es definiren en el seu moment, en l'apartat 2.6.3. del capítol 2, com les àrees estrictament més mediterrànies per la seva orientació est. Wallace (2000) dedueix una disminució de la precipitació en el conjunt de la Península Ibèrica en les fases més positives de l'AO, a excepció de les terres més aixoplugades de l'Atlàntic, el litoral dels Països Catalans, sobretot, en el seu extrem meridional (Figura 13). L'AO i la NAO influeixen de diferent mode: la NAO té unes relacions negatives més estables que l'AO en el conjunt dels Països Catalans, però l'AO és el patró que estableix un lligam en la seva fase positiva (País Valencià) o negativa (Val d'Aran) en aquelles àrees on la influència de la NAO és indefinida o nul·la.

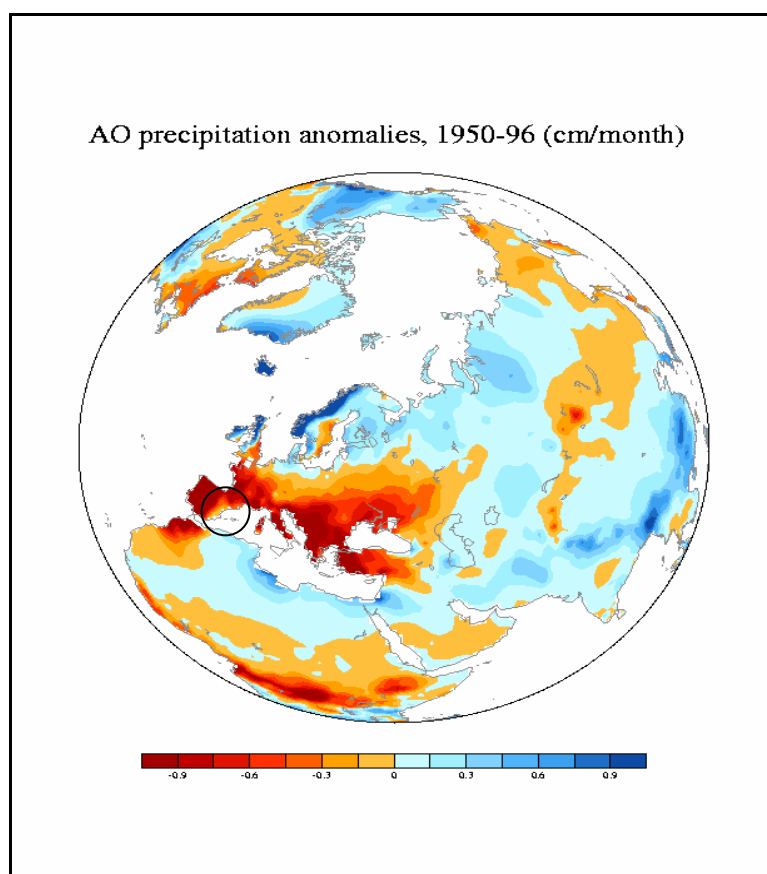


Figura 13. Anomalies de precipitació global segons l'AO en el període 1950-1996. El signe del mapa d'anomalies és consistent amb la fase positiva de l'AO (Wallace, 2000). El cercle negre assenyalava l'àrea d'estudi.

3.3.3. LES SIMILITUDS ENTRE L'AO I LES DIFERÈNCIES ABSOLUTES DE LES CORRELACIONS DEL WEMOI I EL NAOI AMB LA PLUVIOMETRIA DELS PAÏSOS CATALANS

Per il·lustrar la semblança entre el mapa de correlacions obtingut amb l'AOi i el de diferències dels valors absoluts dels coeficients de correlació obtinguts amb el WeMOi i el NAOi, s'han escollit la tardor i el semestre fred, on es detecta una influència significativa de l'AO en doble sentit (Figura 14). A la tardor, la isolínia 0.3 de l'AOi s'ajusta aproximadament a la línia 0.4 de diferències absolutes entre el WeMOi i el NAOi. A més, la WeMO explica millor que la NAO el comportament pluviomètric de la Val d'Aran en la seva fase positiva, que es reflecteix amb una correlació negativa de l'AOi, -0.44. Un dels punts amb una correlació positiva més elevada amb l'AOi és al litoral del País Valencià, al Pantà de Benadressa (la Plana Alta) amb un coeficient de +0.38. La correlació entre aquest punt i Vielha (la Val d'Aran) és oposada significativa al 0.01 (-0.39).

En el semestre fred, les correlacions més negatives s'ubiquen a les Terres de Ponent, zona delimitada per la influència de la NAO, àmpliament per sobre de la WeMO. Aquelles zones del sud del Golf de València sota el domini exclusiu de la WeMO, l'AOi s'hi correlaciona positivament. Si s'escullen dos observatoris que es correlacionin oposadament amb l'AOi, Pantà de Sant Llorenç (la Noguera) (-0.55) i Gorga (el Comtat) (+0.41), la seva pluviometria és oposada al 99.0% del nivell de confiança (-0.35).

A la Taula 3, es comprova que l'AOi no té una tendència definida a la tardor en el període 1951-2000, però en el semestre fred en té una de positiva significativa. En conseqüència, en aquesta meitat freda de l'any, el Pantà de Sant Llorenç té una tendència significativa negativa i Gorga una de positiva, però no significativa. No obstant, Banyeres de Mariola, un punt d'estudi de la comarca veïna, l'Alcoià, sí que té un augment pluviomètric significatiu (Figura 17).

Aquesta similitud entre l'AOi i la diferència dels valors absoluts del WeMOi i del NAOi ja es constata en l'apartat 2.1 del capítol 2. Per convèncer que la similitud entre aquesta distribució de coeficients no és fruit de l'alta correlació entre l'AOi i el NAOi, es compara amb la similitud entre aquestes diferències absolutes amb els coeficients obtinguts amb el NAOi. La seva correlació és més reduïda en totes les estacions, semestres i anualment, a excepció de l'estiu i del semestre càlid (Taula 5). D'aquest mode, s'evidencia que existeix una relació negativa entre la WeMO i l'AO, i que la NAO juga un paper a cavall d'ambdós patrons. El NAOi es correlaciona molt positivament amb l'AOi i positiva o nul·lament amb el WeMOi segons el període de l'any (Taula 3). A l'estiu i al semestre càlid, hi ha una major similitud amb la distribució dels coeficients obtinguts amb el NAOi (amb signe distint), però

cal recordar que en aquest període de l'any la relació oposada entre la WeMO i l'AO es troba debilitada, i que la precipitació dels Països Catalans no és explicada, en general, per cap patró. Les màximes correlacions oposades entre l'AOi i el WeMOi tenen lloc on la WeMO és màxima relativament (quan supera en escreix la NAO) i no on la WeMO és màxima absolutament. Es tracta d'una percepció visual geogràfica que es basa en intuir fenòmens, influències i relacions entre dues variables, mitjançant la distribució espacial de les correlacions, quant al seu signe més que quant a la seva significació.

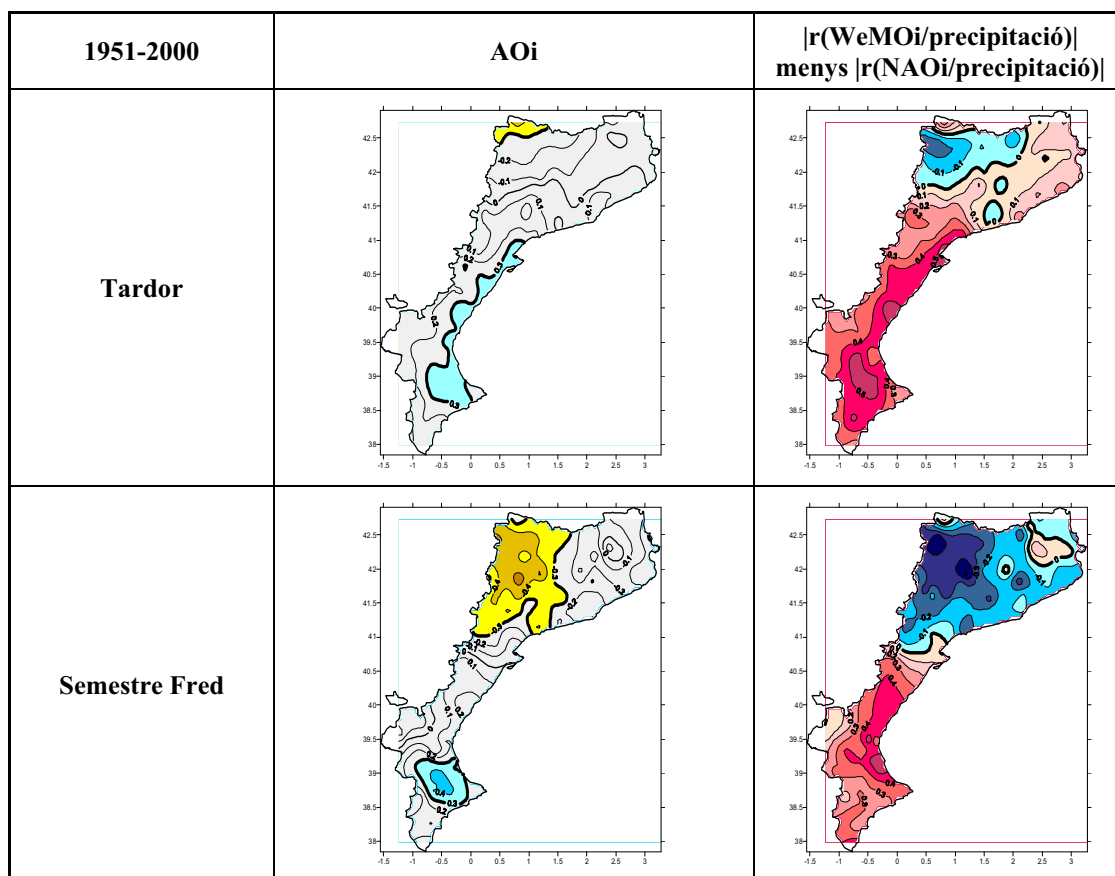


Figura 14. Semblança entre el mapa de correlacions de l'AOi/precipitació i el de les diferències dels valors absoluts dels coeficients entre el WeMOi i el NAOi i la precipitació als Països Catalans continentals durant el període 1951-2000. Les respectives escales de color són les de la Figura 11 d'aquest mateix capítol i de la Figura 18 del capítol 2.

1951-2000	$R \frac{ r(\text{WeMOi}/\text{precipitació}) - r(\text{NAOi}/\text{precipitació}) }{(r \text{ NAOi-precipitació})}$	$R \frac{ r(\text{WeMOi}/\text{precipitació}) - r(\text{NAOi}/\text{precipitació}) }{(r \text{ AOi-precipitació})}$
Primavera	+0.51	+0.67
Estiu	-0.57	-0.02
Tardor	+0.43	+0.82
Hivern	+0.85	+0.93
Semestre fred	+0.86	+0.92
Semestre càlid	+0.41	+0.19
Anual 1	+0.62	+0.82
Anual 2	+0.69	+0.79

Taula 5. Correlació entre els valors de “ $|r(\text{WeMOi}/\text{precipitació})|$ - $|r(\text{NAOi}/\text{precipitació})|$ ” i els valors de les correlacions de “NAOi-precipitació” i “AOi-precipitació”, durant el període 1951-2000. S'usen tots els observatoris de l'àrea d'estudi.

En aquestes correlacions s'han usat els 124 punts d'observació. Tot i que els resultats són satisfactoris, podrien millorar-se si s'excloués Vielha, que és un punt d'estudi on la seva precipitació està més influïda per la WeMO en la seva fase positiva, que no pas per la NAO en la seva fase negativa, i les Illes Balears que obtenen unes similituds més febles de les distribucions dels valors per una manca de correlació de la seva pluviometria amb l'AOi.

3.3.4. LA PLUVIOMETRIA DELS PAÏSOS CATALANS EN LES FASES EXTREMES DE L'AO

S'analitzen els valors extrems de l'AOi en les estacions on té una major variabilitat i influència en la pluviometria dels Països Catalans, l'hivern (DGFM) i la tardor (SON). El llindar, com en els altres patrons, per establir els valors extrems a la tardor és /0.75/, i /0.65/ en el cas de l'hivern perquè el constitueixen 4 mesos en la seva versió llarga i l'índex s'atenua.

En els hiverns amb AOi extrem positiu (Figura 15), s'incrementa la pluviometria del País Valencià, sobretot, a les Muntanyes d'Alacant-València. Als Pirineus lleidatans i en general a les Terres de Ponent, on l'AO exerceix efecte en la seva fase negativa és on les reduccions pluviomètriques són més destacades. Un mapa similar, però a la inversa, és el que es dedueix en els hiverns amb un AOi pronunciadament negatiu, tot i que les reduccions no són molt destacades al País Valencià. La Catalunya Nord té una correlació positiva amb l'AOi, encara que no significativa, que comporta una variació pluviomètrica similar a la del País Valencià, però esmorteïda. A les Illes Balears, la influència de l'AO no és significativa, no obstant, en aquelles àrees del nord que es correlacionen negativament amb l'AOi, però sense significació, tenen una reducció de la precipitació en els hiverns amb valors extrems.

A la tardor, la precipitació de la majoria del territori dels Països Catalans es correlaciona positivament amb l'AOi, essent significativa al litoral del País Valencià i a les Pitiüses (Figura 14). En conseqüència, en els casos negatius del patró hi ha una reducció generalitzada de la precipitació, sense excepció, arreu dels Països Catalans, essent més aguda, lògicament, al País Valencià. La Val d'Aran també té una disminució, tot i correlacionar-se significativa i negativament amb l'AOi. En canvi, en els casos positius, hi ha un increment destacat només en l'àrea més ben correlacionada positivament, el sud del País Valencià; doncs, l'augment és considerable en alguns punts dins aquesta zona. Les Illes Balears tenen un increment de la precipitació en la seva meitat occidental, tot i que no és a les Pitiüses on es donen els màxims (Figura 15).

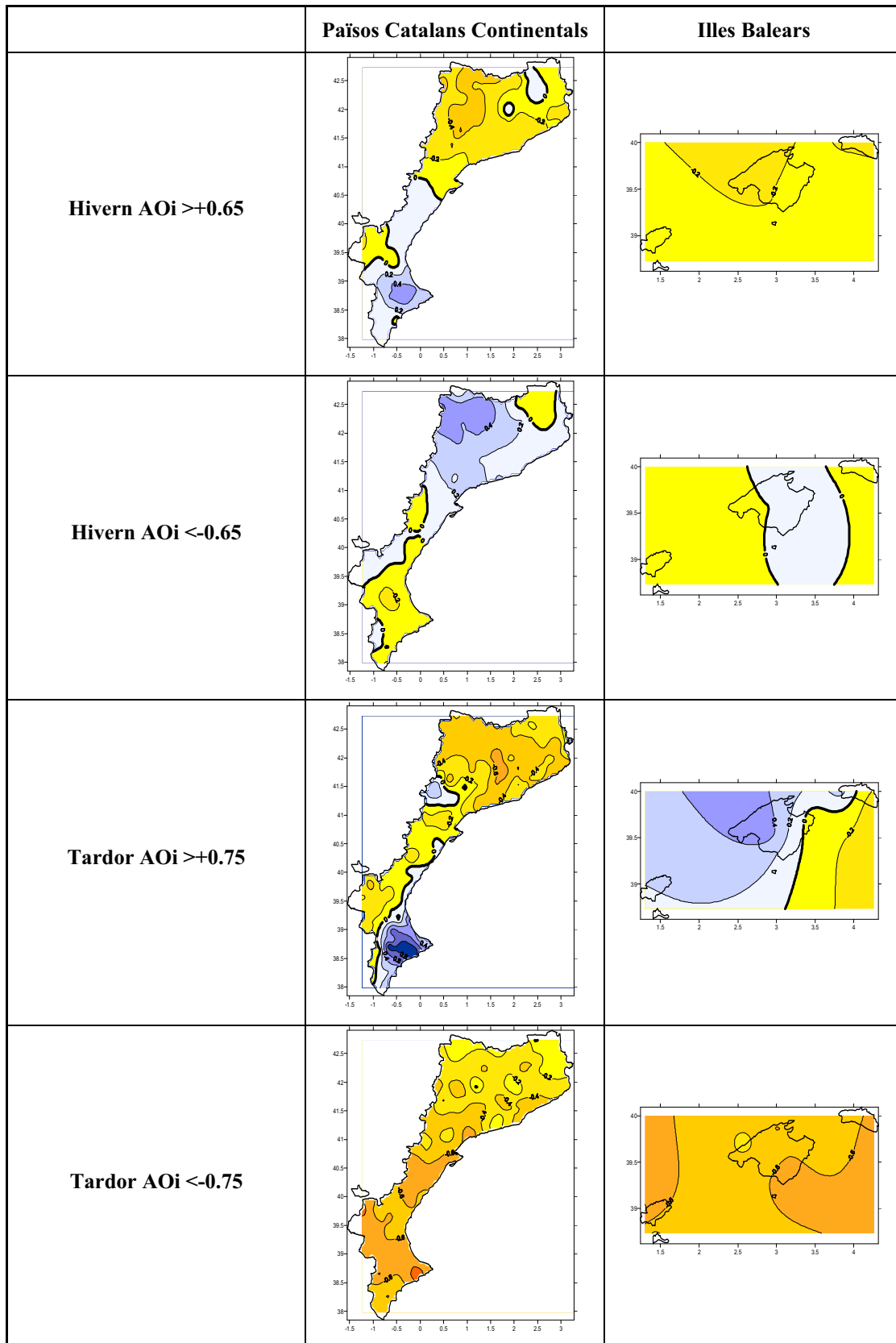
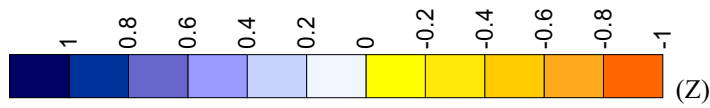


Figura 15. Pluviometries dels Països Catalans en mitjanes dels valors estandaritzats dels mesos de cada estació, segons el període de referència 1961-1990, en anys amb valors extrems positius i negatius de l'AOi per a les estacions d'hivern (DGFM) i tardor (SON) del període 1951-2000. (El valor 0 es traça amb una línia en negra i correspon a la mitjana pluviomètrica del període de referència 1961-1990).

3.4. ANÀLISI DE TENDÈNCIES DE LA PLUVIOMETRIA DELS PAÏSOS CATALANS (1951-2000)

Es pretén justificar com ha evolucionat la precipitació a les diferents àrees dels Països Catalans durant la segona meitat del segle XX a partir de les tendències dels valors dels índexs dels diferents patrons que s'han estudiat. El WeMOi, el NAOi i l'AOi han demostrat tenir una modulació significativa en la pluvimetria dels Països Catalans, i per tant, ens interessa l'alternança de les seves fases en el temps.

A partir de la Taula 3, s'esbrina quines àrees tenen un increment o davallada pluviomètrica segons la WeMO (Figures 16 i 17). S'analitza per a cada mes, estació i semestre, i anualment. Quan es fa referència a la correlació del WeMOi o el NAOi i la pluvimetria dels Països Catalans cal visualitzar les Figures 18 i 19 del capítol 2; i amb l'AOi (Figures 11 i 12). Les tendències es calculen amb els valors estandarditzats de les sèries pluviomètriques segons el període 1961-1990, amb la finalitat d'homogeneitzar la representació espacial dels resultats.

Gener: El WeMOi té una tendència significativa i negativa. En conseqüència, la major part del territori dels Països Catalans té un increment pluviomètric. La zona més extensa amb un increment significatiu són les Muntanyes de Castelló, àrea on el WeMOi assoleix una correlació més elevada amb la pluvimetria dels Països Catalans ($r < -0.50$). Altres àrees amb un increment significatiu de la precipitació són el Pirineu Oriental i l'interior de València, les quals estan significativa i negativament correlacionades amb el WeMOi en la seva major part. Norrant i Douguédroit (2006) també detecten en aquest mes un augment significatiu de la precipitació, sobretot de tipus torrencial (episodis de precipitació en 24 h que superen el 95è. percentil), a la franja oriental de la Península Ibèrica durant la segona meitat del segle XX. A les Illes Balears, a Capdepera és on té lloc una reducció significativa; és l'únic enclavament on el WeMOi té una certa correlació positiva amb la precipitació, tot i que aquesta dista molt de la significació. Les reduccions pluviomètriques més notables en el territori continental, però no significatives, tenen lloc a l'Alt Vinalopó i al Vinalopó Mitjà, coincidint amb l'àrea del País Valencià on la correlació amb el WeMOi és quasi nul·la.

Febrer: Les zones interiors de Catalunya i del País Valencià, i Artà i el Cap de Formentor a Mallorca tenen una minva de precipitació. Són els sectors que es correlacionen negativa i significativament amb el NAOi. El NAOi té un augment molt significatiu a la segona meitat del segle XX. Les reduccions més significatives són a l'interior de Catalunya, on el NAOi aconsegueix una major extensió significativa. D'altra banda, les àrees més ben correlacionades amb el WeMOi, el País Valencià i les comarques gironines i dels Pirineus

Oriental, és on hi ha una reducció més moderada o estable, car l'índex no mostra una tendència clara. Fins i tot, hi ha augments de precipitació notables a les comarques de les muntanyes a cavall d'Alacant i València (l'Alcoià, el Comtat i la Vall d'Albaida). Aquestes comarques es correlacionen positivament amb l'AOi a l'hivern, ja que es troben dins el context geogràfic del sud-est peninsular (Figura 7 del capítol 2) (Lopez-Bustins *et al.*, 2006). L'AOi també té un increment molt significatiu al febrer.

Març: El paper del WeMOi és nul en quant a tendències. Les àrees sota la seva influència, el sud de Catalunya i el País Valencià, a excepció de l'interior, no varien gaire la seva precipitació. El NAOi i l'AOi tenen un augment notable, i significatiu en el cas del NAOi. El Pirineu lleidatà i de la Franja és on aquests dos patrons tenen un domini més important, doncs, la conjunció dels dos donen lloc a un decreixement molt significatiu de la precipitació en aquesta àrea. Les comarques de l'interior de València, la Plana d'Utiel i els Serrans, tenen un cert declivi pluviomètric per tenir una correlació negativa amb el NAOi. A les Illes també es donen reduccions significatives en distints punts de Mallorca i oest de Menorca per estar sota el domini de la NAO. L'increment del NAOi en el mes de març s'ha determinat com la causa principal de la important reducció pluviomètrica de la major part de la Península Ibèrica en aquest mes (Paredes *et al.*, 2006), però cal aprofundir en la recerca de la causa. El reforçament del vòrtex polar en el mes de març, per un refredament de l'estratosfera polar a l'hivern tardà, podria ser clau (López-Bustins, 2006).

Abril: No hi ha variacions notables en la pluviometria. Només es dona una reducció significativa a l'extrem meridional dels Països Catalans, al Camp d'Alacant i al Baix Segura. La causa no es pot atribuir a cap dels patrons, ja sigui per la seva quasi nul·la correlació amb la precipitació d'aquesta àrea, com per la no tendència definida dels patrons. D'altra banda, hi ha un lleuger increment pluviomètric a la meitat nord dels Països Catalans continentals en estar negativament correlacionada la seva precipitació amb el NAOi. El NAOi és l'únic patró que té una certa tendència de caràcter negatiu, encara que no significativa.

Maig: Les tendències pluviomètriques són variades però modestes. L'Alacantí és l'única àrea que es correlaciona significativament amb el WeMOi amb signe negatiu. Mentre el NAOi i l'AOi no tenen variacions notables, el WeMOi té una davallada significativa que es reflecteix en un increment pluviomètric al Camp i a les Muntanyes d'Alacant. A la meitat nord de Catalunya, hi ha un cert augment pluviomètric, fins i tot significatiu a l'Alta Cerdanya, que no està relacionat amb la variabilitat dels patrons.

Juny, juliol i agost: El paper dels patrons és nul en les tendències de la pluviometria dels Països Catalans en no tenir-hi correlació. En general, es detecta una reducció de la precipitació arreu dels Països Catalans en els tres mesos. Les disminucions són significatives al juny, en

alguns indrets localitzats del Pirineu i Prepirineu lleidatà i de la Franja de Ponent, en alguns punts del Camp de Tarragona i del Baix Xúquer; al juliol, en diferents punts de la Catalunya Nord i Sud, de la Franja i dels Ports de Castelló; a l'agost només en algun punt del Pla de Lleida i del Pirineu de Girona. En el mes de juliol, hi ha certs increments a la meitat sud del País Valencià, i a l'agost en alguns punts de Catalunya. Les Illes no tenen tendències de precipitació significatives, però hi ha un predomini d'una davallada, sobretot, en el mes de juny.

Setembre: Els patrons no tenen una tendència definida. Les anàlisis indiquen uns Països Catalans, en general, més secs però sense resultats significatius. No obstant, al sud del Golf de València i a Eivissa té lloc un increment pluviomètric significatiu.

Octubre: El litoral dels Països Catalans i les Illes tenen una reducció pluviomètrica que és significativa al Camp d'Alacant, a Menorca i al nord de Mallorca. La seva causa no és atribuïble a cap patró ja que ni la pluviometria d'Alacant ni de les Illes es correlaciona amb cap d'ells. El NAOi és l'únic índex amb una certa tendència, però no significativa, de caràcter negatiu. La correlació del NAOi amb la precipitació és significativa a l'interior de Catalunya, i això, podria explicar per què és l'única àrea, on no hi ha una davallada de la pluviometria.

Novembre: Estabilitat generalitzada, tant dels patrons com de les pluviometries. Només el nord-oest de Mallorca té certa reducció pluviomètrica, però no significativa.

Desembre: Sense variacions destacades, ni en els patrons ni en les pluviometries, igual que en el mes de novembre. Tot i així, es pot endevinar un cert increment pluviomètric en aquelles zones dels Països Continentals on la WeMO té una major influència, en presentar el seu índex una tendència negativa encara que no significativa: Golf de València, Catalunya Central, demarcació de Girona i el sud de Mallorca.

Primavera: Saladié *et al.* (2006) detecten un descens de la pluviometria al llarg del segle XX a Catalunya. En les anàlisis d'aquesta tesi també es detecta amb reduccions significatives al Pirineu i Prepirineu lleidatà. La disminució també és palesa a la resta dels Països Catalans, amb punts significatius al sud del Golf de València i a l'est de Mallorca. En aquesta època de l'any, els Països Catalans, es troben sota el domini de la NAO, però la tendència del NAOi és nul·la. Així doncs, aquesta minva general de la precipitació primaveral arreu dels Països Catalans només pot ser un reflex de l'augment de l'AOi en aquesta estació i de la forta davallada pluviomètrica que té lloc al mes de març per un augment significatiu del NAOi en aquest mes.

Estiu: Reducció pluviomètrica generalitzada arreu dels Països Catalans, a excepció de la Costa Brava i de les Muntanyes d'Alacant, i moderada a les Illes (màxima a les Pitiüses). Hi ha un decreixement pluviomètric significatiu en diferents punts dels Països Catalans continentals. El WeMOi té una tendència significativa i negativa, però té una nul·la correlació

amb la precipitació d'arreu dels Països Catalans. Es demostra que les variabilitats pluviomètriques estivals no es poden explicar amb patrons de circulació. Fernández García i Martín-Vide (2004) detecten un increment de pressió en el període 1978-1999 respecte al 1956-1977 a les latituds mitjanes en el bimestre juliol-agost, que podria explicar, en part, aquesta reducció pluviomètrica estival estesa arreu de l'àrea d'estudi.

Tardor: El WeMOi no té una tendència definida, tampoc els altres patrons, per tant, no hi ha canvis pluviomètrics significatius enlloc dels Països Catalans. Les variacions més notables són a les Illes Balears, per unes reduccions pluviomètriques, no significatives, a Menorca i a l'oest de Mallorca.

Hivern: És una estació interessant per la relació oposada existent entre l'AO i la WeMO en aquesta època de l'any. Aquesta relació entre els dos patrons és coherent amb les tendències positiva i significativa de l'AOi i negativa i significativa del WeMOi. En conseqüència, hi ha un increment pluviomètric al llarg de tot el litoral i prelitoral dels Països Catalans, significativa a l'interior de la Catalunya Nord i al litoral de Castelló. Aquesta àrea és similar a aquella que es correlaciona significativa i negativament amb el WeMOi. L'interior de Catalunya i algun punt del País Valencià tenen certa reducció pluviomètrica, significativa en el Pla de Lleida, per una correlació significativa i negativa amb l'AOi. D'altra banda, cal fixar-se que les àrees, on l'AOi es correlaciona positivament, encara que no significativament, hi ha un cert augment de la precipitació, com al litoral i prelitoral del País Valencià i al conjunt de la Catalunya Nord. A les Illes hi ha una disminució pluviomètrica general, més aguda a la meitat nord-oriental, essent significativa a Capdepera, on la influència neta de la NAO per sobre la WeMO és més gran. On la reducció pluviomètrica és quasi nul·la és a les Pitiüses, les quals estan correlacionades significativa i negativament amb el WeMOi.

Goodess i Jones (2002) i Rodrigo (2006) apunten a una reducció de la mitjana pluviomètrica de la major part de la Península Ibèrica durant la segona meitat del segle XX pels canvis en la circulació hivernal, lligat al comportament de la NAO, ja que hi ha un augment dels dies de pluja, però amb un caràcter menys intens. Això és el que es reflecteix a l'interior de l'àrea dels Països Catalans. Les àrees on la influència atlàntica no arriba, el quadrant sud-est, els autors hi detecten un augment pluviomètric per un increment dels dies de precipitació intensa. Aquests resultats concorden amb l'augment pluviomètric al sud dels Països Catalans, on la WeMO hi té una forta influència, ja que el seu índex té una tendència negativa durant la segona meitat del segle XX. González-Hidalgo *et al.* (2006) també obtenen tendències positives de la precipitació a les àrees litorals de les conques mediterrànies de la Península Ibèrica durant els mesos d'hivern, sobretot, al mes de gener. A més, Rodrigo i Trigo (2007) detecten també un màxim augment pluviomètric a València i una disminució a Bilbao a l'estació hivernal durant el

període 1951-2002, tendències que encaixen amb les trobades per Martin-Vide i Lopez-Bustins (2006) (Taula 4). El Golf de Biscaia, concretament el País Basc, és una àrea de màxima correlació positiva amb el WeMOi, on Rodrigo (2006) dedueix una reducció de la intensitat de la precipitació molt important a l'hivern, que podria anar associada a la disminució de la freqüència d'hiverns de WeMOi extrem positiu per la tendència recent negativa de l'índex, i, en conseqüència, la seva pluviometria pateix una davallada significativa. Saladié *et al.* (2002) també detecten un augment de la precipitació hivernal al llarg de la segona meitat del segle XX, tot i que no significativa, al sector sud-oriental de la Depressió de l'Ebre.

Semestre fred (d'octubre a març): És un reflex dels resultats trobats a l'hivern. El WeMOi disminueix i l'AOi augmenta, ambdós de manera significativa. Hi ha reduccions significatives al Pirineu i Prepirineu lleidatà i de la Franja en no tenir correlació amb el WeMOi, però sí amb l'AOi. D'altra banda, hi ha increments pluviomètrics significatius a les muntanyes del nord d'Alacant, on el WeMOi s'hi correlaciona significativa i negativament i l'AOi positivament. Entre les comarques de l'Alcoià i de l'Alt Vinalopó hi ha una frontera nítida de variabilitat pluviomètrica, ja que en la primera té lloc un augment significatiu per la seva condició de mediterrània, i en la segona, una disminució significativa per la seva condició d'interior i sota la influència atlàntica (Azorín-Molina i López-Bustins, 2004). En general, el mapa de tendències pluviomètriques no s'ajusta tan satisfactòriament com a l'hivern amb el mapa de correlacions entre la precipitació i el WeMOi. En el quadrant nord-est de les Illes, àrea on el NAOi té una major influència sobre el WeMOi, té lloc una reducció significativa per un increment positiu del primer índex.

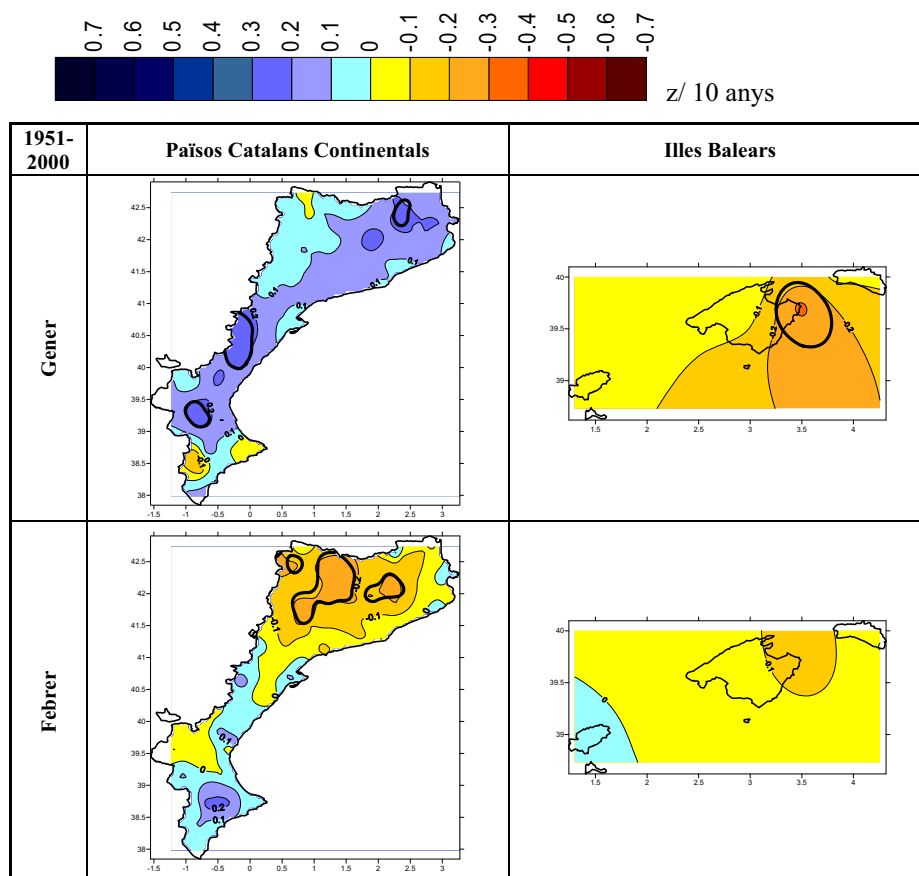
Semestre càlid (d'abril a setembre): Hi ha una reducció de la precipitació generalitzada i significativa en diferents punts arreu dels Països Catalans continentals. A les Illes no hi ha una variació definida. Tot i la davallada dels patrons del WeMOi i del NAOi, els patrons no tenen correlacions significatives enlloc del territori d'estudi durant aquesta època de l'any.

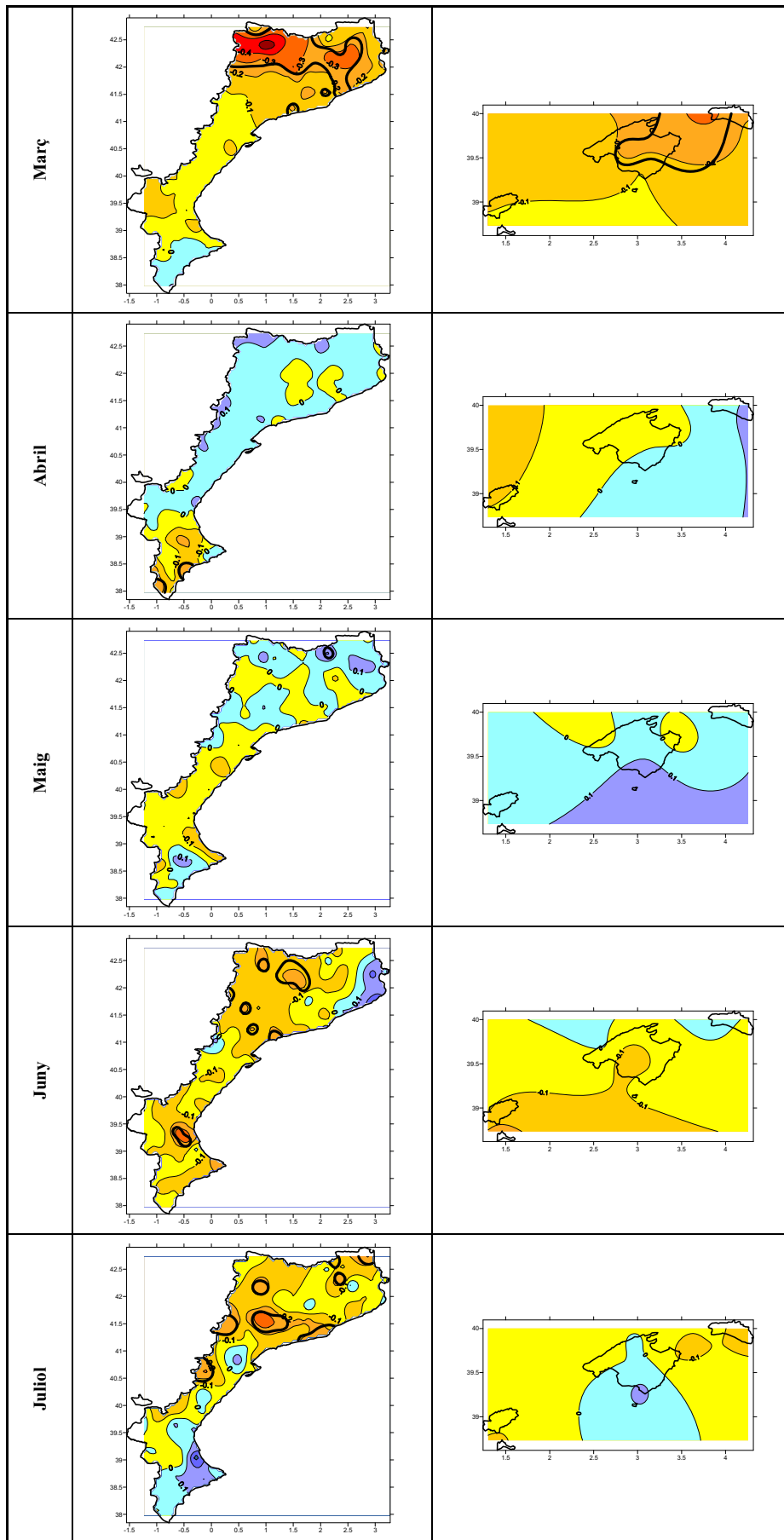
Anual (1 i 2) (*definitos en el subapartat 2.5.1.2. del capítol 2*): Hi ha una reducció generalitzada de la precipitació arreu dels Països Catalans, a excepció de les Muntanyes d'Alacant, una àrea del centre de la demarcació de Girona, la zona més interior de la Catalunya Nord i algun sector reduït de la Catalunya Central. Les tendències estacionals i anuals no són iguals als Països Catalans si tenim en compte principalment l'estació hivernal, fet que ja detectaren González-Hidalgo *et al.* (2001, 2002) per al País Valencià. Norrant i Douguédorit (2006) també detecten un cert descens de la pluviometria anual a la franja oriental de la Península Ibèrica durant la segona meitat del segle XX.

Mentre el NAOi té una variació nul·la, el WeMOi disminueix i l'AOi augmenta, ambdós significativament. Les àrees amb una major concentració de punts amb una

disminució pluviomètrica significativa són el Pirineu i Prepirineu lleidatà i la meitat nord de la Franja, on l'AOi s'hi correlaciona satisfactòriament en la seva fase negativa. A l'Alcoià, és on hi ha l'únic punt dels Països Catalans on hi ha un augment significatiu de la precipitació. Aquest enclavament és correlaciona significativament amb el WeMOi, en la seva fase negativa, i amb l'AOi, en la seva fase positiva. Sumner *et al.* (2003) prediuen per a finals del present segle, usant un model de circulació general –*general circulation model*– (GCM), un increment pluviomètric en alguns punts a l'extrem sud-oriental peninsular que podria estar lligat a un augment de la torrencialitat de la zona.

A les terres gironines i a l'interior de la Catalunya Nord, tant el WeMOi com l'AOi no es correlacionen significativament amb la precipitació, fet que explicaria l'estabilitat pluviomètrica de la zona. Les reduccions pluviomètriques en alguns punts de Mallorca també són significatives, sobretot a la meitat nord, però no tenen correlació amb cap patró, doncs, probablement és resultat de l'acumulació de descensos pluviomètrics en la majoria de mesos. Guijarro (2002) també detecta una davallada significativa de la precipitació anual durant el període 1941-2000 a Menorca i al nord de Mallorca, però en canvi, una no variació, o fins i tot un lleuger augment a les Pitiüses i al sud de Mallorca. És un resultat que coincideix amb la davallada esmorteïda d'aquestes últimes àrees per al període d'anàlisi de la tesi, 1951-2000.





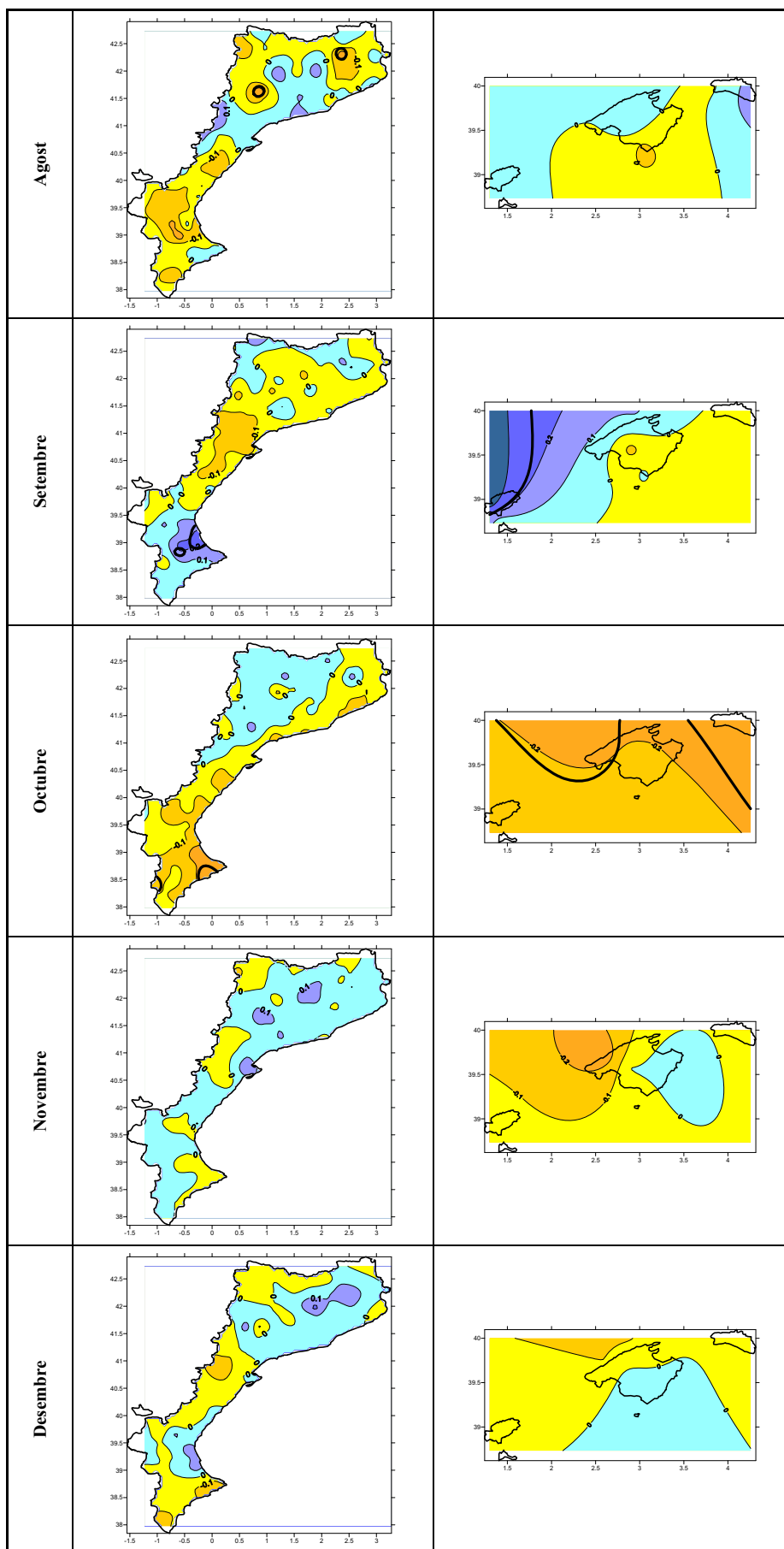
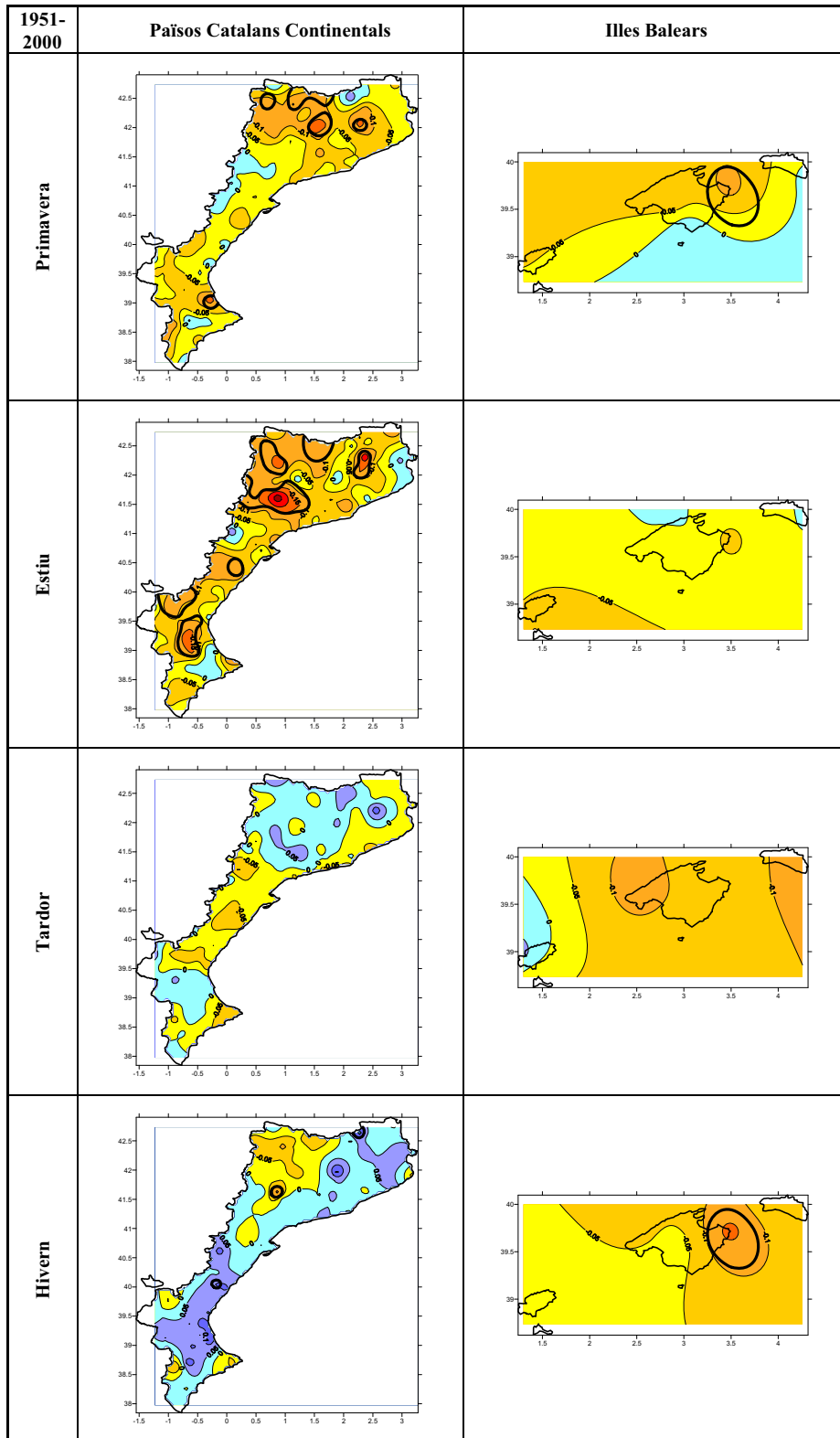
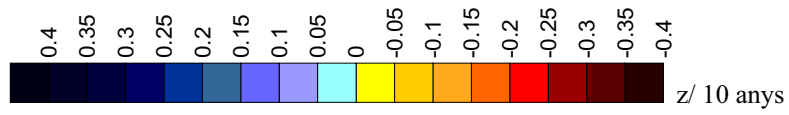


Figura 16. Mapes mensuals de la distribució espacial de les tendències pluviomètriques dels Països Catalans durant el període 1951-2000. (Les àrees amb tendències significatives al 0.05 segons el t-test s'han delimitat amb un contorn en negra. Programa usat: software AnClim, Stepanek, 2005).



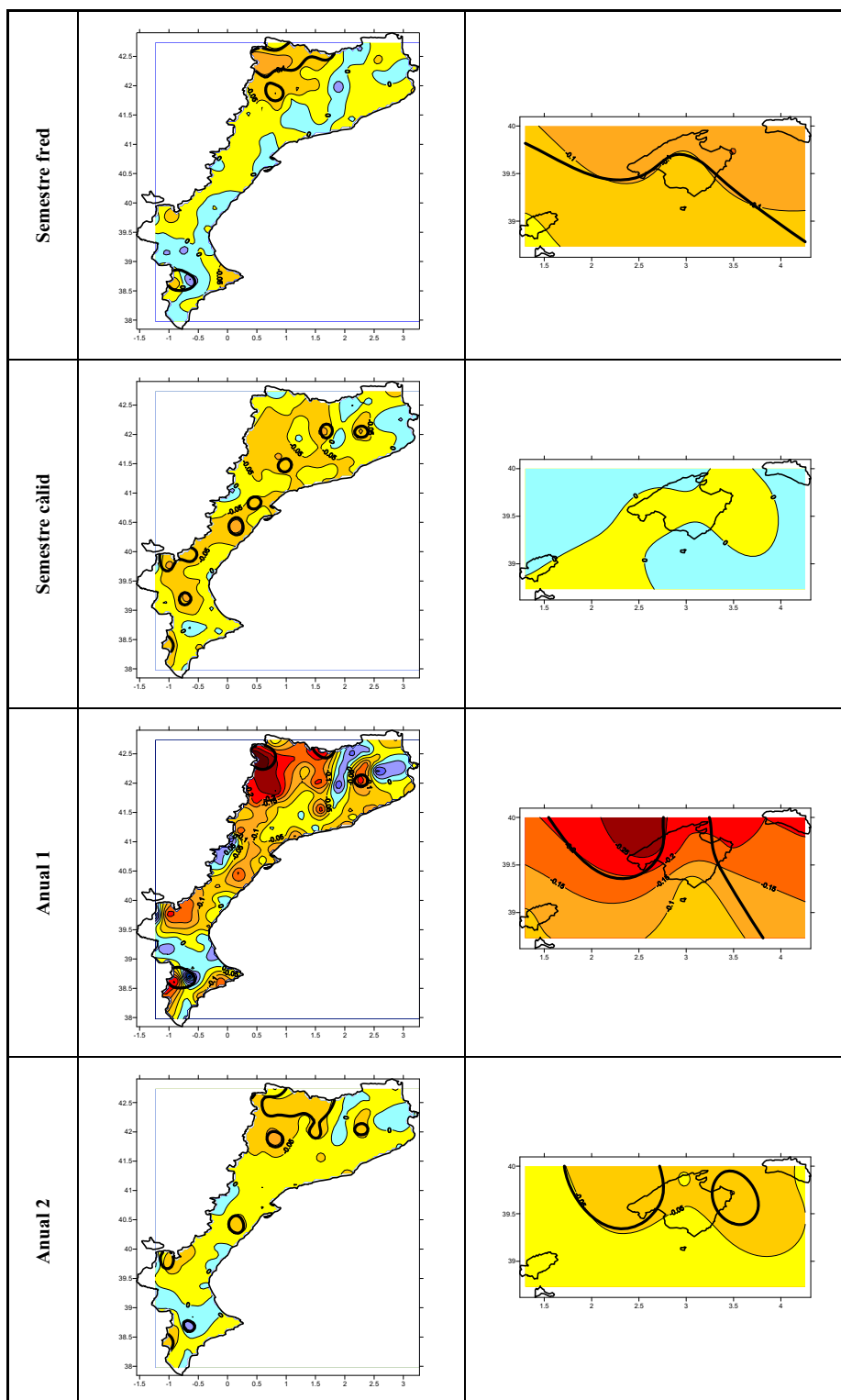


Figura 17. Ídem que Fig. 16, però per estacions, semestres i anualment.

La visió de conjunt és una reducció pluviomètrica als Països Catalans continentals en gairebé tots els mesos i estacions. És durant l'hivern, el semestre fred i en el conjunt de l'any, quan hi ha un increment significatiu de l'AOi, i un decreixement del WeMOi, al llarg de la segona meitat del segle XX. Aquest fet comporta una reducció pluviomètrica, significativa en el cas del semestre fred i anualment, a la Franja i a la Catalunya interior ubicada dins la Conca

del Segre, que s'estén en el seu límit oriental fins a Andorra i la Cerdanya. Aquesta àrea interior es troba relativament aixoplugada dels fluxos mediterranis, i per tant, menys influenciada per la WeMO, permetent una major influència del comportament atlàntic a través de l'AO i la NAO. Els fronts atlàntics han disminuït la freqüència del seu pas per la Península Ibèrica a l'hivern durant les darreres dècades del segle XX (Romero *et al.*, 1998).

Només en el mes de gener i a l'hivern, hi ha un cert ascens pluviomètric a la major part del territori. Els mesos d'abril i novembre semblen tenir una estabilització de la pluviometria amb lleus augments. Les Illes tenen una disminució pluviomètrica en tots els mesos i estacions; només en el mes de maig hi ha una certa estabilització pluviomètrica generalitzada, i a l'estiu depenent de la zona i el mes. El predomini dels colors càlids és la conclusió que es treu del conjunt de tots els mapes de tendències, tant dels Països Catalans continentals com insulars.

A les Illes Balears s'ordenen de la següent manera les estacions, de major a menor reducció pluviomètrica: hivern-tardor-estiu-primavera. El mes amb un major increment pluviomètric generalitzat és maig i amb una major reducció, març i octubre. La reducció generalitzada al llarg de l'any a les Illes reflecteix un descens pluviomètric en el si de la conca de la Mediterrània Occidental, independentment de la variabilitat dels patrons, ja que les correlacions que obtenen aquests amb la precipitació de l'àmbit balear són bastant dèbils. Pot ser conseqüència d'un augment de la pressió atmosfèrica anual en el conjunt de la Mediterrània Occidental al llarg del segle XX per una migració del cinturó d'altres pressions subtropicals cap al nord (Martín-Vide, 2005).

Als Països Catalans continentals, una forta reducció es dona a l'estiu, moderada a la primavera, i a la tardor hi ha una estabilitat general. L'hivern és l'única estació quan té lloc un increment pluviomètric general, a excepció del Pirineu i Prepirineu de Lleida i de la Franja de Ponent. El mes de tot l'any amb un major increment pluviomètric generalitzat és gener i amb una major reducció, març.

Tant durant el semestre fred com anualment, existeixen unes tendències significatives i oposades en una zona reduïda del territori dels Països Catalans. Es tracta de l'efecte orogràfic local de les serres amb disposició SO-NE que se situen entre les terres d'Alacant i València. Es detecta una tendència pluviomètrica positiva i significativa en l'àrea ubicada al límit superior de les capçaleres dels rius que desguassen en direcció nord-est. El representant és l'observatori de Banyeres de Mariola, limítrof entre la conca de l'Alt Vinalopó, el riu Alcoià i la Vall d'Albaida. Villena, enmig de l'Alt Vinalopó, es troba a sotavent dels fluxos marítims que es canalitzen per les valls orientades a nord-est i la seva tendència pluviomètrica és negativa i significativa. Les sèries de precipitació d'ambdós observatoris, no obstant, estan

correlacionades positivament al 0.01, tant, anualment (+0.46), com pel semestre fred (+0.34). Les seves pluviometries es correlacionen amb el mateix signe amb el WeMOi. És diferent del que succeeix entre Bilbao i València que tenen tendències oposades per una correlació de distint signe amb el WeMOi (Taula 4).

En el cas dels Països Catalans, entre Vielha (la Val d'Aran), com l'únic punt d'estudi de la vessant atlàntica, i Benifairó de la Valldigna (la Safor) a la meitat sud de la costa dels Tarongers, existeix una correlació oposada durant el semestre fred, dins el nivell de confiança del 99%, del -0.43. Martín-Vide (comunicació personal) ja deduí que la Val d'Aran és l'única zona de Catalunya que no es correlaciona positivament amb Barcelona, quant a pluviometria, caracteritzant-la així amb un comportament característic i únic del Principat. Els dos observatoris, Vielha i Benifairó de la Valldigna, es correlacionen significativament amb el WeMOi durant el semestre fred, però amb un signe distint: Vielha (+0.36) i Benifairó de la Valldigna (-0.61). Les seves tendències no són ni oposades ni significatives, tot i existir durant aquest període de l'any una tendència negativa significativa del WeMOi (Taula 3), per tant, cal concloure que no necessàriament unes correlacions de la precipitació oposades amb el WeMOi han de comportar unes tendències pluviomètriques oposades i viceversa. En el cas de la tardor, Vielha també manté una bona correlació amb el WeMOi (+0.50), i per tant, té una correlació significativa, al 0.01, de -0.39 amb el Pantà de Benadressa (la Plana Alta), al prelitoral castellanenc, el qual està altament correlacionat amb signe negatiu amb el WeMOi (-0.69). Aquests dos punts, ja se seleccionaren en l'apartat anterior 3.3.3. per correlacionar-se oposadament, quant a pluviometria a la tardor per les seves relacions contràries amb l'AOi. En aquesta estació, el WeMOi no té una tendència definida per poder-ne deduir tendències oposades entre aquests dos punts d'estudi (Taula 3).

3.5. ANÀLISI ESPECTRAL DELS ÍNDEXS DELS PATRONS DE TELECONNEXIÓ (1901-2000) I DE LA PLUVIOMETRIA DELS PAÏSOS CATALANS (1951-2000)

3.5.1. ANÀLISI ESPECTRAL DEL WEMOI I DE L'AOI (1901-2000)

Per conèixer millor la relació existent entre la WeMO i l'AO, l'anàlisi espectral de màxima entropia (MESA) s'aplica als valors del WeMOi i de l'AOi durant el període 1901-2000 per a les estacions d'hivern i tardor. En aquestes dues estacions hi ha una relació molt oposada entre la WeMO i AO durant la segona meitat del segle XX. Són els períodes de l'any en els quals aquests patrons tenen una major influència en la pluvimetria dels Països Catalans, tal com ja s'ha anat demostrant al llarg de la tesi. L'hivern es considera en la seva versió llarga (DGFM).

3.5.1.1. Hivern (DGFM)

S'estableixen periodicitats de 3.5, 5 i 22 anys al nivell de significació 0.05 per al WeMOi (Figura 18b). Aquests cicles també es troben en l'AOi (Figura 18a). Uns pics secundaris, sense significació estadística, també es detecten en el WeMOi, de 2.5 i 8 anys. Aquests cicles, en canvi, són significatius en l'AOi, i foren detectats en el NAOi segons Pozo-Vázquez *et al.* (2000) mitjançant una anàlisi espectral creuat des d'inicis del segle XIX, trobant pics de 6 mesos i d'1, 2 i 8 anys. Nieto i Rodríguez-Puebla (2006) també detecten un cicle proper als 8 anys de l'AOi hivernal (DGF) al llarg de la segona meitat del segle XX.

Segons aquestes periodicitats, la WeMO té un comportament remarcablement similar al de l'AO, i només lleugerament similar al de la NAO. Els cicles comuns entre la WeMO i l'AO són aproximadament els següents: 2-2.5, 3.5, 5, 8 i 22 anys (Figura 18c). El cicle de 2-2.5 anys es podria explicar per la influència de la QBO, en presentar una periodicitat de 24-30 mesos, aproximadament, (Marquardt, 1998); el cicle de 5 anys en pot ser un reflex de la QBO. El cicle de Hale de l'activitat solar té 22 anys, conformat per dos d'11 anys de Schwabe¹, per tant, pot establir-se una certa relació hipotètica amb el cicle de 22 anys de l'AOi i del WeMOi.

En resum, mitjançant l'anàlisi espectral també ha estat possible demostrar que existeix un cert lligam entre la WeMO i l'AO, que no es detecta entre la WeMO i la NAO, a l'hivern.

¹ Al llarg d'un cicle de Schwabe d'11 anys, el Sol canvia de polaritat magnètica, i durant el següent cicle d'11 anys torna a la polaritat inicial. El cicle de Hale és el cicle de la polaritat magnètica del Sol i requereix la successió de dos cicles d'11 anys, i per tant, resulta ser de 22 anys (Vázquez Abeledo, 1998).

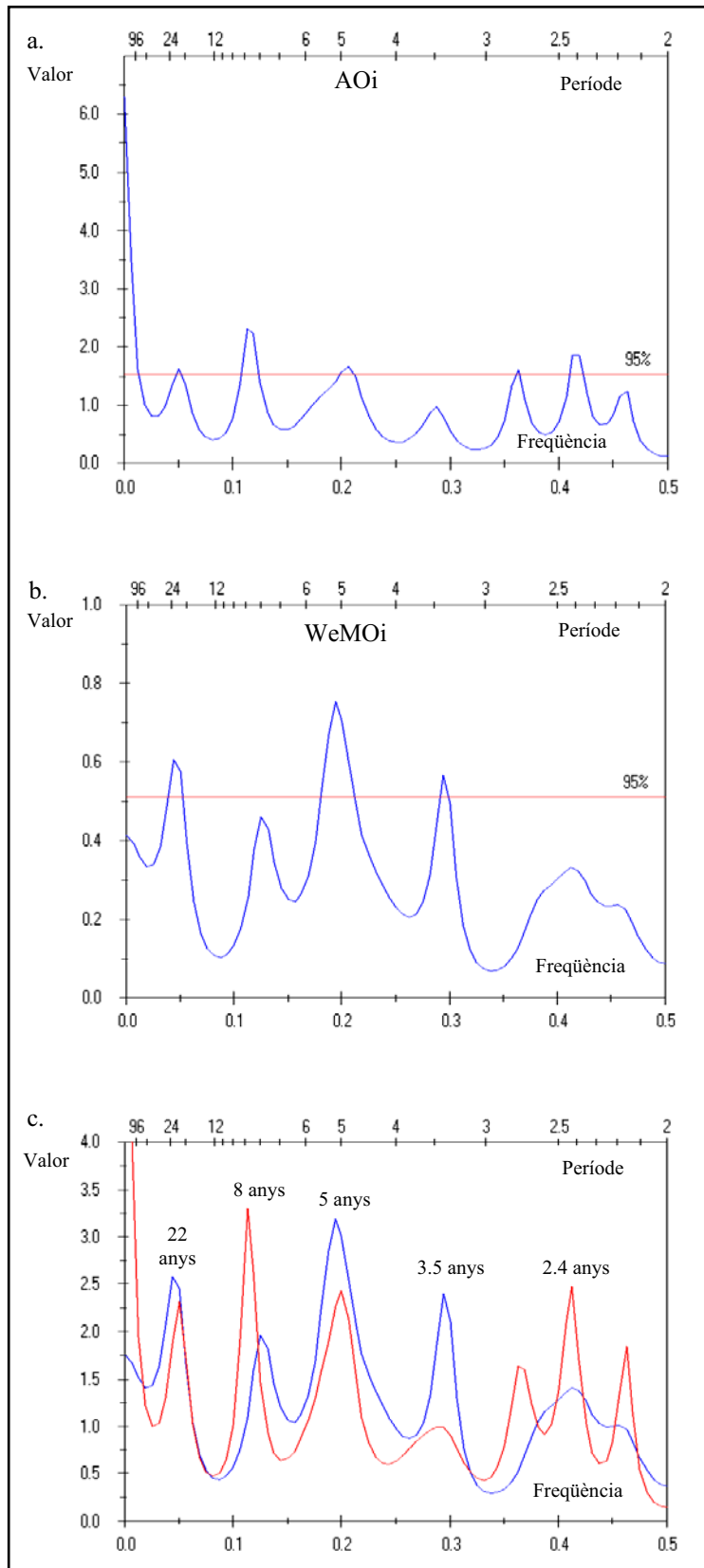


Figura 18. a. Anàlisi de màxima entropia espectral (MESA) dels valors de l'AOi a l'hivern (DJFM) per al període 1900/01-1999/2000 (es traça la línia recta vermella de la significació al 95% del nivell de confiança). b. Ídem que (a), però per al WeMOi. c. Comparació entre els pics dels dos índexs (AOi –línia vermella– i WeMOi –línia blava–). (En l'anàlisi s'aplicaren 200 freqüències). (Programa usat: software AnClim, Stepanek, 2005).

3.5.1.2. Tardor (SON)

La relació oposada entre la WeMO i l'AO no es justifica a la tardor tan bé com a l'hivern. El WeMOi té les periodicitats significatives de 6 i 21 anys (Figura 19b), i l'AOi de 2.7 i 4 anys (Figura 19a). No coincideixen en cap cicle. No obstant, el WeMOi té un cicle gairebé significatiu de 2.7 anys, que coincideix amb l'AOi (Figura 19c), atribuïble a la QBO. Al voltant dels 3.5 anys, ambdós índexs també tenen un cicle comú, però no és significatiu en cap dels dos.

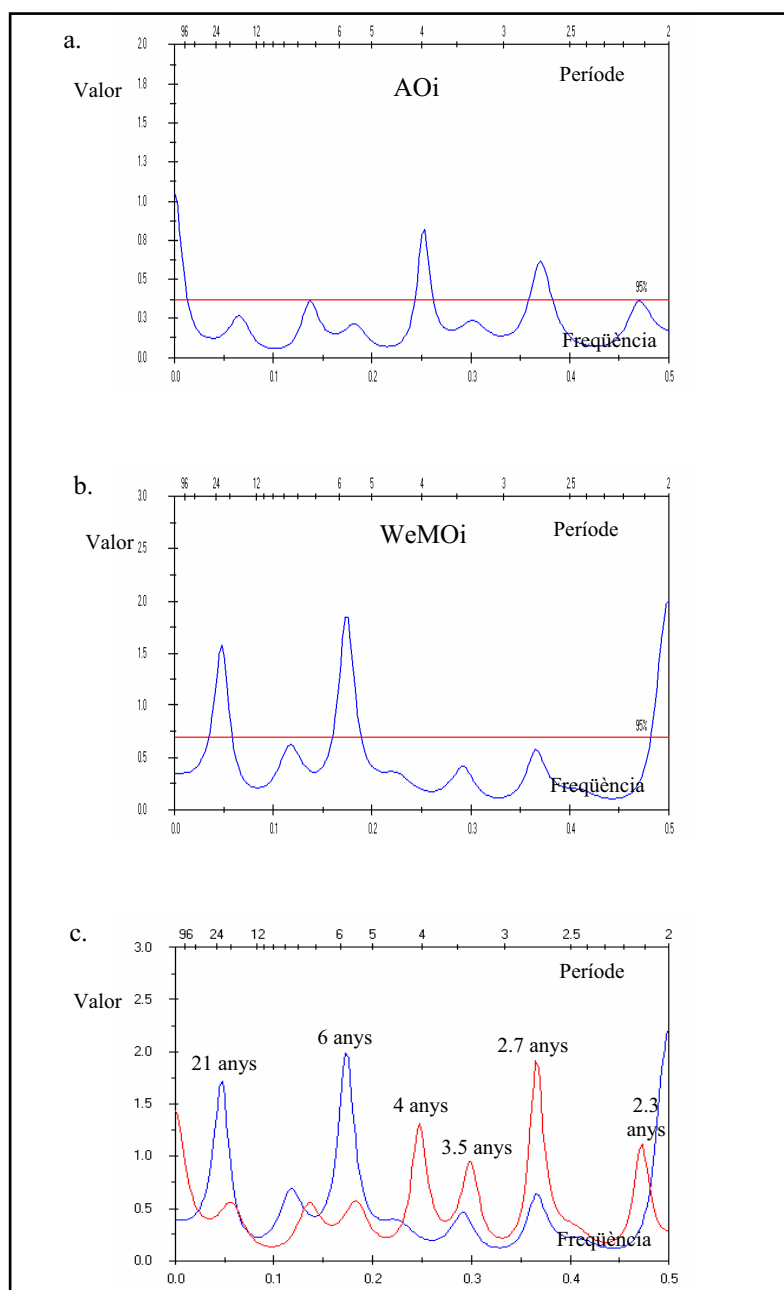


Figura 19. Ídem que Fig. 18, però per a l'estació de la tardor (SON) durant el període 1901-2000.

3.5.2. ANÀLISI ESPECTRAL DE LA PLUVIOMETRIA DELS PAÏSOS CATALANS (1951-2000)

A la segona meitat del segle XX, cal comprovar si es reflecteixen els mateixos cicles detectats prèviament en el WeMOi i en l'AOi en ambdues estacions en la pluviometria dels Països Catalans. Per establir periodicitats en el conjunt de les 124 sèries de precipitació es defineixen unes determinades regions geogràfiques per portar a terme l'anàlisi. De cada regió, es calcula una mitjana pluviomètrica de les sèries incloses en ella, prèviament normalitzades segons el període de referència 1961-1990. D'aquest mode, s'aconsegueix eliminar el soroll que poden comportar les sèries individualment i s'amplifica el senyal.

Les regions definides són 12, i es formen per l'agrupació de comarques (Figura 13 del capítol 2) segons les similituds de les seves condicions geogràfiques i climàtiques. El nom identificatiu que se li atribueix a cada regió no fa referència a totes les comarques, ja que la delimitació s'ha fet també considerant les seves distintes correlacions amb el WeMOi, el NAOi (Figura 19 del capítol 2) i l'AOi (Figura 12), el factor d'orientació de les costes i les superfícies de les conques hidrogràfiques. Les regions establertes manualment segons els criteris descrits són (Figura 20):

Regió I (València): l'Alcoià, el Camp de Túria, la Canal de Navarrés, el Comtat, la Costera, la Foia de Bunyol, les Hortes, la Marina Alta, la Ribera Alta i la Baixa, la Safor, València, la Vall d'Aiora i la Vall d'Albaida.

Regió II (Castelló): l'Alcalatén, l'Alt i el Baix Maestrat, l'Alt Millars, l'Alt Palància, el Camp de Morvedre, la Plana Alta, la Plana Baixa i els Ports.

Regió III (Utiel): l'Alt Vinalopó, la Plana d'Utiel, el Racó i els Serrans.

Regió IV (Alacant): l'Alacantí, el Baix Segura, el Baix Vinalopó, la Marina Baixa i el Vinalopó Mitjà.

Regió V (Pitiüses i Mallorca Meridional): Eivissa-Formentera i la subcomarca de Migjorn de Mallorca.

Regió VI (Balears Septentrional): Menorca i la meitat nord de Mallorca (subcomarques de Ciutat de Mallorca, Llevant, Muntanya, el Pla i el Raiguer).

Regió VII (Terres de l'Ebre): el Baix Camp, el Baix Ebre, la Matarranya, el Montsià, la Ribera d'Ebre i el Priorat.

Regió VIII (Terres de Ponent i Alt Pirineu): Andorra, l'Alt i el Pla d'Urgell, l'Alta Cerdanya, l'Alta Ribagorça, el Baix Cinca, la Baixa Cerdanya/ la Cerdanya, la Llitera, la Noguera, els Pallars, la Ribagorça, el Segrià i el Solsonès.

Regió IX (Val d'Aran): la Val d'Ar^oan (excepció: àrea climàtica conformada per una sola comarca).

Regió X (Costa Brava i Catalunya Central): el Bages, el Baix Empordà, el Baix Llobregat, el Barcelonès, el Berguedà, el Gironès, el Maresme, Osona, la Selva, el Vallès Occidental i Oriental.

Regió XI (Catalunya Nord): l'Alt Empordà, el Capcir, el Conflent, la Fenolheda, la Garrotxa, el Pla de l'Estany, el Ripollès, el Rosselló i el Vallespir.

Regió XII (Costa Daurada nord i interior): l'Alt Camp, l'Alt i el Baix Penedès, l'Anoia, la Conca de Barberà, el Garraf, les Garrigues, la Segarra, el Tarragonès i l'Urgell.

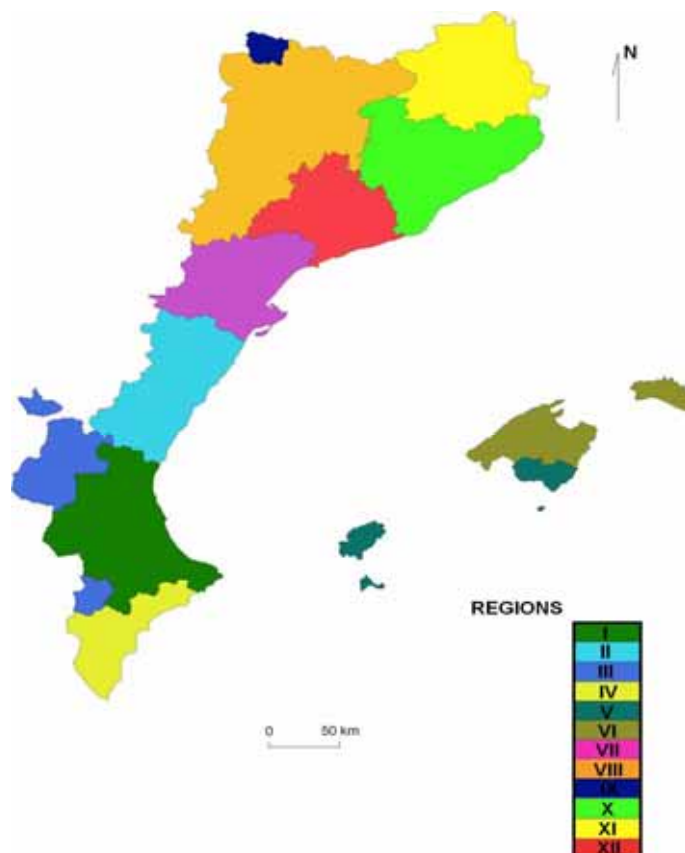


Figura 20. Mapa d'ubicació de les regions geogràfiques definides per als Països Catalans (les agrupacions territorials són segons la divisió comarcal de 1996, a excepció de Mallorca, que s'ha realitzat en funció de les seves 6 subcomarques vigents).

3.5.2.1. Hivern (DGFM) (Figura 21)

El cicle solar de Schwabe (11 anys) té una influència hipotètica sobre les pluviometries analitzades, però no a través dels patrons de circulació, perquè aquests només tenen periodicitats de 22 anys.

El senyal d'11 anys és màxim i significatiu al 0.05 a les regions I, II i IV². A la regió III, perd significació, en trobar-se més a l'interior. La regió V té aquest senyal significatiu. A la regió VII es debilita molt. A la resta de regions no s'intueix cap cicle d'11 anys. Només a la regió XI, torna a sorgir, però sense significació. En general, aquest possible senyal solar té lloc en aquelles àrees amb una major influència de la WeMO i amb una disposició est de les costes. Aquests resultats plantegen una relació hipotètica entre la variabilitat del Mar Mediterrani i l'activitat solar. La WeMO és probablement dependent d'aquest mar, ja que la seva fase més negativa és a l'octubre, coincidint quan aquest mar es troba més escalfat en les seves capes subsuperficials, després de la intensa insolació estival. En el capítol 4, s'estudia el paper de la interfase mar-oceà per explicar aquests cicles. Romeu i López-Bustins (2006) troben una alta correlació entre la pluviometria del Golf de València i les taques solars dels cicles 18 i 19, que és el període més actiu registrat des de 1700; la resposta és sense *lag* per la interacció immediata de la conca mediterrània per les seves reduïdes dimensions. Montón Chiva i Quereda Sala (1997), també, trobaren només a les terres valencianes de tot el Mediterrani ibèric una correlació satisfactòria entre la precipitació i les taques solars.

El WeMOi i l'AOi tenen un cicle de 22 anys (Figura 18), que encara que no es correspongui amb el de Schwabe d'11 anys, poden tenir relació amb el de Hale, que es compleix quan el Sol torna a la seva polaritat magnètica inicial. La regió VI i X insinuen una periodicitat de 22 anys, tot i que no significativa.

El cicle de 8 anys no té una resposta pluviomètrica. El cicle de 5 anys en té i molt significativa a les regions V, VI, VII, VIII, X, XI i XII. Es debilita a les regions del País Valencià, tot i que a la regió d'Utiel (III) roman un pic de 4.9 anys amb certa significació. Pel conjunt de tots els observatoris dels Països Catalans, aquest pic de 5 anys és el més destacat. En principi, sembla que aquest cicle té més rellevància en aquelles àrees, on el cicle d'11 anys perd importància. Lana *et al.* (2005) també troben en el règim pluviomètric diari de l'Observatori Fabra (Barcelona) un pic de 5 anys. L'explicació pot derivar de l'oscil·lació natural de 5 anys que té ben destacada la WeMO, però, d'altra banda, el fet de que les regions més ben correlacionades amb el WeMOi (País Valencià) tinguin uns pics de 5 anys més

² Els senyals són aproximatius, per exemple, regions a les que li atribuïm senyal d'11 anys poden tenir pics de fins a 13 anys.

debilitats, difumina la relació causa-efecte del fenomen. Martín-Vide *et al.* (2006) també detecten un pic de 5 anys, però en aquest cas, en la insolació de la Península Ibèrica, sense incloure Portugal, i Balears durant el trienni 1971-2000.

El cicle de 2.5 anys de la QBO, que es reflecteix també en els patrons de la WeMO i de l'AO, és significatiu a la pluviometria de les regions I, II, IV, VII, VIII, X i XI. Les regions d'Utiel i de les Balears també el tenen, però no significatiu. El conjunt de la precipitació de tots els observatoris dels Països Catalans el té ben marcat exactament amb 2.5 anys. Es dedueix fàcilment que el cicle de 5 anys podria ser retruc d'aquest cicle de 2.5 anys de la QBO.

Finalment, comentar que existeixen tota una altra sèrie de cicles injustificables. La regió V i IX tenen un cicle al voltant dels 3.5 anys. Les regions III, VII i X tenen un cicle aproximadament de 14-15 anys.

Com a síntesi, cal destacar els cicles de 2.5 i 5 anys de la pluviometria del conjunt de l'àrea d'estudi com els més importants, els quals també es troben en els índexs dels patrons de l'AO i de la WeMO, consolidant-se el senyal de la QBO en la precipitació hivernal dels Països Catalans. Sobretot, cal destacar el senyal del cicle més destacat del WeMOi (5 anys) com el més notable també en el conjunt de la pluviometria de tots els observatoris dels Països Catalans. És difícil establir relacions de causa-efecte a partir de l'anàlisi espectral. Els cicles trobats en la pluviometria no tenen perquè ser conseqüència dels pics trobats en els índexs dels patrons. Per exemple, no es justifica el senyal entre 11 i 12 anys trobat en la pluviometria d'algunes regions dels Països Catalans mitjançant els patrons. En conseqüència, es planteja la hipòtesi d'una influència directa de l'activitat solar en la pluviometria dels Països Catalans segons els cicles de Schwabe.

D'altra banda, si es representa la mitjana³ pluviomètrica dels Països Catalans juntament amb el WeMOi durant el període 1951-2000 (Figura 22), es detecta un increment pluviomètric en els períodes de fase extrema negativa de la WeMO, i viceversa durant les fases positives. La correlació entre ambdues variables és significativa al 99% del nivell de confiança, molt elevada ja que es tracta de la mitjana de 124 punts d'observació d'arreu dels Països Catalans, que engloba un ventall heterogeni de climatologies des del litoral a la muntanya interior. Es justifica una similitud en els cicles entre la pluviometria dels Països Catalans i el WeMOi. Conseqüentment, es consolida aquest índex mediterrani com a eina essencial per estudiar el comportament pluviomètric del conjunt dels Països Catalans a l'hivern.

³ La mitjana pluviomètrica es calcula a partir de tots els valors estandaritzats de cada una de les 124 sèries dels Països Catalans, que és la mateixa que s'ha usat en l'última anàlisi MESA de la Figura 21.

Regions Corr. amb WeMOi i AOi	MESA	Regions Corr. amb WeMOi i AOi	MESA
I VALÈNCIA WeMOi -0.68 (p-valor 0.0000) AOi +0.32 (p-valor 0.0273)		VII TERRES DE L'EBRE WeMOi -0.50 (p-valor 0.0002) AOi +0.24 (p-valor 0.0914)	
II CASTELLÓ WeMOi -0.62 (p-valor 0.0000) AOi +0.13 (p-valor 0.3816)		VIII LLEIDA I INTERIOR WeMOi -0.23 (p-valor 0.1122) AOi -0.47 (p-valor 0.0007)	
III UTIEL WeMOi -0.53 (p-valor 0.0001) AOi -0.17 (p-valor 0.2360)		IX VAL D'ARAN WeMOi +0.11 (p-valor 0.4955) AOi +0.23 (p-valor 0.1484)	
IV ALACANT WeMOi -0.59 (p-valor 0.0000) AOi +0.20 (p-valor 0.1775)		X C. BRAVA I CAT. CENT. WeMOi -0.34 (p-valor 0.0163) AOi +0.23 (p-valor 0.1162)	
V PITIÛSES WeMOi -0.43 (p-valor 0.0018) AOi +0.04 (p-valor 0.7719)		XI CAT. NORD WeMOi -0.45 (p-valor 0.0012) AOi +0.05 (p-valor 0.7492)	

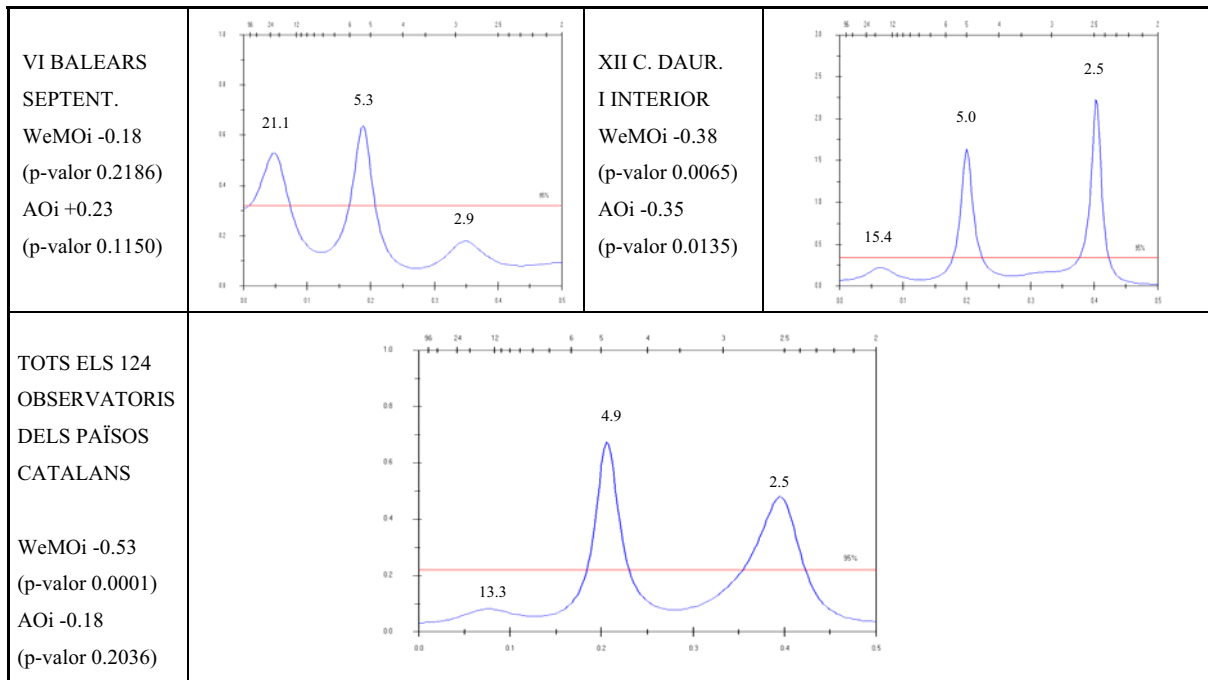


Figura 21. Anàlisi MESA de les pluviometries de les 12 regions dels Països Catalans i del conjunt de tots els 124 observatoris d'estudi en l'estació d'hivern (DGFM) per al període 1951/52-1999/2000. S'anota la correlació (p-valor) entre el WeMOi i l'AOi i la pluviometria de cada regió per orientar l'explicació de la similitud dels cicles de precipitació amb la dels patrons. L'eix d'abscisses a baix és freqüència i a dalt període, i l'eix d'ordenades són valors. S'indica la periodicitat dels pics en anys. (En l'anàlisi s'aplicaren 200 freqüències). (Programa usat: software AnClim, Stepanek, 2005).

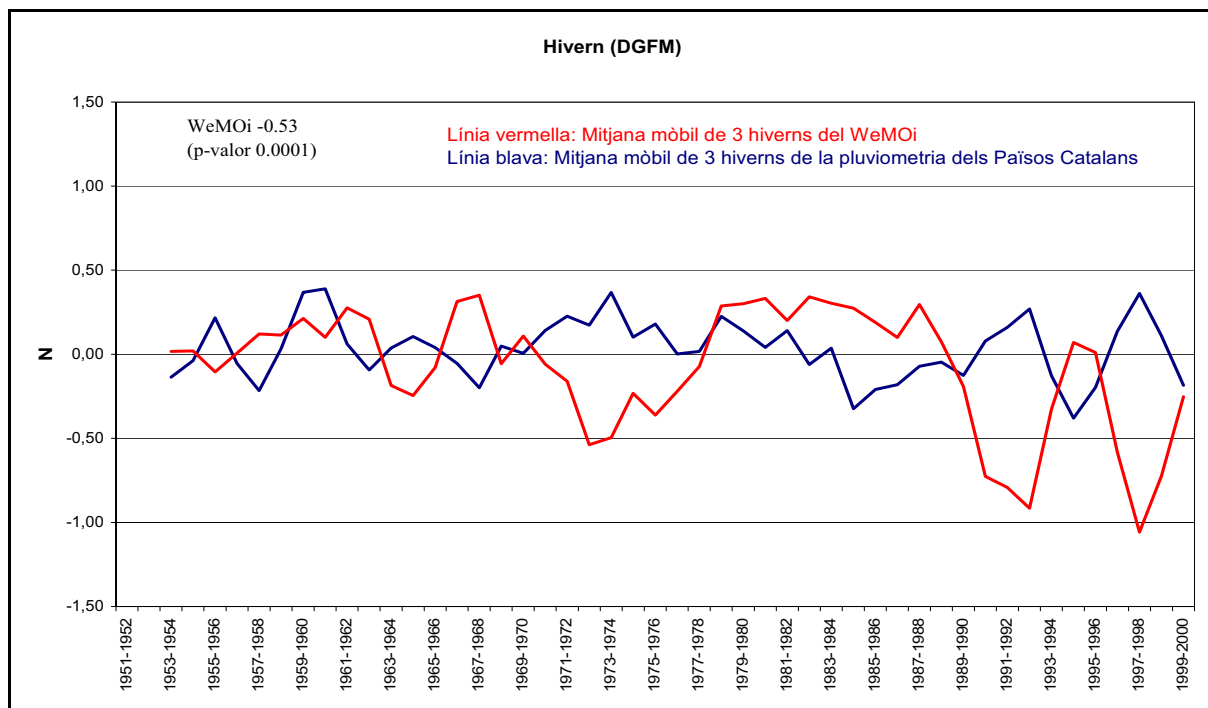


Figura 22. Evolució de la pluviometria dels Països Catalans i del WeMOi a l'hivern durant el període 1951/52-1999/2000 amb una mitjana mòbil de 3 anys (es mostra la correlació entre ambdues variables).

3.5.2.2. Tardor (SON) (Figura 23)

En el conjunt dels Països Catalans sorgeixen 4 cicles en la pluviometria de la tardor que coincideixen amb els del WeMOi. L'oscil·lació amb una major longitud d'ona seria la de 21 anys, que podria tenir certa correspondència amb la periodicitat de 21 anys del WeMOi (Figura 19). Tanmateix, el cicle de 6 anys del WeMOi es reflecteix en la pluviometria mitjana encara que no significativament. Apareixen dos cicles més en les pluviometries dels Països Catalans, que són de 3.5 i 2.5 anys, que es detecten, tant en l'AOi com en el WeMOi, però més clarament en l'AOi. Tot i que l'AOi i el WeMOi no tenen unes periodicitats coincidents com a l'hivern, les seves respectives oscil·lacions es reflecteixen amb més claredat a la tardor que a l'hivern en la pluviometria dels Països Catalans.

En una anàlisi per regions, es comprova que no totes tenen un cicle exacte de 21 anys. La majoria de regions en detecten un de lleugerament inferior. Els de longitud d'ona més llarga són els de les regions de Catalunya (regions VIII, X, XI i XII) i del nord de les Illes Balears (regió VI). D'altra banda, el cicle d'onze anys, que es detectava en algunes regions a l'hivern, a l'estació de la tardor no s'intueix en cap d'elles.

El cicle de 6 anys ben establert en el WeMOi, tot i que en el conjunt de l'àrea d'estudi no és significatiu, és destacat a les regions del País Valencià, on la WeMO hi té una forta influència en aquest època de l'any (regions I, II, III i IV). El cicle de 3.5 anys es detecta amb claredat en aquestes mateixes regions del País Valencià, doncs, l'AOi té un pic de 3.5 anys aproximadament, tot i que no és significatiu com el que té de 4 anys. Cal recordar que l'AOi té una correlació positiva satisfactòria amb la pluviometria del País Valencià en aquesta estació de l'any (Figura 12).

Per últim, el cicle de 2.5 anys, detectat en ambdós patrons, i significatiu en l'AOi, és visible en la majoria de regions: al País Valencià i a la regió VII del sud de Catalunya per la seva relació positiva amb l'AOi, i a la regió VIII per la seva relació negativa amb l'AOi. Aquesta periodicitat, igual que a l'hivern, podria explicar-se per la QBO.

La resposta pluviomètrica a aquests cicles dels patrons ha estat més satisfactòria a les regions del País Valencià que no pas a les regions de les Illes Balears o de Catalunya. Cal tenir present que els patrons tenen una alta influència en aquestes regions de la meitat sud dels Països Catalans a la tardor. La pluviometria de la Val d'Aran, tot i que presenta correlacions significatives amb els índexs dels patrons a la tardor, no mostra unes periodicitats similars a les d'aquests.

Regions Corr. amb WeMOi i AOi	MESA	Regions Corr. amb WeMOi i AOi	MESA
I VALÈNCIA WeMOi -0.67 (p-valor 0.0000) AOi +0.35 (p-valor 0.0139)		VII TERRES DE L'EBRE WeMOi -0.49 (p-valor 0.0003) AOi +0.20 (p-valor 0.1699)	
II CASTELLÓ WeMOi -0.65 (p-valor 0.0000) AOi +0.29 (p-valor 0.0441)		VIII LLEIDA I INTERIOR WeMOi -0.18 (p-valor 0.2001) AOi -0.15 (p-valor 0.2993)	
III UTIEL WeMOi -0.61 (p-valor 0.0000) AOi +0.20 (p-valor 0.1655)		IX VAL D'ARAN WeMOi +0.51 (p-valor 0.0005) AOi -0.44 (p-valor 0.0034)	
IV ALACANT WeMOi -0.62 (p-valor 0.0000) AOi +0.20 (p-valor 0.1640)		X C. BRAVA I CAT. CENT. WeMOi -0.35 (p-valor 0.0116) AOi +0.05 (p-valor 0.7562)	
V PITIÜSES WeMOi -0.27 (p-valor 0.0562) AOi +0.28 (p-valor 0.0488)		XI CAT. NORD WeMOi -0.29 (p-valor 0.0437) AOi -0.05 (p-valor 0.7772)	
VI BALEARS SEPTENT. WeMOi -0.12 (p-valor 0.4247) AOi +0.09 (p-valor 0.5432)		XII C. DAUR. I INTERIOR WeMOi -0.44 (p-valor 0.0014) AOi +0.09 (p-valor 0.5131)	

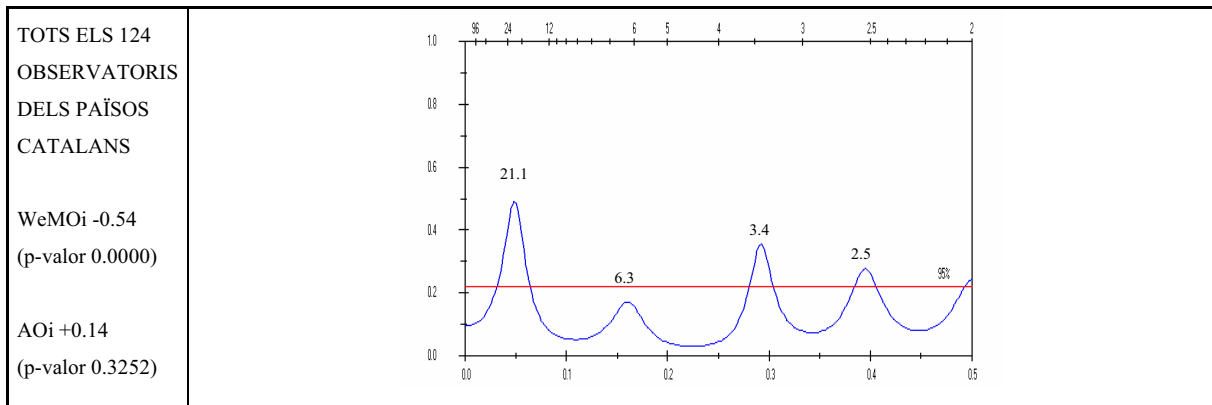


Figura 23. Ídem que Fig. 21, però per a l'estació de la tardor (SON) per al període 1951-2000.

En l'evolució de la pluviometria del conjunt dels Països Catalans, a la tardor s'alternen fases positives i negatives (Figura 24), que es corresponen amb les fases de la WeMO, però no tan satisfactòriament com a l'hivern (visualment), malgrat que estadísticament és igual (-0.54). Cal destacar que entre 1970 i 1990 hi ha una alternança de fases extremes de la WeMO que la pluviometria reflecteix correctament. Succeeix el mateix que a l'hivern, durant les fases més pronunciades de l'índex és quan les precipitacions s'ajusten millor a la correlació negativa. Les periodicitats de les fases detectades en l'anàlisi espectral són difícilment visibles en la representació gràfica de l'evolució de la pluviometria.

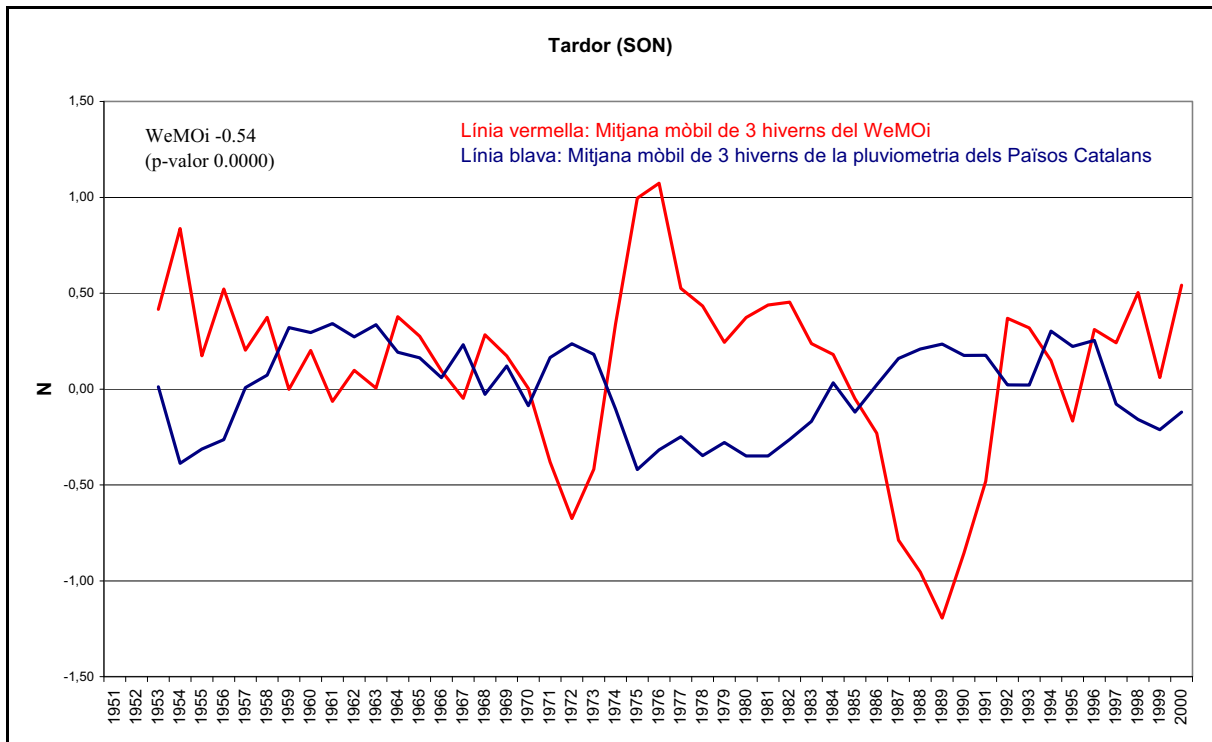


Figura 24. Evolució de la pluviometria dels Països Catalans i del WeMOi a la tardor durant el període 1951/52-1999/2000 amb una mitjana mòbil de 3 anys (es mostra la correlació entre ambdues variables).

3.6. AUTOPREDICCIÓ DEL WeMOi

Els patrons de circulació com la NAO o l'AO tenen un cert contagi temporal, ja sigui a resolució diària o mensual. Stephenson (2003) troba una autocorrelació diària positiva de l'AOi als mesos d'hivern que significa la persistència d'una mateixa fase en un determinat hivern. Aquí s'assaja una anàlisi d'autopredicció intraanual del WeMOi a resolució mensual considerant tot el període 1821-2000 (Figura 25).

En la WeMO, no hi ha contagi en els mesos hivernals com en els grans patrons de circulació. Només el mes de desembre exerceix certa influència en el mes de gener. Aquest fet corrobora la WeMO com a patró de teleconnexió regional. La reduïda amplitud de la WeMO el caracteritza d'una alta variabilitat en el temps i en l'espai, i per tant, no és freqüent l'estabilització d'un cert patró de circulació. La seva anàlisi diària és rellevant per aquest aspecte d'alta variabilitat temporal. Només en els mesos d'estiu es detecta una connexió d'un mes a l'altre per l'assentament estable de situacions sinòptiques típiques estivals de dèbil gradient bàric.

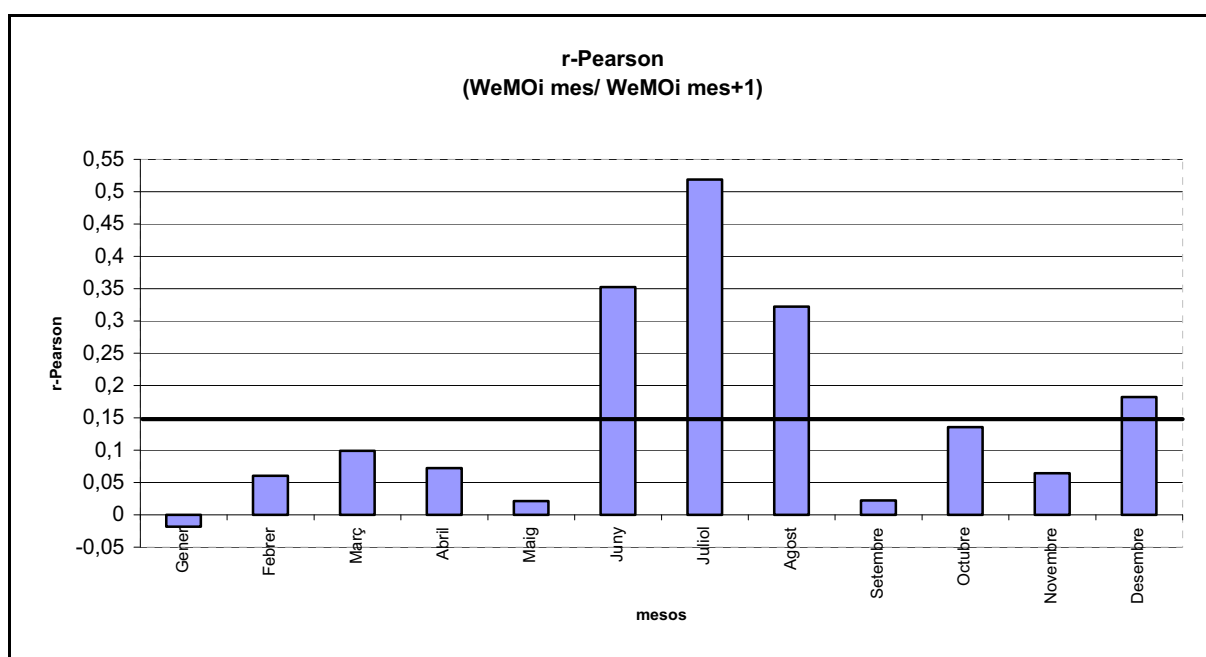


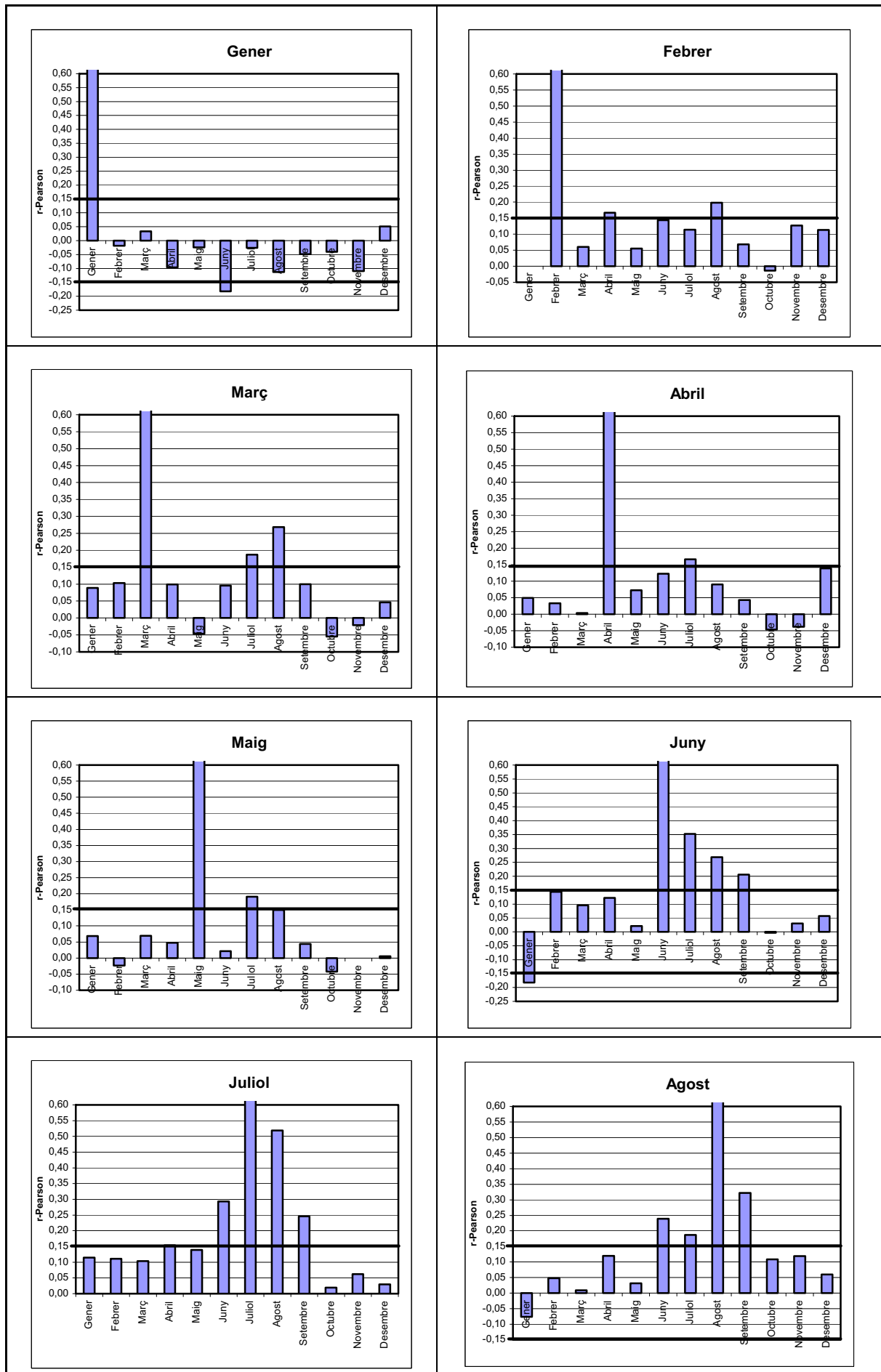
Figura 25. Correlacions entre el WeMOi d'un mes concret amb el WeMOi del mes següent durant el període (1821-2000). (Les barres representen la correlació del mes en qüestió amb el mes següent i la línia gruixuda indica el llindar de la significació al 95% del nivell de confiança).

En una anàlisi de correlacions per a cada mes en la seva influència en la resta de mesos (Figura 26) hi ha una aportació escassa, al ja deduït a la Figura 25. El mes de gener, com a curiositat, es correlaciona significativament en signe negatiu amb el mes de juny següent. Aquest mes també té una relació negativa amb la resta de mesos estivals i de tardor, però no significativa. Només és evident que a partir del mes de febrer ja es pot deduir quin

serà el comportament de la WeMO a l'estiu. El mes de febrer reflecteix significativament la futura fase de la WeMO a l'abril. Els mesos d'abril i maig aconseguen reflectir satisfactòriament el WeMOi al juliol. El WeMOi de juny regeix la fase de la WeMO per a la resta de l'estiu. A més, aquest mes ens indica quina fase tindrà la WeMO el següent mes de gener.

A finals d'estiu, al mes d'agost, és un moment clau perquè permet deduir quina serà la fase més probable de la WeMO a la tardor, període de l'any que té una influència àmplia en el territori dels Països Catalans. L'agost es correlaciona satisfactòriament amb el mes de setembre següent, període de l'any quan tenen lloc els primers episodis torrencials d'origen mediterrani (Azorin-Molina i López-Bustins, 2004). L'octubre contagia en part al novembre, i el novembre al desembre i gener. I finalment, com ja es detectava en la Figura 25, el mes de desembre és l'únic mes que aconseguix influir més fidelment al mes posterior durant la meitat freda de l'any.

El mesos de gener i juny tenen unes influències de signe contrari que no són explicables com els altres contagis mes a mes. L'estiu és l'estació amb més estabilitat de la WeMO, caracteritzant-se durant varies setmanes d'una mateixa fase del patró. Fins i tot, els valors del WeMOi de juliol i agost es correlacionen positiva i significativament amb els mesos de juny i juliol de l'any següent, respectivament; per tant, l'estabilitat estival pot arribar a ser fins i tot interanual. Un contagi interanual també s'ha detectat en les fases de la NAO a l'hivern (Osborn, 2004). L'inconvenient d'aquesta autopredicció a l'estiu és la nul·la informació que aporten els patrons de teleconnexió com la WeMO a la pluviometria dels Països Catalans, on predominen les precipitacions de tipus convectiu (López-Bustins i Azorín-Molina, 2004). No obstant, cal posar atenció a la part final d'aquesta estació estival, que pot indicar la fase més probable de la WeMO a la tardor.



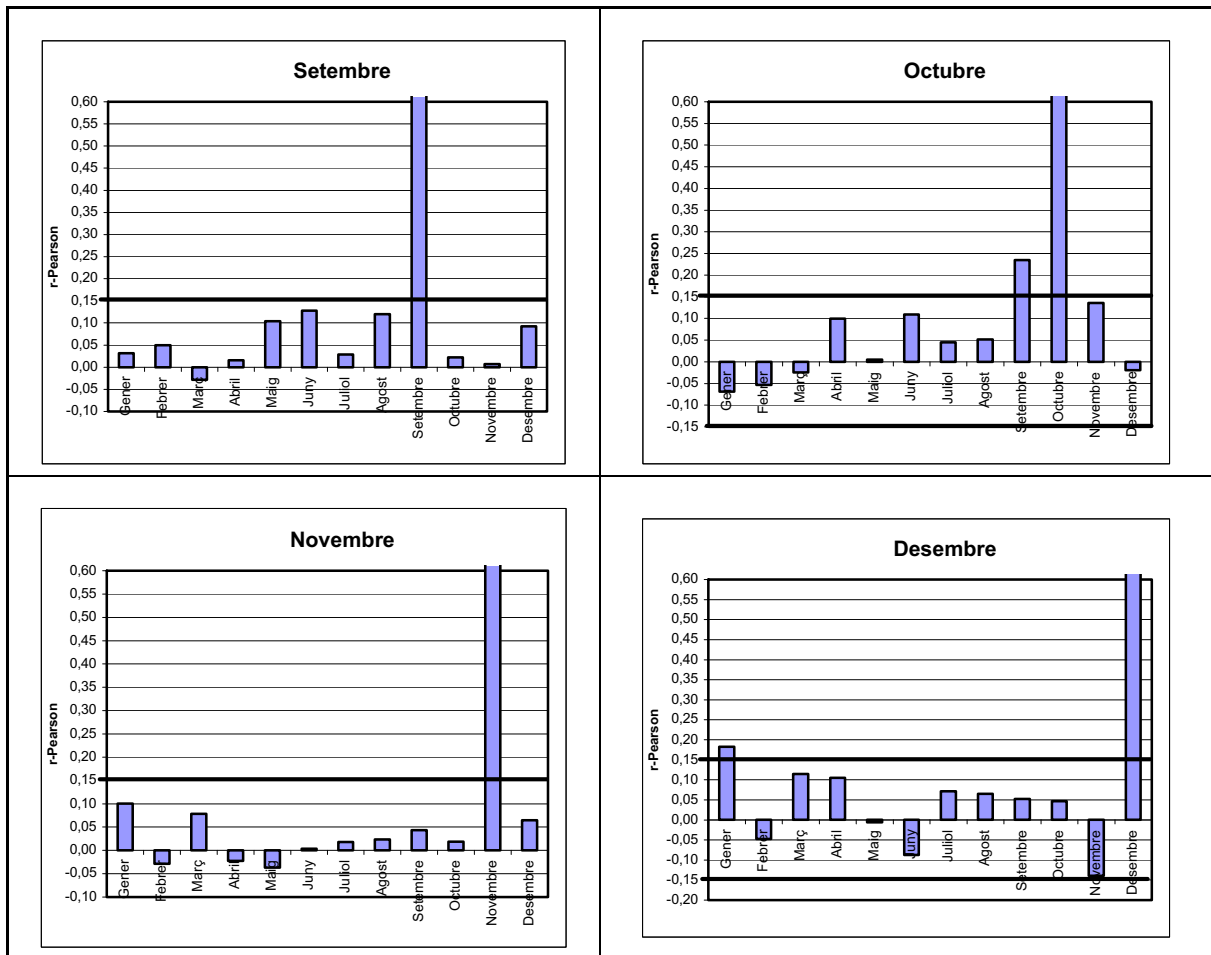


Figura 26. Ídem que Fig. 25, però entre el WeMOi d'un mes concret amb el WeMOi dels mesos següents.

3.7. ANÀLISI DE L'EVOLUCIÓ TEMPORAL DE LA VARIABILITAT PLUVIOMÈTRICA: 1951-1975 i 1976-2000

Les variabilitats pluviomètriques es poden veure influïdes per un canvi en l'afinitat de la pluviometria dels Països Catalans a un patró o un altre de teleconnexió. En una anàlisi anual, per estacions, a excepció de l'estiu, quan els patrons anul·len la seva funcionalitat, i per al semestre fred, es representa per al període d'estudi, 1951-2000, i els subperíodes, 1951-1975 i 1976-2000: la mitjana pluviomètrica (X), la distribució espacial de la correlació entre la precipitació i cadascun dels índexs dels patrons ($WeMOi$, $NAOi$ i AOi), la distribució espacial de la resta entre els valors absoluts dels coeficients de correlació entre la precipitació i el $WeMOi$ i el $NAOi$, el coeficient de variació (CV) i un índex d'irregularitat temporal (S_1). Aquests dos últims indicadors ens permetran esbrinar canvis en la irregularitat pluviomètrica, definint les àrees de precipitació més pròpiament mediterrànies.

El CV és una mesura de dispersió relativa per comparar les variabilitats pluviomètriques de diferents observatoris i es defineix com el simple quocient entre la desviació típica i la mitjana, i es pot optar per expressar-ho en percentatge: $CV = (S/X) \cdot 100$ (%). El S_1 és un índex d'irregularitat temporal anomenat en origen *índex de disparitat consecutiva*, el qual fou proposat per Martín-Vide (1987) per avaluar l'ordre temporal de la pluviometria, i es defineix com la mitjana dels valors absoluts dels logaritmes neperians dels quocients de cada valor i el precedent: $S_1 = (\sum |\ln(P_{i+1}/P_i)|)/(n-1)$. Els anys amb registre 0 mm se substitueixen per un valor inferior a 1 mm, que no sigui 0, per tal de resoldre la indeterminació. Aquest índex ofereix una representació espacial de la irregularitat pluviomètrica amb certs matisos interessants respecte a la del CV , realçant el pes pluviomètric amb origen a la conca mediterrània, que es caracteritza per una elevada irregularitat temporal (Martín-Vide, 2003).

Malgrat que 25 anys és inferior als 30 anys que es requereixen per a l'anàlisi climàtic, comparar els períodes 1951-1975 i 1976-2000 és interessant, si es té en compte que, a principis del segle, és quan s'inicia un increment de la temperatura global. Ambdós subperíodes inclouen exactament 15 anys del període de referència 1961-1990. Per calcular les correlacions amb els patrons s'usen valors estandarditzats, mentre per a la X , CV i S_1 s'utilitzen els totals pluviomètrics.

El llindar de la significació de les correlacions al 0.05 és 0.39, però els mapes de correlacions s'omplen de color a partir de la isolínia 0.3 per poder comparar amb el mapa de tot el període d'estudi 1951-2000.

3.7.1. PAÏSOS CATALANS CONTINENTALS

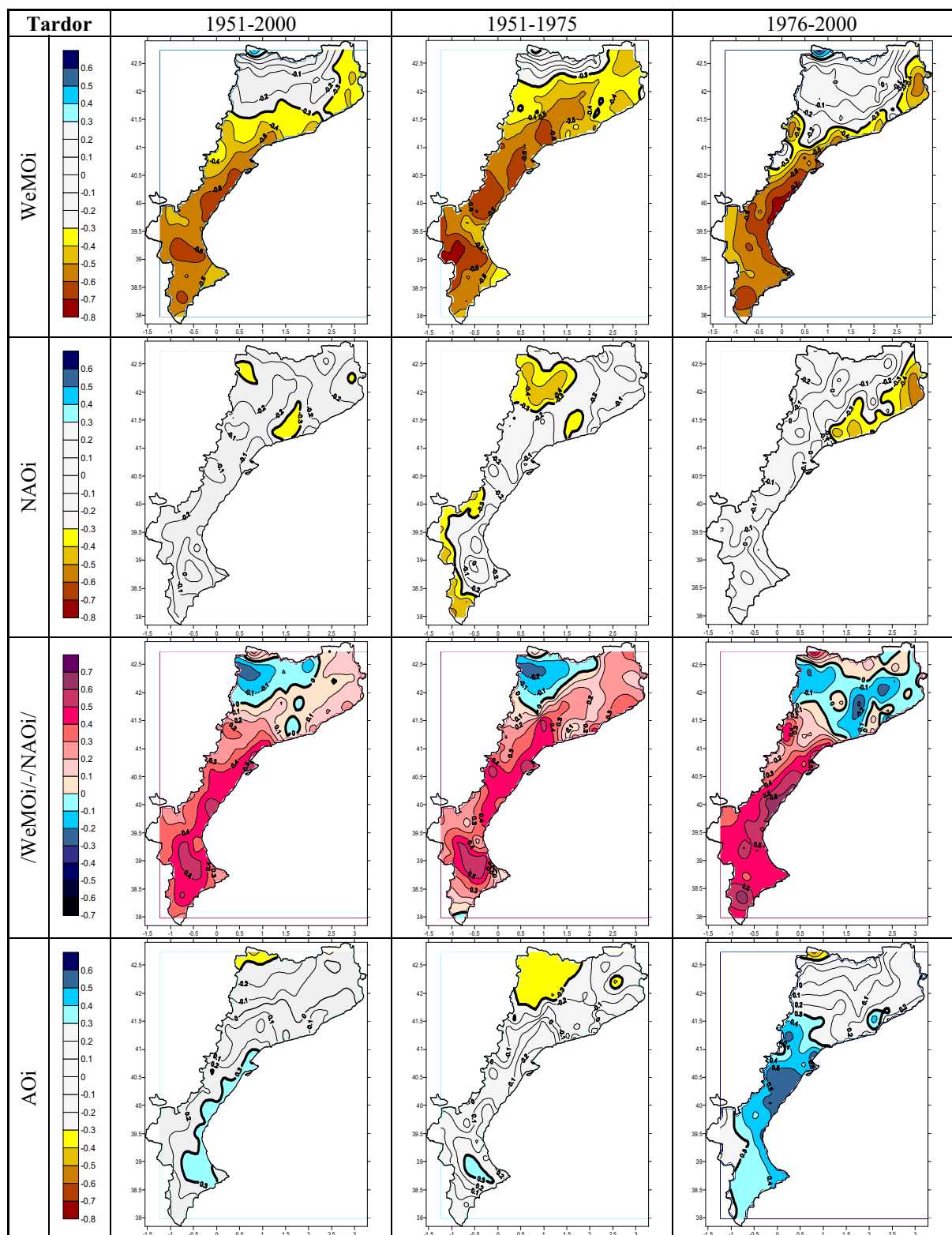
3.7.1.1. Tardor (SON) (Figura 27)

La influència de la WeMO s'ha reduït en extensió en els Països Catalans a l'últim quart del segle XX. És a causa del debilitament de la seva influència sobre el territori de Catalunya. D'altra banda, s'ha realçat per tot el litoral de l'àrea d'estudi. En la seva fase positiva s'ha incrementat (Val d'Aran). La màxima influència del patró mediterrani s'ha reforçat en el conjunt del País Valencià, sobretot, al voltant del Golf de València. Altres àrees on la WeMO ha guanyat protagonisme és a l'Empordà. És en aquesta darrera àrea on la NAO aconseguix recentment certa influència. On la retirada de la WeMO és més apreciable és a l'interior de Catalunya i del País Valencià; en conseqüència, en el mapa de diferències absolutes entre ambdós coeficients la WeMO perd força en el conjunt de Catalunya, a excepció, de l'àrea de Val d'Aran on s'imposa en la seva fase positiva. La totalitat de l'àrea del País Valencià es troba absolutament sota un major domini de la WeMO a finals del segle XX, sigui per la pèrdua del pes de la NAO a l'interior, com pel reforçament de la influència de la WeMO al litoral. El canvi de la influència de l'AO és similar, però en signe contrari, al de la WeMO, doncs, aquesta ha augmentat on la WeMO té una influència neta per sobre de la NAO, el conjunt del País Valencià i la Val d'Aran. Es pot atribuir aquest reforçament de l'efecte de la WeMO en les àrees esmentades a la major dinàmica que ha après l'AO a finals del segle XX a la tardor. Es reflecteix amb una tendència positiva de l'AOi durant la segona meitat del segle XX, i en conseqüència, amb un comportament oposat que se'n deriva en el WeMOi en tenir una davallada (Taula 3). Sobretot, cal tenir en compte que la 6a. fase oposada entre l'AO i la WeMO és molt extrema positiva per a l'AO i negativa per a la WeMO, i té lloc en el segon subperíode (Figura 9).

Els màxims pluviomètrics a la tardor són en aquelles àrees més mediterrànies on la WeMO exerceix una major influència: Pirineu gironí, prelitoral de Castelló i sud del Golf de València. El conjunt del Pirineu Occidental acull un màxim secundari pluviomètric. Tot i que el WeMOi mostra una certa tendència negativa, el conjunt dels Països Catalans continentals té una reducció pluviomètrica sense excepció. Només alguns punts de la Catalunya Central es mostren estables i amb un lleuger increment per un major pes de la NAO per sobre de la WeMO, ja que el NAOi té una tendència negativa en aquesta estació (Taula 3).

El CV és coherent amb el patró de la WeMO. Ha tingut una disminució a Catalunya, on la WeMO ha perdut influència, i en canvi, té un cert augment al País Valencià i a la Val

d'Aran i rodalies, on la WeMO ha guanyat pes. El S_1 concreta un augment de la irregularitat pluviomètrica temporal a zones de l'interior del País Valencià i al Pirineu Occidental. Ambdós índexs (CV i S_1) mostren com el pes de la WeMO, que produeix un règim pluviomètric altament variable, s'ha reduït en zones com el Cap de Creus o la Costa Vermella (nord-est de l'àrea d'estudi) que durant el primer subperíode tenien una major torrencialitat.



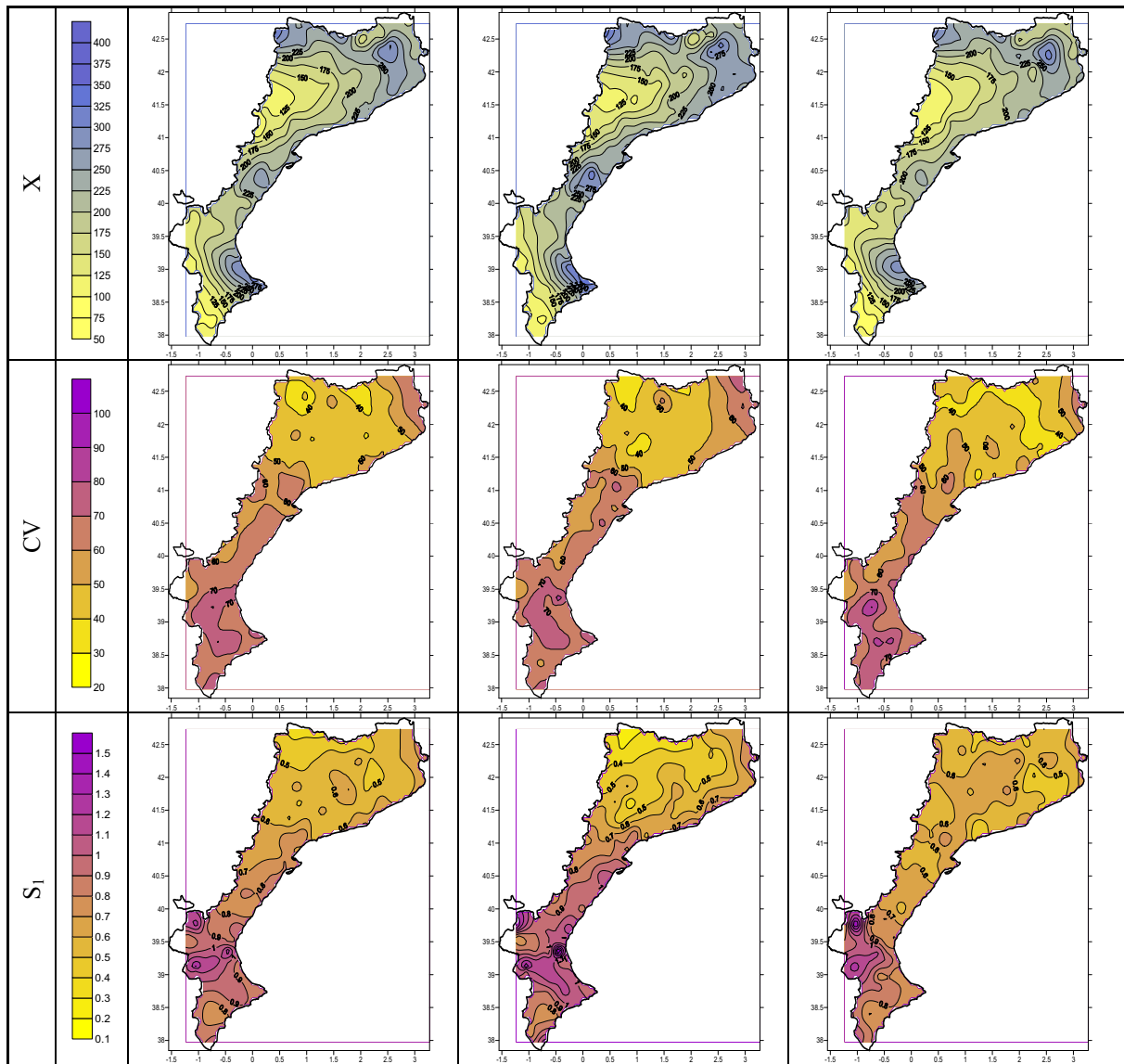


Figura 27. Mapes de correlacions entre el WeMOi, el NAOi i l'AOi i la pluviometria, i mapes de les diferències entre els valor absoluts dels coeficients de les dues primeres correlacions, de la precipitació mitjana (X) (mm), del CV (%) i del S₁, als Països Catalans continentals, per a l'estació de la tardor (SON) i per als períodes 1951-2000, 1951-1975 i 1976-2000.

3.7.1.2. Hivern (DGF) (Figura 28)

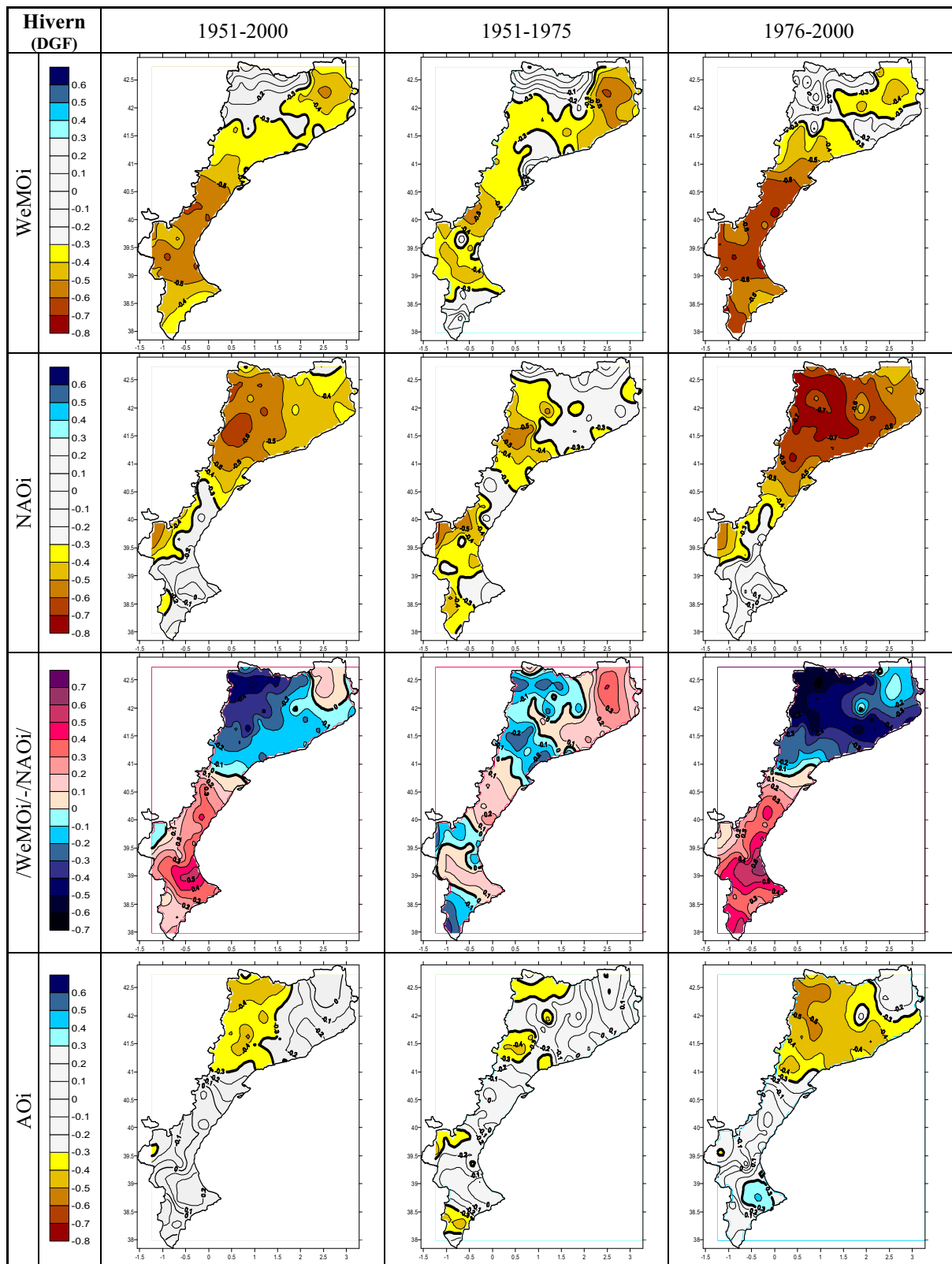
La influència de la WeMO augmenta d'extensió en el conjunt dels Països Catalans continentals en l'últim quart de segle, reforçant-se al País Valencià. En canvi, al Pirineu gironí, la WeMO també hi obté bones correlacions però més reduïdes en el segon subperíode respecte al primer. D'altra banda, la influència de la NAO guanya molt terreny i intensitat a Catalunya, mentre al País Valencià s'esmoreix, sobretot, en la seva meitat sud. En conseqüència, la influència neta de la WeMO per sobre de la NAO augmenta al País Valencià, però desapareix tant a les comarques de Girona i de la Catalunya Nord com a la Val d'Aran. L'AO reforça la seva influència als Països Catalans en les seves dues fases, en la negativa en el conjunt de Catalunya que s'associa a aquest major domini de la NAO, i en la positiva, a les

Muntanyes d'Alacant-València, per aquest augment del pes de la WeMO a la meitat sud del País Valencià.

Si es tenen presents les tendències dels índexs dels patrons per a la segona meitat del segle XX: WeMOi (negativa i significativa), NAOi (positiva, però no significativa) i AOi (positiva i significativa), és lògic detectar una reducció de la pluviometria a l'interior de Catalunya, donat que es troba fortament influenciada per l'AO i la NAO en la seva fase negativa, i un augment de la precipitació en el conjunt del País Valencià i del Pirineu gironí i de la Catalunya Nord, que són àrees amb elevades correlacions negatives amb la WeMO.

El CV ha augmentat, en general, a tot arreu de l'àrea d'estudi per un increment de la influència de la WeMO, tant en extensió, com en intensitat, a la major part del territori dels Països Catalans. S'assoleixen uns valors màxims per sobre del 80% a les Muntanyes d'Alacant, a l'interior del sud de Catalunya i al Pirineu Oriental⁴. D'altra banda, el mapa del S₁ discrepa en aquesta estació del mapa del CV, doncs, es redueix en general en el conjunt del territori, a excepció de l'àrea central del Golf de València. En conjunt, tant el S₁ com el CV són més elevats en aquesta estació de l'hivern que a la tardor, perquè hi ha una major irregularitat pluviomètrica temporal. Hi ha alguns hiverns que en certs punts es registra una precipitació inferior als 5 mm, valor que no és tan freqüent a la tardor en ser l'estació més plujosa a la major part del territori, i en altres hiverns es poden acumular quantitats equivalents a les de la tardor per situacions mediterrànies típiques que poden tenir lloc a principis de desembre o al febrer, o per les típiques situacions del nord-est hivernals que acumulen grans quantitats a la meitat sud del País Valencià (Azorín-Molina i López-Bustins, 2004; Lopez-Bustins *et al.*, 2006).

⁴ Tot i la davallada de la influència de la WeMO en el cas del Pirineu Oriental a l'hivern, el CV s'incrementa possiblement per un augment en aquesta estació de la freqüència dels fluxos del nord-est que comporten precipitacions de caràcter intens i torrencial (veure capítol 4). Aquesta component té una major incidència a les Muntanyes d'Alacant quant a aportació d'humitat, però també pot afavorir precipitacions torrencials al Pirineu Oriental depenent del recorregut marítim dels fluxos pel Golf de Lleó.



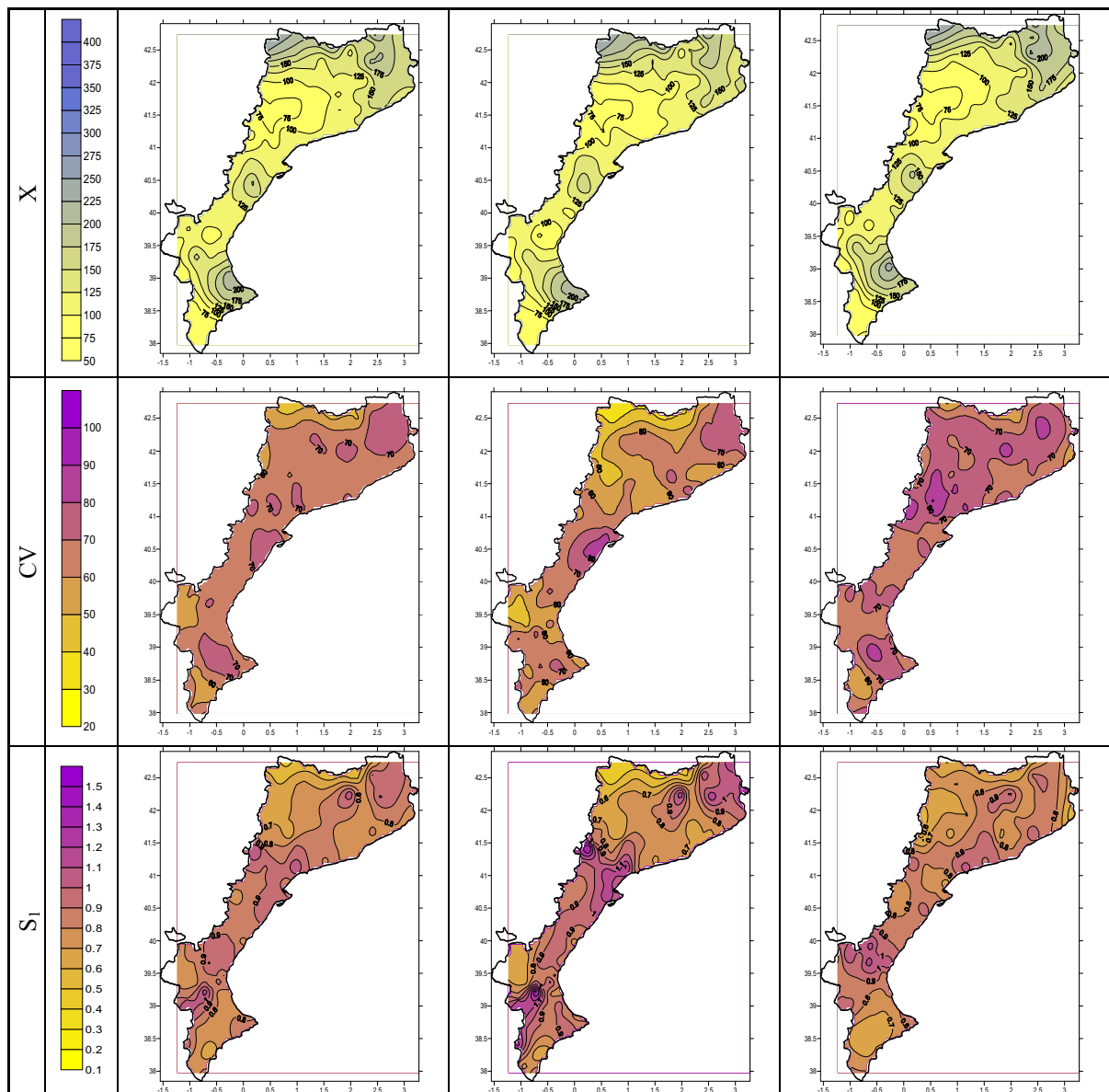


Figura 28. Ídem que Fig. 27, però per a l'estació d'hivern (DJF) durant els període 1951/52-1999/2000, 1951/52-1975/76 i 1976/77-1999/2000.

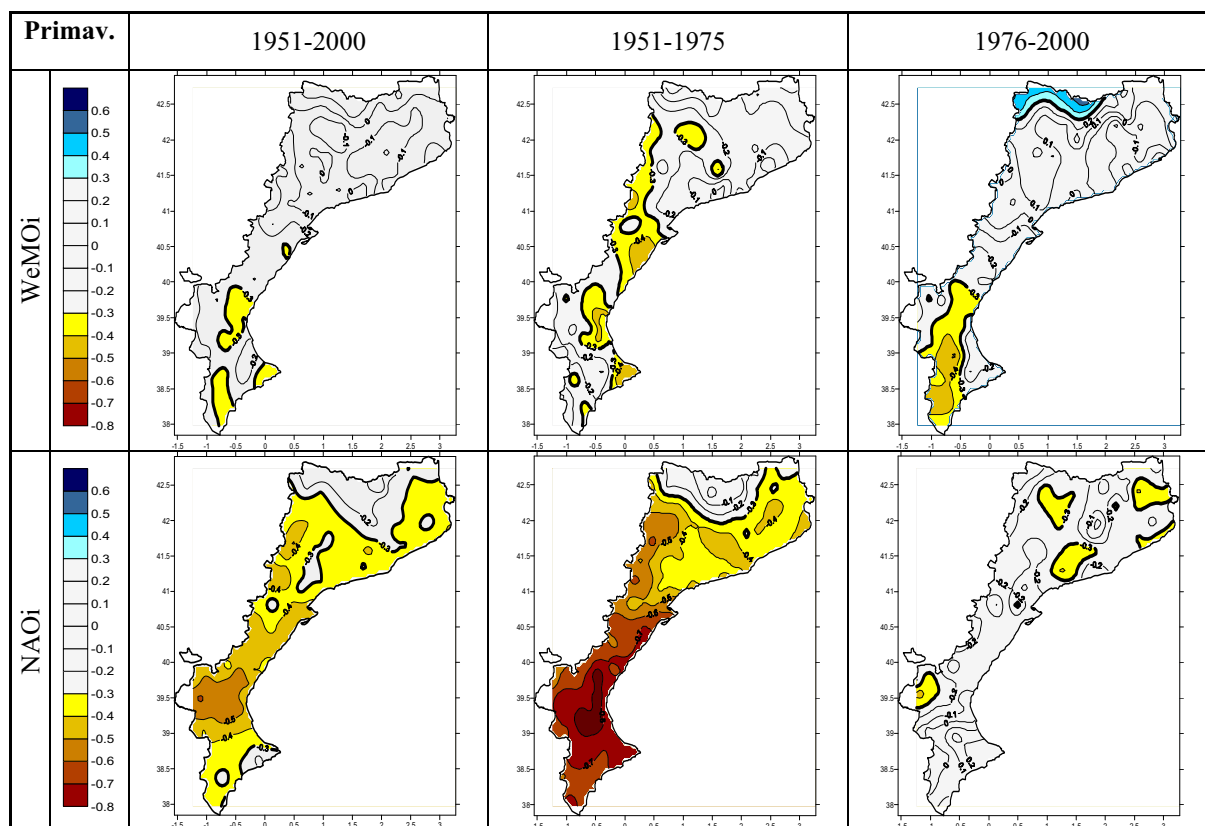
3.7.1.3. Primavera (MAM) (Figura 29)

El canvi més visible és la desaparició gairebé total de la influència de la NAO en acabar el segle XX, quan en el primer subperíode 1951-1975, la seva influència era molt extensa i molt intensa, especialment, en el País Valencià. El paper de la WeMO, en canvi, es manté força al marge en aquesta estació. La correlació positiva del WeMOi amb la precipitació del Pirineu Occidental s'ha reforçat, i la negativa a la meitat sud del País Valencià també. En conseqüència, hi ha hagut una mutació d'una primavera totalment sota el domini de la NAO en el primer subperíode, a una primavera de finals de segle amb una influència de la WeMO en la major part del País Valencià i en el Pirineu Occidental, essent màxima a la Val d'Aran i a la Ribagorça, i un domini de la NAO només per a la resta de

Catalunya llevat de l'Alt Pirineu. L'AOi no presenta correlacions significatives amb la precipitació de l'àrea d'estudi en el primer subperíode, però, amb el reforçament de la WeMO al segon subperíode, apareix una certa correlació en signe positiu a la meitat sud del País Valencià i en un punt dels Pirineus en negatiu, Ransol (Andorra).

Tot i que els índexs dels patrons es presenten sense tendències definides com a la tardor (Taula 3), hi ha una reducció pluviomètrica generalitzada, i només hi ha un lleuger increment a l'interior de les Muntanyes d'Alacant, el Comtat i l'Alcoià. Les seves pluviometries es correlacionen positivament amb l'AOi, patró que ha accentuat sensiblement el seu efecte en aquesta estació. El CV i el S₁ han disminuït en el conjunt dels Països Catalans. Només s'han mantingut o incrementat lleugerament a la meitat sud del País Valencià, que pot estar relacionat amb el reforçament que han tingut la WeMO i l'AO en la seva influència en la pluviometria d'aquesta àrea.

La conversió d'una primavera sota el domini de la NAO a una sota el de la WeMO, sobretot al País Valencià, a finals del segle XX podria estar vinculada a l'augment significatiu de la temperatura superficial del mar (variable que es tracta més endavant en aquest capítol 3) a la conca de la Mediterrània Occidental en aquesta estació de l'any, car els índexs dels patrons de teleconnexió no presenten tendències significatives (Estrela *et al.*, en premsa). Aquests autors han detectat un augment dels totals pluviomètrics d'origen mediterrani al País Valencià a la primavera, sobretot al mes d'abril, per un suposat increment de la capacitat higromètrica de les masses d'aire supramediterrànies en escalfar-se l'aigua del mar.



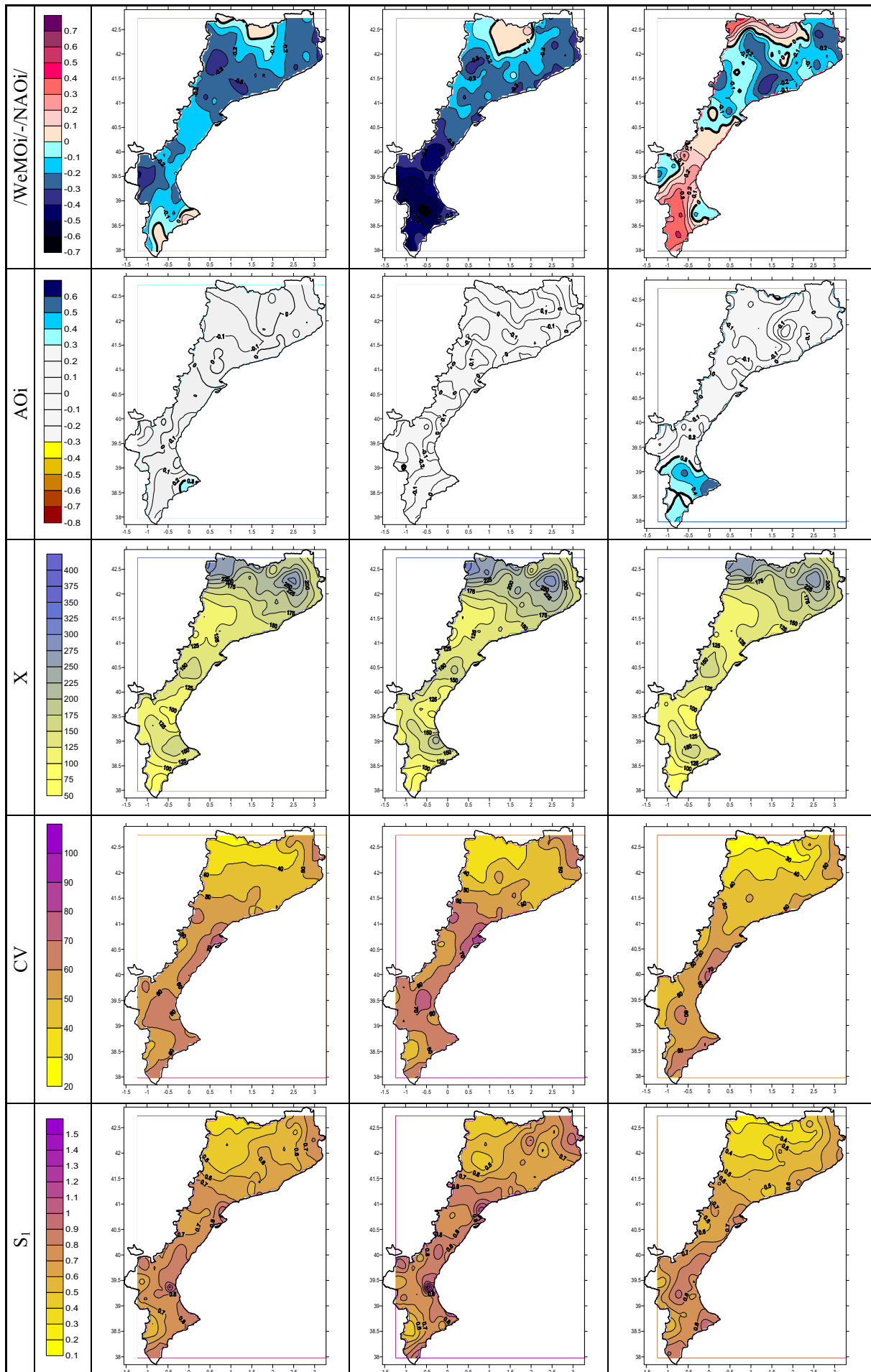


Figura 29. Ídem que Fig. 27, però per a l'estació de primavera (MAM).

3.7.1.4. Semestre fred (d'octubre a març) (Figura 30)

Es reflecteix el que s'entreveia en l'anàlisi per estacions: un reforçament de la WeMO en la seva fase negativa al País Valencià, i un increment en la seva fase positiva al Pirineu Occidental. El paper de la WeMO gairebé desapareix en el conjunt de Catalunya. La NAO actua a l'inversa de la WeMO, s'enforteix a Catalunya, però es debilita al País Valencià. La NAO, en conseqüència, guanya territori arreu dels Pirineus, tot i el reforçament de la correlació positiva del WeMOi a la zona més occidental. No obstant, en un reducte de la Val d'Aran, la influència positiva de la WeMO és lleugerament superior a la influència negativa de la NAO. L'AO conserva la seva influència en la meitat occidental de Catalunya, estenent-se fins al Pirineu Occidental, i en la seva influència positiva apareix en nous punts del País Valencià.

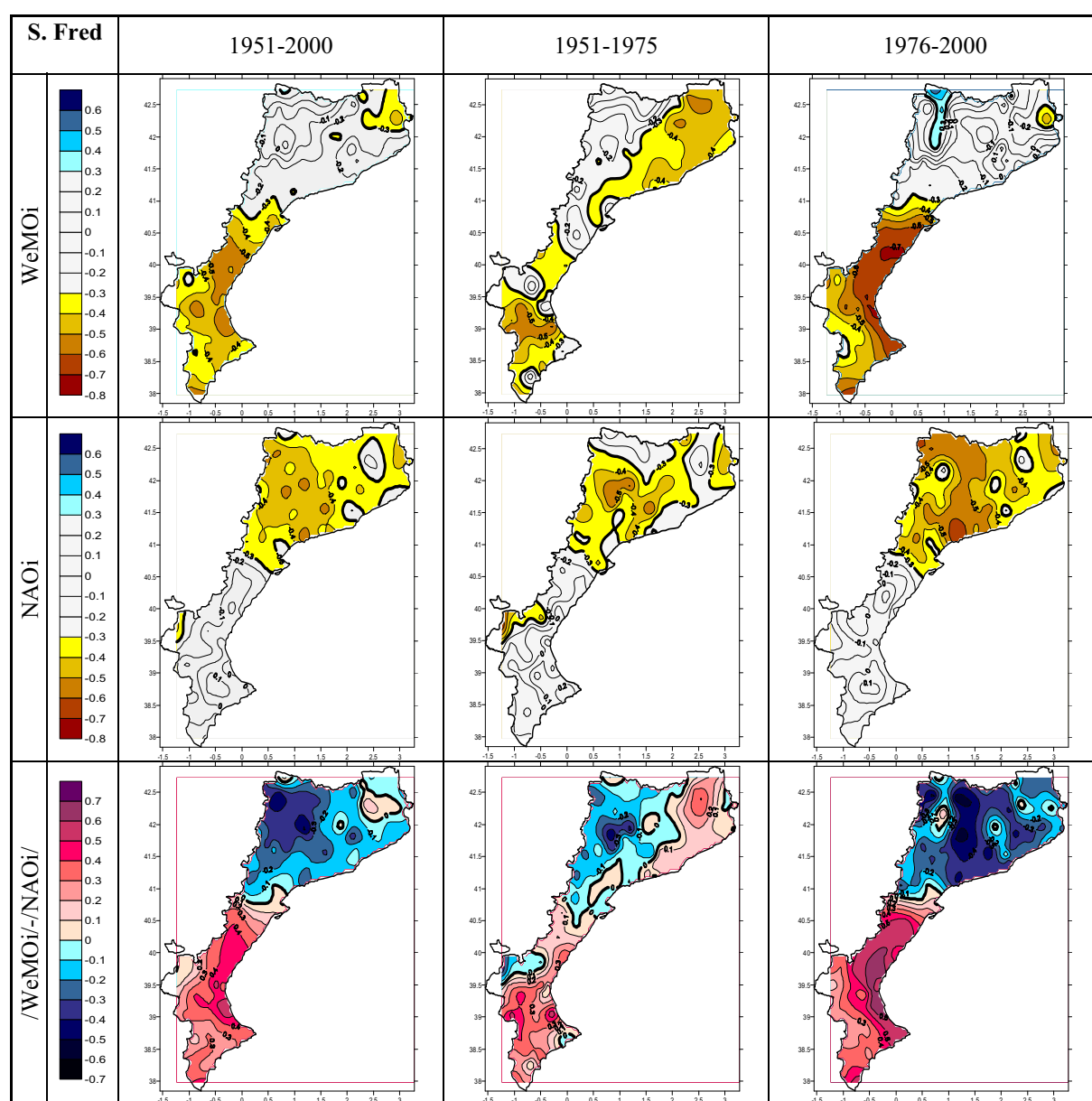
Si es torna a visualitzar la Taula 3, d'aquest mateix capítol, cal insistir en la idea que l'AOi té una tendència significativa i positiva, i en conseqüència, el WeMOi una de significativa i negativa. Aquest fet explica l'increment de la influència de la WeMO al País Valencià i a la Val d'Aran. És per això que apareixen nous enclavaments al País Valencià molt correlacionats positivament amb l'AOi, en el segon subperíode 1976-2000; en són un exemple les comarques castellonenques.

Tal com succeïa a la tardor i a la primavera, no hi ha una correspondència entre les tendències del WeMOi, negativa i significativa, i la pluviometria dels Països Catalans, reducció o no variació arreu del territori. Aquesta davallada de la precipitació és en part lògica perquè bona part de Catalunya es correlaciona negativament amb l'AOi, el qual ha mostrat un creixement significatiu durant la segona meitat del segle XX. La NAO que predomina en la integritat de Catalunya en el segon subperíode, també ha mostrat uns valors del seu índex més elevats al llarg del segon subperíode encara que de forma no significativa. No obstant, no s'explica mitjançant els patrons, la reducció generalitzada de la precipitació al País Valencià, on en el segon subperíode, tant la WeMO com l'AO han incrementat notablement la seva influència.

El CV augmenta en el conjunt del País Valencià i a la Val d'Aran i rodalies perquè són les àrees on la WeMO ha guanyat un major pes. La retirada de la influència negativa de la WeMO en el conjunt de Catalunya es reflecteix amb una davallada del CV, que s'aguditza en aquelles àrees de la Catalunya Nord i de Girona, on el pes de la WeMO havia estat superior al de la NAO durant el primer subperíode. Aquesta retirada de la influència de la WeMO al voltant del Pirineu Oriental es demostra en una reducció sobtada del S_1 . Aquest índex, no obstant, no encaixa com el CV amb la WeMO, perquè mostra tant una disminució a

Catalunya, com al País Valencià, i només en una zona interior de València hi ha un cert augment que no es justifica amb els altres mapes. A la Val d'Aran, en canvi, augmenta tant el S_1 com el CV per la major influència de la WeMO.

Es detecta un descens pluviomètric general, però hi ha certs punts de les muntanyes del nord d'Alacant que es mostren invariables, o, fins i tot, tenen un augment significatiu (l'Alcoià) que no es detecta en una anàlisi visual, però es delimitaren en l'anàlisi de tendències de la Figura 17. A la Catalunya Central, concretament a l'ombra pluviomètrica del Baix Berguedà (Puig-reig), hi ha un cert increment, una àrea on la WeMO és lleugerament més explicativa que la NAO, amb un increment considerable del coeficient de variació.



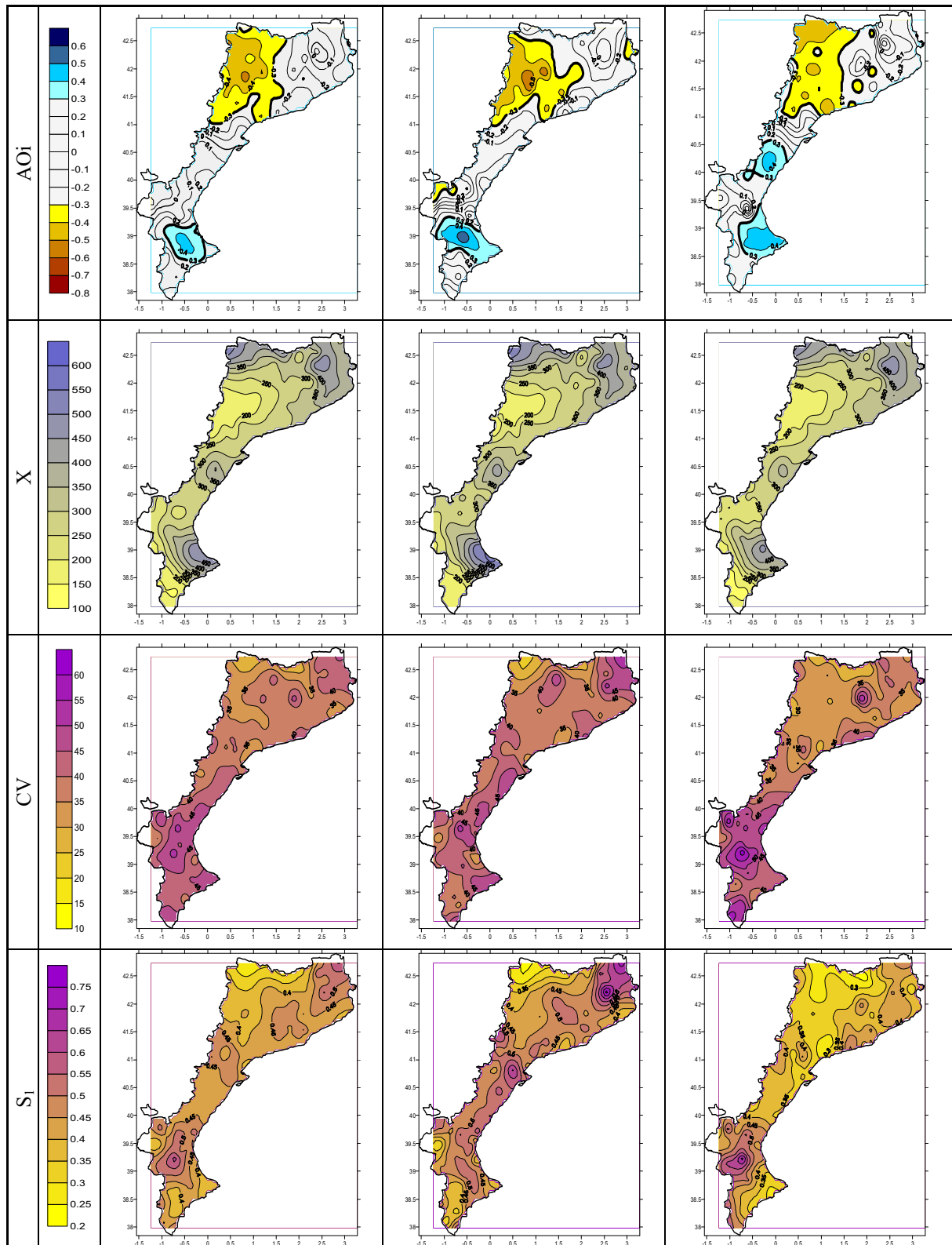


Figura 30. Ídem que Fig. 28, però per al semestre fred (ONDGFM).

3.7.1.5. Anual (Figura 31)

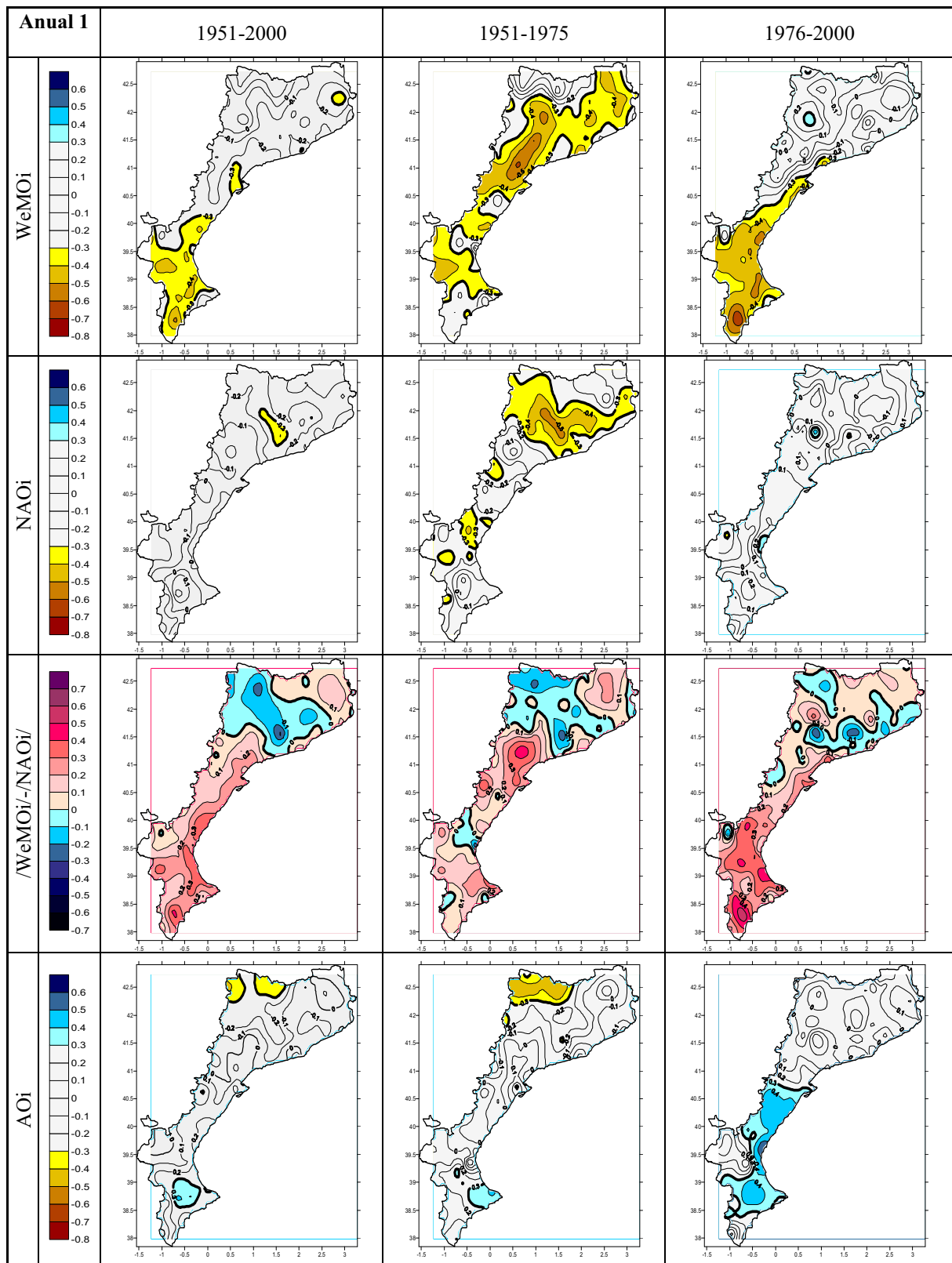
S'ha treballat per defecte amb els valors anuals que corresponen als totals pluviomètrics de cada observatori (Anual 1). Repetint-se amb el que succeïa en anàlisis anteriors, la WeMO guanya força al País Valencià i es debilita a Catalunya en el segon subperíode. La NAO també anul·la els seus efectes sobre Catalunya, i per tant, no hi ha influència de la NAO enlloc dels Països Catalans continentals. En conseqüència, el País Valencià resta totalment sota el domini de la WeMO, i Catalunya és sota un domini alternat entre la WeMO i la NAO de forma poc definida. L'AOi estén la seva correlació positiva arreu del País Valencià, afavorint possiblement aquest increment del pes de la WeMO en la seva influència negativa. Al mateix temps, desapareix la correlació negativa al Pirineu i Prepirineu occidentals entre l'AOi i la precipitació, que es reflecteix amb l'anul·lació del paper de la NAO a Catalunya. La Val d'Aran no apareix sota una influència inversa de la WeMO i l'AO a aquesta escala temporal d'anàlisi en cap dels períodes.

L'AOi té una tendència significativa positiva que comporta una tendència significativa negativa del WeMOi, donant lloc a aquest augment de la influència d'ambdues oscil·lacions al País Valencià. No obstant, les precipitacions es redueixen arreu del territori d'estudi.

El CV s'incrementa de valors alts a uns de molt alts al País Valencià, superant el 45% en alguns punts de Castelló i Alacant. S'explica per aquesta major filiació de la zona al patró de la WeMO en la seva fase negativa. En canvi, a les planes de l'Empordà i del Rosselló i al Cap de Creus s'esmoreix el CV per una pèrdua del pes de la WeMO sobre la zona. Catalunya resta sense canvis al voltant de valors moderats i moderats-alts (Martín-Vide, 2003). L'àrea dels Pirineus resta com la zona de variabilitat més moderada dels Països Catalans. El S₁ té un comportament similar al del CV perquè augmenta en el conjunt del País Valencià a excepció de la zona de Castelló, no presenta variacions clares a Catalunya i disminueix a l'extrem nord-est dels Països Catalans.

EL CV i el S₁ anual posen de manifest que la Val d'Aran no té un comportament pluviomètric mediterrani, sinó atlàntic, en ser l'enclavament on s'assoleixen els valors més baixos d'aquest índex, per sota del 20% i de 0.20, respectivament.

L'evolució de la variabilitat pluviomètrica del País Valencià es correspon amb l'augment de la concentració mensual de la precipitació del conjunt de tota la conca mediterrània al llarg de la segona meitat del segle XX (Sumner *et al.*, 2001), i concretament, de la façana oriental de la Península Ibèrica (González-Hidalgo *et al.*, en avaluació).



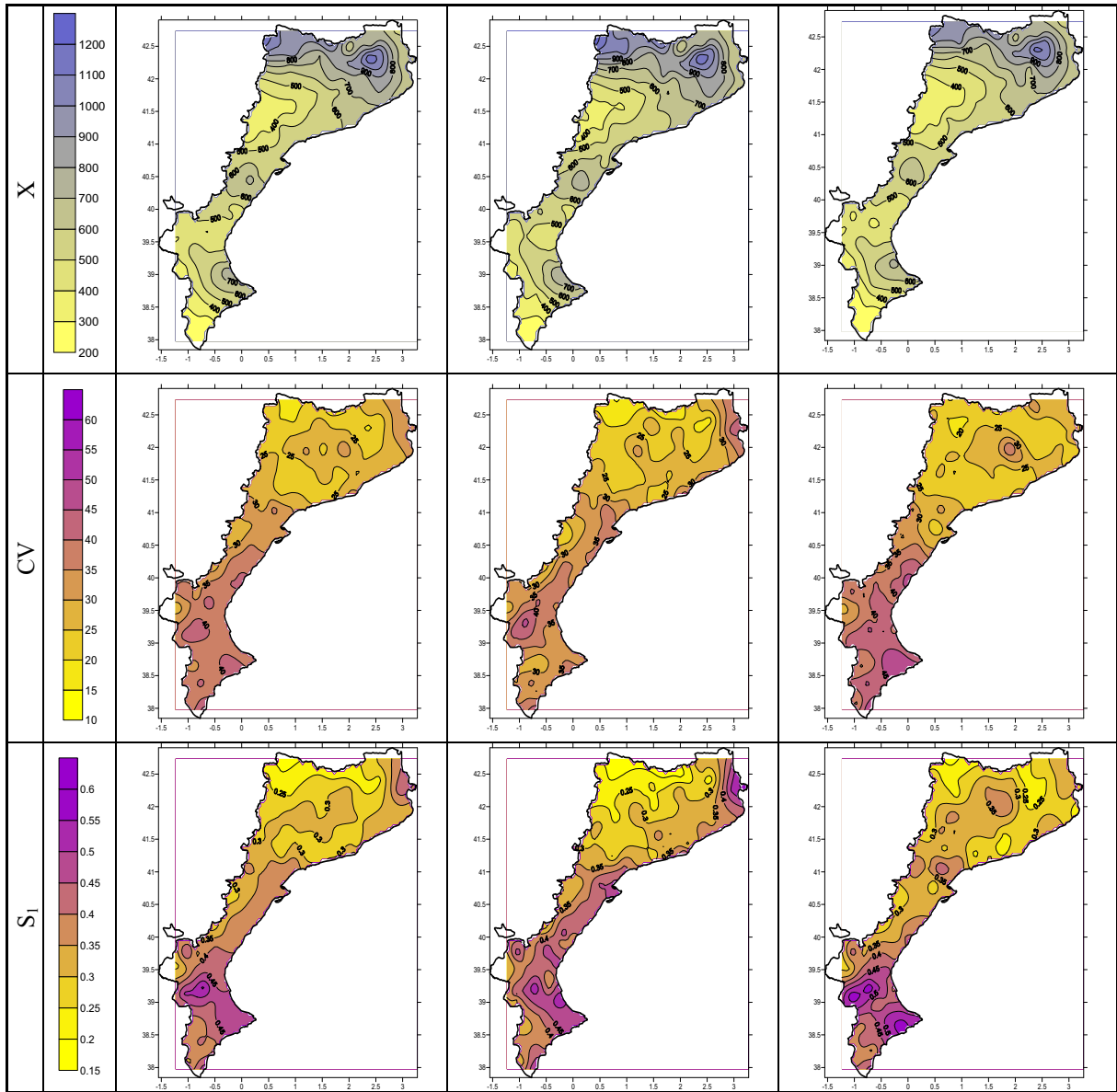


Figura 31. Ídem que Fig. 27, però a resolució anual 1.

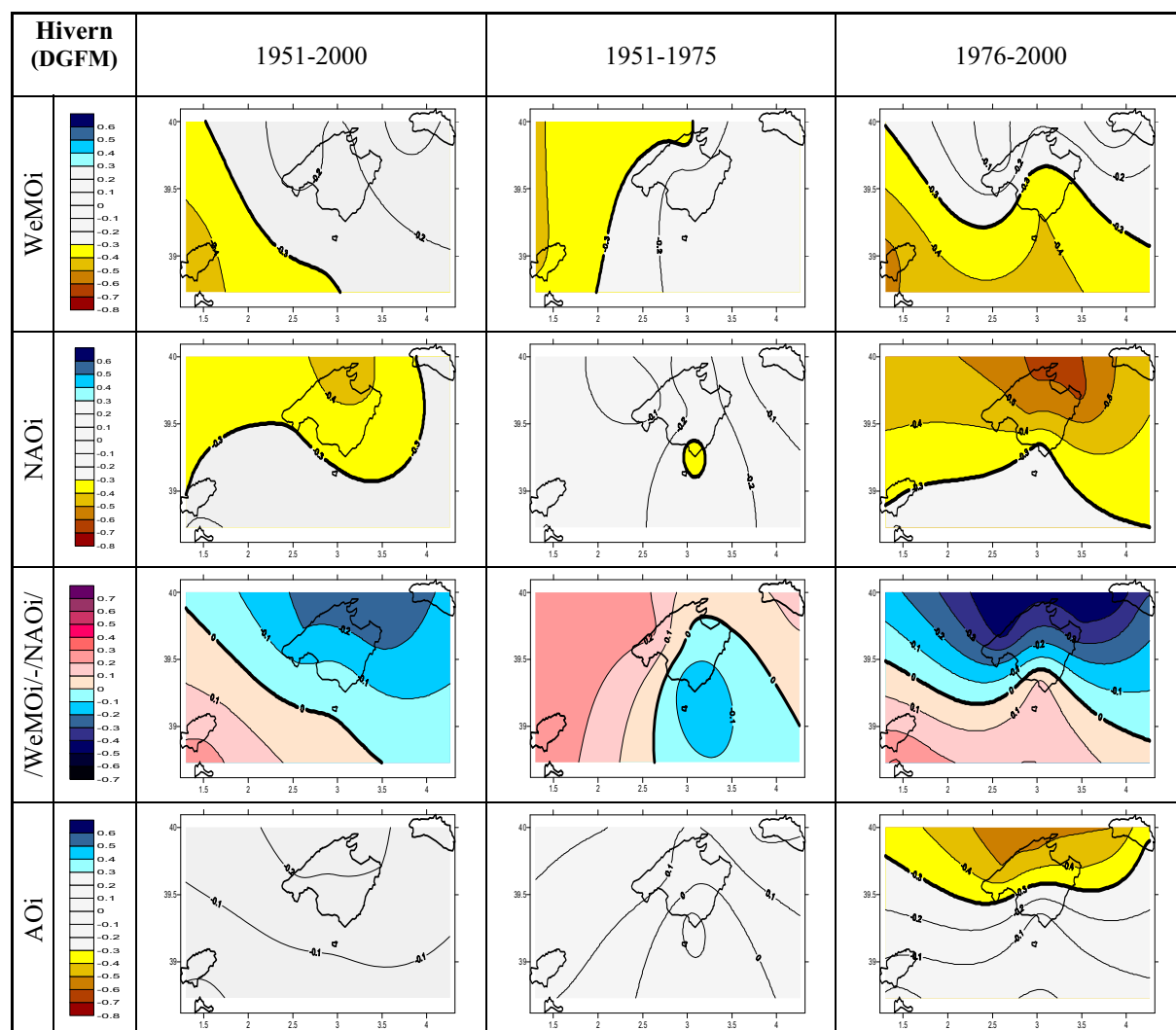
3.7.2. PAÏSOS CATALANS INSULARS (Figura 32)

Davant les correlacions irregulars entre la pluviometria de les Illes Balears i els patrons de circulació per la seva ubicació geogràfica en el cor de la conca de la Mediterrània Occidental, només s’ha analitzat l’estació hivernal en la seva versió llarga (DGFM), període en el qual les pluviometries de les Illes Balears presenten certes correlacions significatives amb els patrons.

La WeMO ha reforçat la seva influència a la meitat sud, i la NAO a la meitat nord. Com a conseqüència, cal dividir el quadrant de les Illes Balears entre Eivissa, Formentera i l’extrem sud de Mallorca sota una influència pròpiament mediterrània, i la resta de l’illa de Mallorca i Menorca sota una d’atlàntica. L’AO, que no exercia influència en el primer

subperíode, el seu índex es correlaciona negativament amb la pluviometria de la meitat nord de l'àrea d'estudi durant el segon subperíode. No presenta una influència positiva a la meitat sud, com se suposava a priori, en cap dels períodes. Les tendències dels patrons són en relació amb el que succeeix a l'hivern curt i al semestre fred, una davallada del WeMOi i un increment del NAOi i de l'AOi durant la segona meitat del segle XX (Lopez-Bustins *et al.*, en avaluació). Tot i això, la reducció pluviomètrica és generalitzada, essent a la meitat nord raonable en estar sota el domini de la NAO i l'AO; però no ho és a la meitat sud, que es troba sota la influència de la WeMO.

Les Illes Balears presenten els mateixos resultats que els trobats als Països Catalans continentals a l'estació hivernal i semestre fred, però amb contrastos més marcats, amb una meitat nord on ha augmentat l'influència atlàntica i una meitat sud on s'ha incrementat la mediterrània. L'àrea que ha incrementat la seva irregularitat pluviomètrica segons el CV i el S_1 és la meitat oest del quadrant de les Illes Balears, sobretot, a les Pitiüses, on el WeMOi ha millorat la seva correlació negativa amb la precipitació en el segon subperíode.



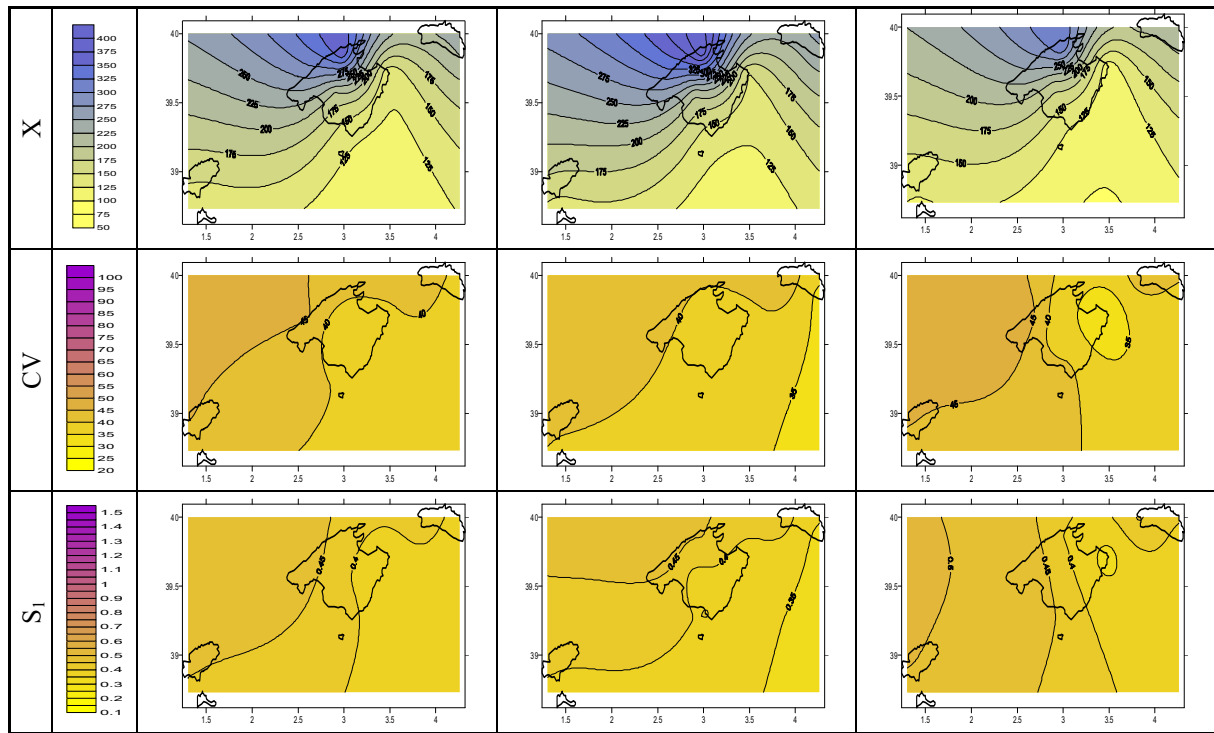


Figura 32. Ídem que Fig. 28, però per a l'hivern llarg (DGFM) a les Illes Balears.

3.7.3. SÍNTESI DE LA RELACIÓ ENTRE LES EVOLUCIONS DEL WEMOI I LA PLUVIOMETRIA ALS PAÏSOS CATALANS

En el conjunt de les estacions, la irregularitat pluviomètrica ha augmentat en aquelles zones on la WeMO ha reforçat la seva influència. Aquestes zones són el País Valencià, la Val d'Aran i Eivissa-Formentera. En canvi, s'ha reduït en aquelles àrees on la NAO ha guanyat terreny, Catalunya Nord i Sud, especialment en aquelles on durant el primer subperíode es trobaven sota el domini de la WeMO, el Pirineu Oriental i rodalies (a excepció d'alguns mesos estrictament hivernals). El WeMOi té una davallada significativa durant el semestre fred, que no es reflecteix en un augment de les pluviometries on ha augmentat la seva influència, només a l'estació hivernal. En general, la pluviometria es redueix en el conjunt dels Països Catalans.

L'aparició de correlacions significatives positives entre la precipitació i l'AOi en diferents àrees del País Valencià a finals del segle XX està relacionada amb la davallada del WeMOi. La tendència positiva d'aquest patró hemisfèric ha engegat un major dinamisme a la conca de la Mediterrània Occidental. Aquesta major dinàmica que ha pres l'AO per un reforçament dels vents de l'oest sobre el Nord d'Europa ha incrementat la irregularitat pluviomètrica al País Valencià. En conseqüència, el mapa de diferències absolutes entre els coeficients de correlació del WeMOi i el NAOi amb la pluviometria, i el mapa de correlacions de l'AOi s'assemblen més en el segon subperíode que en el primer.

3.8. EVOLUCIÓ TEMPORAL DE LA PLUVIOMETRIA ESTACIONAL I ANUAL DELS PAÏSOS CATALANS PER REGIONS SEGONS ELS PATRONS DE TELECONNEXIÓ

Per avaluar, en forma de síntesi, l'evolució temporal analitzada amb anterioritat en l'apartat 3.7., s'ha optat per usar les 12 regions dels Països Catalans definides en l'anàlisi espectral de l'apartat 3.5. d'aquest mateix capítol. Es valora quines regions han canviat d'afinitat d'un patró a un altre. Es considera que aquelles regions que expliquin la seva pluviometria mitjançant el patró de la WeMO en la seva fase negativa per sobre el de la NAO, seran les àrees més estrictament mediterrànies; i viceversa, aquelles àrees amb un major domini de la NAO per sobre de la WeMO seran atlàntiques, però sempre dins un context climàtic mediterrani, a excepció només de la regió IX (Val d'Aran), amb un clima oceànic propi (López-Bustins i Azorín-Molina, 2004). El paper de l'AO és per matisar el grau de caràcter mediterrani o atlàntic d'aquelles regions que tinguin una influència de la WeMO o de la NAO molt ben definida.

S'estableixen 7 categories segons la correlació entre la mitjana dels valors estandarditzats de precipitació de totes les sèries compreses en cada regió i els índexs dels patrons de l'AO, la NAO i la WeMO (es contempla la significació climàtica del 95% del nivell de confiança):

A) La pluviometria del conjunt de la regió es correlaciona significativa i negativament amb el WeMOi i la correlació amb el NAOi no és significativa. A més, hi ha una correlació significativa i positiva amb l'AOi.

B) La pluviometria del conjunt de la regió es correlaciona significativa i negativament amb el WeMOi i la correlació amb el NAOi no és significativa.

C) La pluviometria del conjunt de la regió es correlaciona amb signe negatiu i significativament tant amb el WeMOi com amb el NAOi, però amb més significació amb el WeMOi. O el conjunt de la regió es correlaciona negativament, però no significativament, tant amb el WeMOi com amb el NAOi, però el coeficient del WeMOi és més alt. O el conjunt de la regió es correlaciona negativament, però no significativament, amb el WeMOi però positivament amb el NAOi.

D) La pluviometria del conjunt de la regió es correlaciona amb signe negatiu i significativament, tant amb el WeMOi com amb el NAOi, però amb més significació amb el NAOi. O el conjunt de la regió es correlaciona negativament, però no significativament, tant amb el WeMOi com amb el NAOi, però el coeficient del NAOi és més alt. O el conjunt de la

regió es correlaciona negativament, però no significativament, amb el NAOi, i positivament amb el WeMOi, sempre i quan amb un coeficient en valor absolut inferior al del NAOi.

E) La pluviometria del conjunt de la regió es correlaciona significativa i negativament amb el NAOi i la correlació amb el WeMOi no és significativa.

F) La pluviometria del conjunt de la regió es correlaciona significativa i negativament amb el NAOi i la correlació amb el WeMOi no és significativa. A més, hi ha una correlació significativa i negativa amb l'AOi.

G) La pluviometria del conjunt de la regió es correlaciona positivament amb el WeMOi amb un coeficient en valor absolut superior al del NAOi.

De la categoria A a la G hi ha una gradació de més mediterrani a atlàntic o menys mediterrani. Es poden agrupar les categories en tres àmbits: pròpiament mediterrani (A, B i C), mediterrani amb influència atlàntica (D, E i F) i pròpiament atlàntic (G).

Seguidament, tenint en compte les tendències dels índexs dels patrons de la WeMO, NAO i AO durant la segona meitat del segle XX, s'avalua segons l'afinitat a cada patró la tendència pluviomètrica de cada regió. Per avaluar-ho es fa la mitjana de tots els valors estandarditzats de cada sèrie d'una regió determinada. S'aplica el t-test, ja emprat en apartats anteriors, per detectar si la tendència és significativa. Per deduir el % o mm de variació a partir del valor estandarditzat de la tendència, segons Jones i Hulme (1996) s'ha de multiplicar aquest valor per la desviació típica deduïda de la mitjana de totes les desviacions típiques de les sèries de la regió, i sumar-li la mitjana de totes les mitjanes de totes les sèries de la regió. Les mitjanes i les desviacions que s'han emprat per estandarditzar les sèries són del període de referència 1961-1990. Una vegada, s'obtingui un valor en mm, es converteix en % a partir de la mitjana de les mitjanes, i s'indica que el conjunt de la regió ha variat un determinat % de la seva pluviometria al llarg d'un determinat període de temps segons el període base 1961-1990 (Saladié, 2003).

Els períodes de l'any a analitzar són com en anàlisis anteriors: la tardor (SON), hivern (DGF), primavera (MAM) i semestre fred (ONDGFM), i per al conjunt de l'any. Els resultats d'aquest apartat 3.8. són coherents amb els de l'apartat 3.7. tal com es descriu a continuació.

3.8.1. TARDOR (SON) (Figura 33)

En un principi, totes les regions litorals i de les Illes Balears tenen una filiació mediterrània, però evolucionen cap a una agudització del comportament mediterrani les del País Valencià i la de les Terres de l'Ebre, i cap a una filiació atlàntica les de la resta de Catalunya i la de les Illes. Com ja s'ha comentat amb anterioritat, un cert reforçament del vòrtex polar desencadena una fase negativa de la WeMO que es concentra a l'àrea més mediterrània dels Països Catalans, el País Valencià. Les tendències pluviomètriques indiquen una davallada lleugera en la majoria d'àrees tot i l'evolució negativa, encara que no significativa, del WeMOi. Al nord de les Illes Balears és on es detecta una davallada més crítica de la precipitació. Les comarques interiors de Catalunya mostren cert increment per correlacionar-se més satisfactòriament amb el NAOi, patró amb tendència negativa. L'increment pluviomètric més notable és a la Val d'Aran tot i la seva correlació positiva amb el WeMOi.

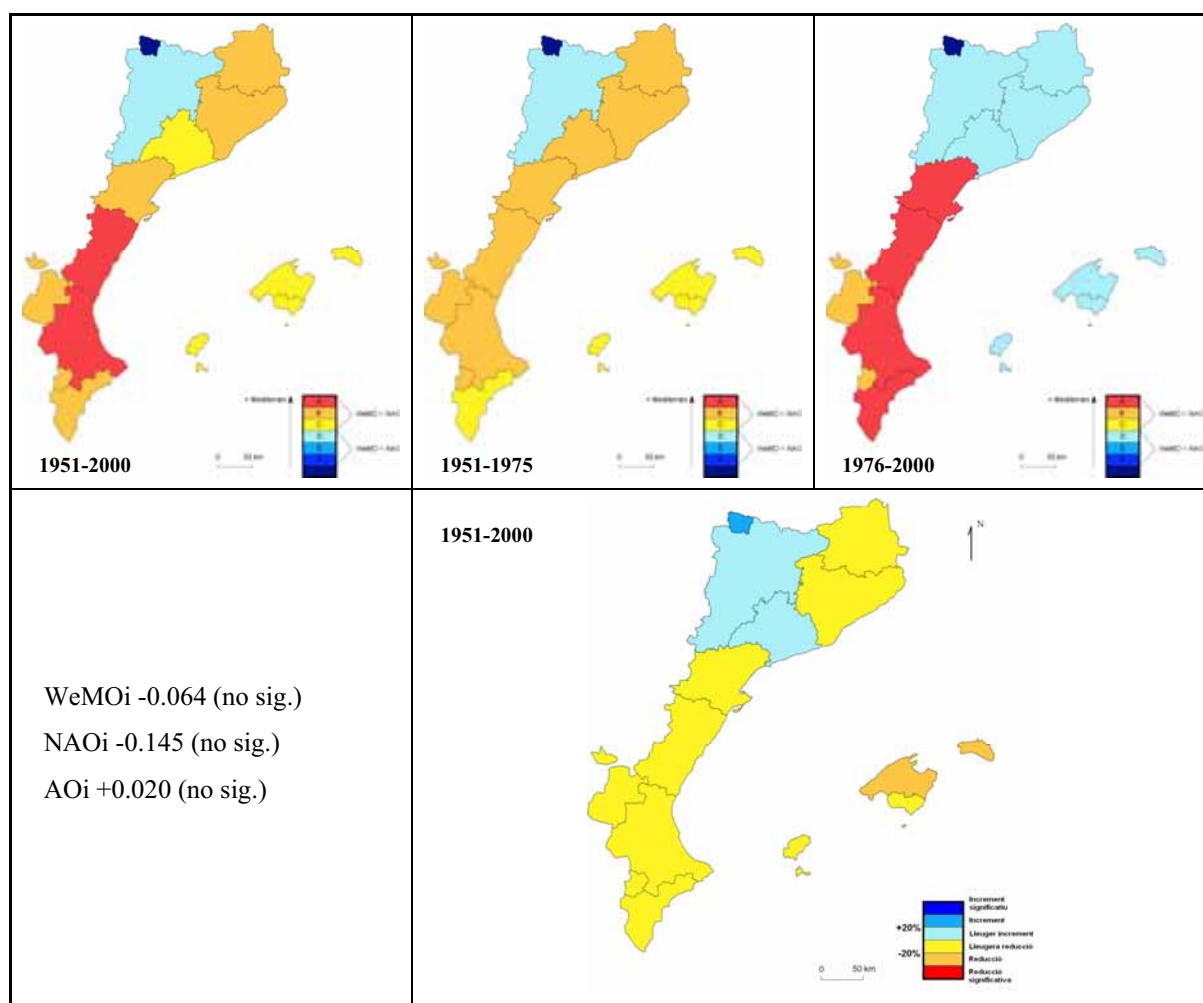


Figura 33. Tardor (SON). (A dalt) Evolució pluviomètrica de les regions dels Països Catalans en el conjunt del període d'estudi (1951-2000) i per subperíodes (1951-1975 i 1976-2000) segons la filiació als patrons de la WeMO, NAO i AO. (A baix) Tendències del WeMOi, del NAOi i de l'AOi (variació Z/ 10 anys) i variacions pluviomètriques per regions dels Països Catalans (calculades en % segons el període de referència 1961-1990) al llarg del període 1951-2000. Les significacions de les tendències són calculades segons el t-test.

3.8.2. HIVERN (DGF) (Figura 34)

El vòrtex polar es torna més fort i fred tal com indica la tendència positiva i significativa de l'AOi, comportant una davallada significativa del WeMOi. Com a la tardor, l'esdeveniment de fases extremes negatives de la WeMO comporta una focalització de la seva influència a les àrees més mediterrànies, al País Valencià i al sud de les Illes Balears. La Catalunya Nord i Sud esdevenen sota un domini de la NAO. En aquesta estació és l'única on es detecta un cert increment de precipitació generalitzat per una correspondència coherent entre les pluviometries de les regions establertes i els patrons de variabilitat. El WeMOi i l'AOi tenen unes correlacions oposades favorables a l'increment de pluviometria. Els majors augments, tot i no ser significatius, tenen lloc on hi ha una major correlació amb el WeMOi, el centre i el nord del País Valencià i la Catalunya Nord, encara que aquesta última regió esdevé força atlàntica en el segon subperíode (veure més endavant el subapartat 4.3.2.3. del capítol 4). L'interior de Catalunya i el nord de les Illes Balears redueixen la seva pluviometria per la tendència positiva del NAOi, no obstant, la davallada també té lloc al sud de les Illes tot i trobar-se sota el domini de la WeMO. La Val d'Aran hauria de tenir una reducció pluviomètrica que no succeeix.

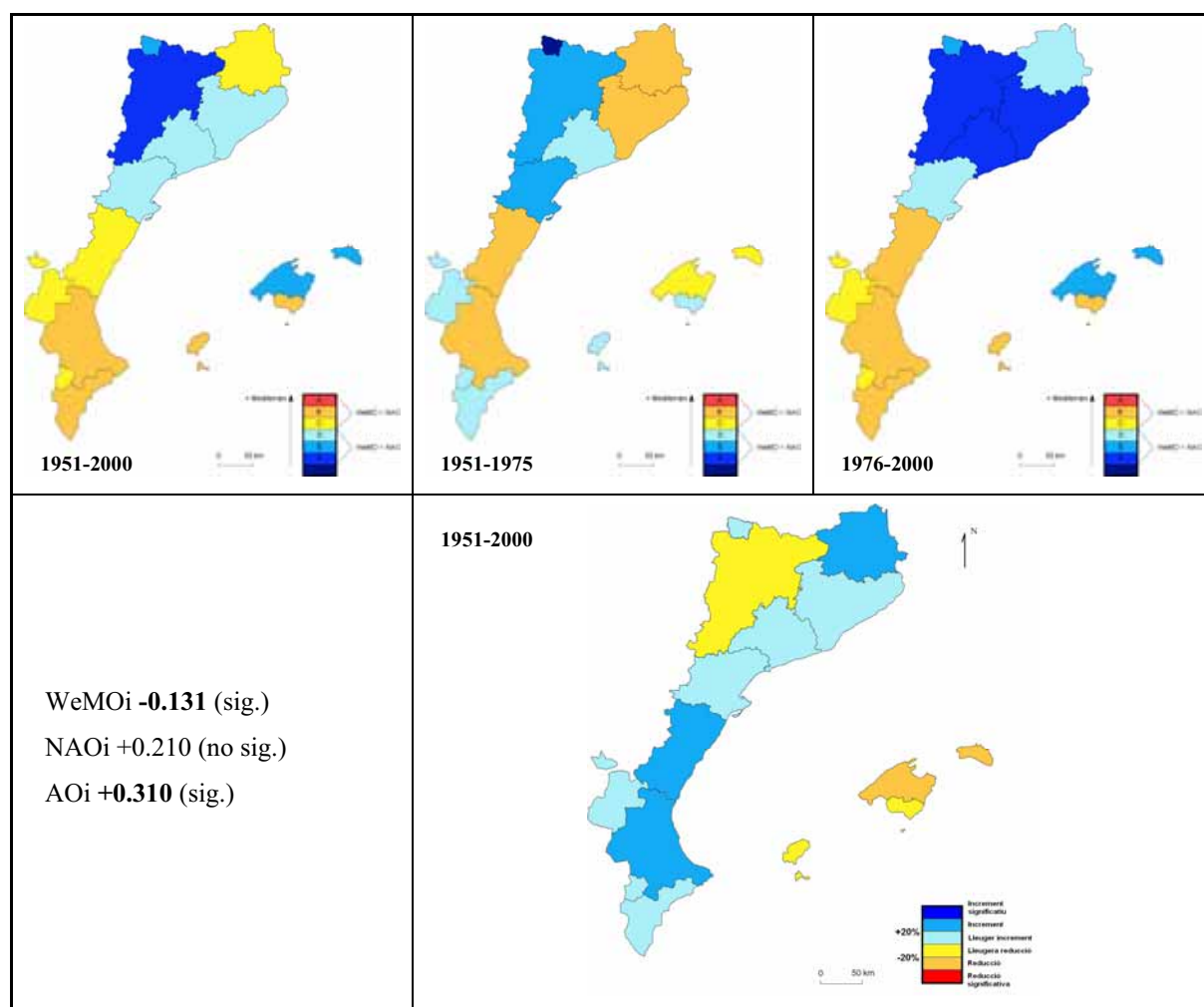


Figura 34. Ídem que Fig. 33, però per a l'hivern (DGF) durant els períodes 1951/52-1999/2000, 1951/52-1975/76 i 1976/77-1999/2000. El període de referència és 1961/62-1990/91.

3.8.3. PRIMAVERA (MAM) (Figura 35)

La primavera es caracteritza pel comportament pluviomètric regit predominantment per les oscil·lacions atlàntiques. Emperò, el contrast entre el primer i el segon subperíode és bastant destacable. El paper de la WeMO és nul en el primer subperíode, mentre en el segon pren cert caràcter en el País Valencià, sobretot, al sud. En el segon subperíode, la WeMO influeix en la seva fase positiva el comportament pluviomètric fins més enllà de la Val d’Aran, doncs, és present arreu de les Terres de Ponent. A excepció de la Val d’Aran i les Pitiüses i el sud de Mallorca, la davallada de precipitació és general. És l’estació de les tres analitzades en aquest punt 3.8. on la pluviometria es redueix de forma més generalitzada arreu dels Països Catalans. Les àrees més crítiques són el sector litoral i interior de València, la Catalunya Central – Sud Costa Brava – Nord Costa Central i el nord de les Illes Balears. Els patrons es mostren sense unes tendències definides. De totes maneres, aquesta davallada pluviomètrica a la primavera, ja ha estat documentada al llarg del segle XX a Catalunya (Saladié, 2003) i a la Península Ibèrica (Narrant i Douguédroit, 2006; Paredes *et al.*, 2006).

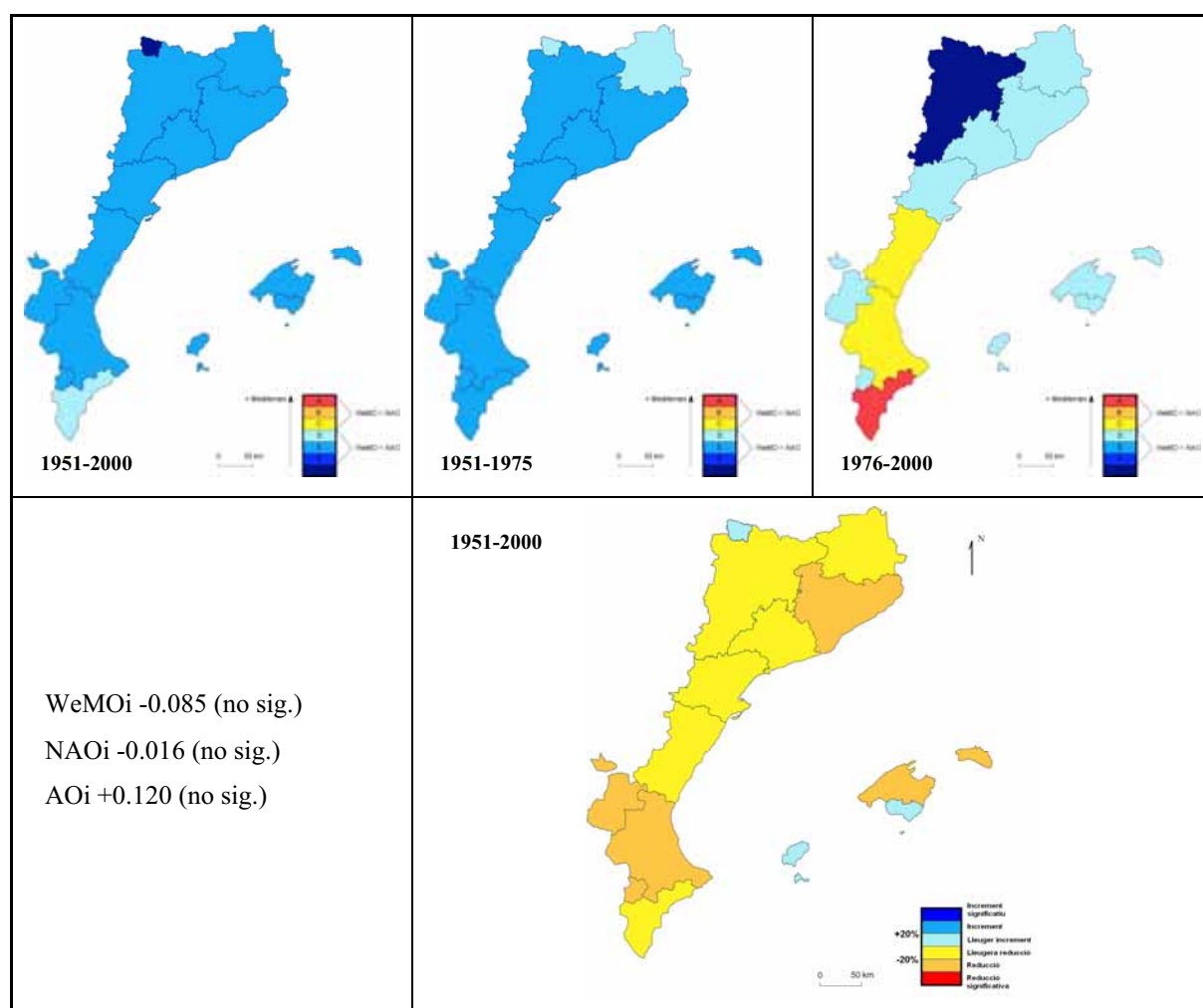


Figura 35. Ídem que Fig. 33, però per a la primavera (MAM).

3.8.4. SEMESTRE FRED (ONDGFM) (Figura 36)

En la línia de les estacions d'hivern i de la tardor, el semestre fred mostra un enfortiment del caràcter mediterrani de la meitat sud dels Països Catalans (País Valencià i el sud de les Illes Balears) i un augment de la variabilitat atlàntica a la meitat nord (Catalunya Sud i Nord i el nord de les Illes Balears). Aquesta divergència de les evolucions pluviomètriques permet dividir en dos l'àrea d'estudi: nord i sud. L'origen és el mateix, comentat amb anterioritat, el reforçament del vòrtex polar que comporta l'aparició de fases extremes negatives de la WeMO, acotant la seva influència a la meitat sud. El perquè d'aquesta focalització s'intenta esbrinar en el 4t. capítol. Tot i la tendència negativa i significativa del WeMOi, no apareixen les regions més influïdes amb un augment pluviomètric, sinó amb un descens generalitzat. Les davallades són notables a l'interior de Catalunya i de València, per una correlació negativa amb el NAOi i l'AOi, i a Castelló. Però, on aquesta reducció pluviomètrica és més crítica i significativa és a Menorca i a la meitat nord de Mallorca, on la NAO i l'AO hi tenen influència en les seves fases negatives; els seus respectius índexs tenen una tendència positiva, significativa en el cas de l'AOi.

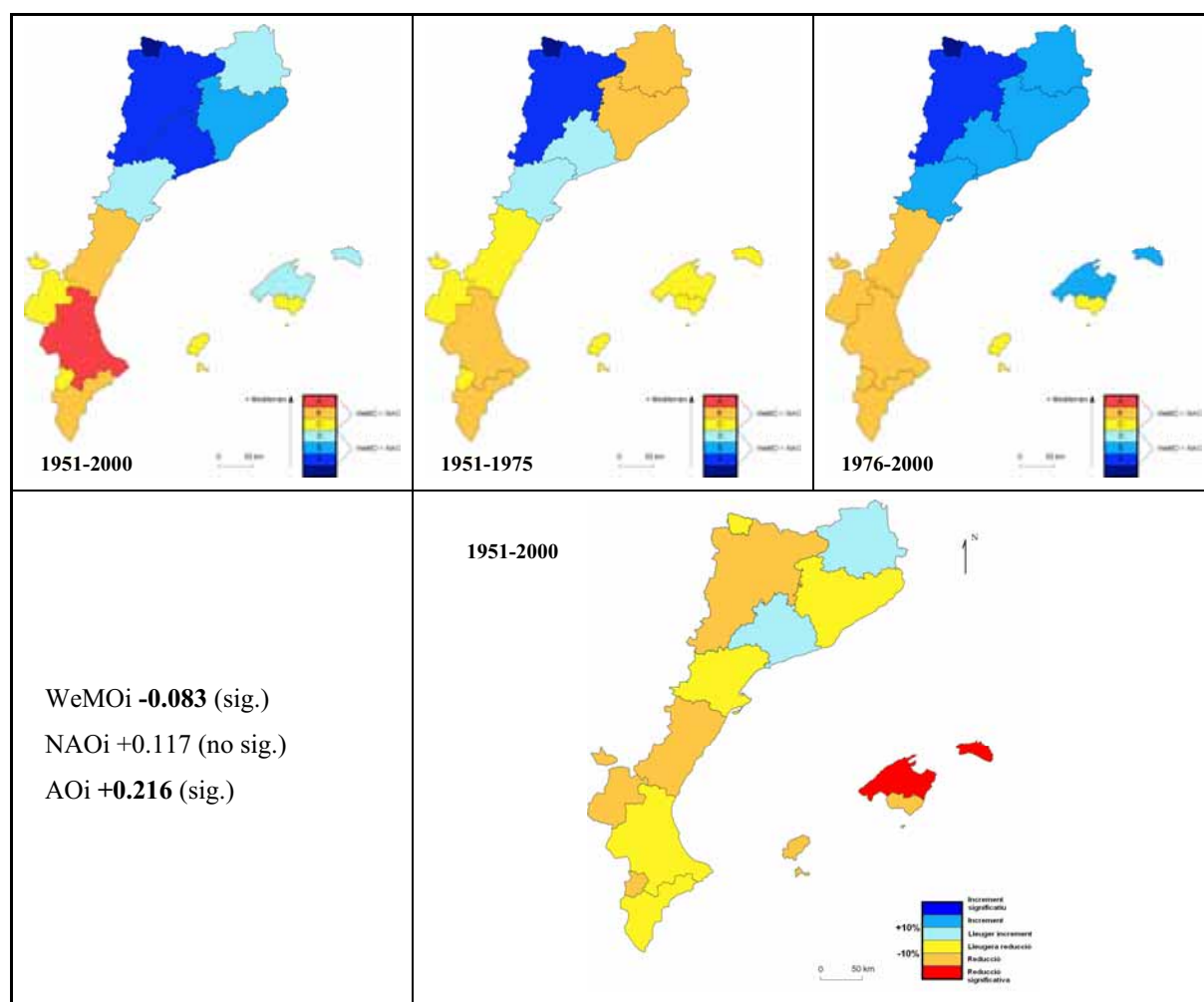


Figura 36. Ídem que Fig. 34, però per al semestre fred (ONDGFM).

3.8.5. ANUAL (Figura 37)

A resolució anual, es reflecteix el que succeeix principalment a la meitat freda de l'any: bipartició de l'àrea d'estudi entre el nord i el sud, sota el domini de la NAO i de la WeMO, respectivament. Considerant l'evolució del període 1951-2000, hi ha un matís diferenciat: Catalunya finalitza sota un domini lleugerament superior de la WeMO en comptes de la NAO. El País Valencià incrementa la seva afiliació a la WeMO, i per tant, també augmenta la seva irregularitat pluviomètrica (Figura 31). De la mateixa manera, a la Catalunya Nord i al Pirineu més oriental es redueix aquesta irregularitat per un debilitament del senyal de la WeMO. Les tendències dels patrons són en el sentit detectat, tant en el semestre fred com en l'estació hivernal, però no es reflecteixen en les pluviometries anuals de les regions. Hi ha una reducció generalitzada arreu dels Països Catalans, amb un valor significatiu a Menorca i a la meitat nord de Mallorca.

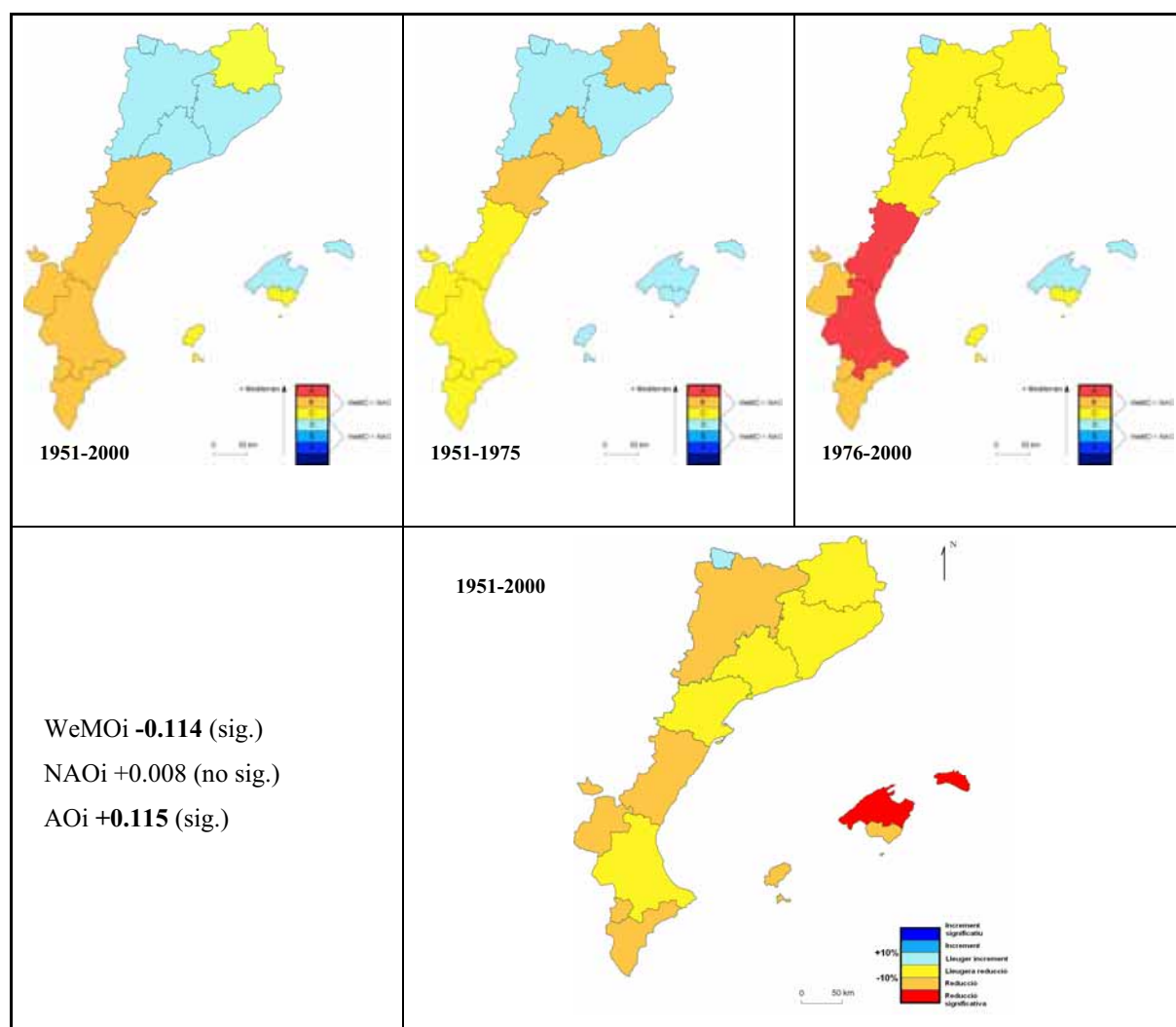


Figura 37. Ídem que Fig. 33, però anual.

3.9. EVOLUCIÓ TEMPORAL DE LA PLUVIOMETRIA A RESOLUCIÓ DIÀRIA DEL LITORAL DELS PAÏSOS CATALANS SEGONS LA WeMO

Un dels indicadors més sensibles al canvi climàtic i amb conseqüències d'augment de risc per a la societat és la torrencialitat (Groisman *et al.*, 1999). La seva avaluació es porta a terme a partir de les 7 sèries de precipitació de primer ordre usades a resolució diària en els capítols 1 i 2. Es tracta d'enclavaments ubicats al llarg del litoral de la conca de la Mediterrània Occidental, dins l'àrea d'estudi: Perpinyà (regió XI), Barcelona (regió X), Tortosa (regió VII), València (regió I) i Torrevella (regió IV) (Figura 20); i més enllà, per l'extrem septentrional (Marsella) i meridional (Màlaga) (Figura 14 del capítol 1).

Es comparen també els dos subperíodes 1951-1975 i 1976-2000. S'estudien els índexs d'irregularitat (CI) i d'intensitat pluviomètrica diària (ID) (apartat 3.9.1), la freqüència d'episodis de precipitació en 24 hores de distints llimars (>100 mm, >50 mm, >10 mm i ≥ 0.1 mm) (apartat 3.9.2.), el calendari de la WeMO (apartat 3.9.3), els histogrames dels valors diaris del WeMOi (apartat 3.9.4), les seqüències plujoses ajustades per un model markovià (apartat 3.9.5) i els valors extrems negatius del WeMOi diari (apartat 3.9.6).

3.9.1. CONCENTRATION INDEX (CI) I INTENSITAT DIÀRIA (ID)

La torrencialitat de la precipitació es caracteritza, tant per una alta irregularitat, com per una alta intensitat, a resolució diària. No sempre convergeixen ambdós factors per definir el caràcter torrencial de la pluviometria d'un determinat emplaçament. No obstant, la presència destacada d'un o de l'altre caracteritzarà la precipitació del punt d'observació.

Per avaluar la irregularitat, és preferible emprar l'índex de concentració -*concentration index*- (CI) de la precipitació diària esmentat en l'apartat 2.1. del capítol 2 perquè avalua la dependència de la pluviometria total de l'escaïment d'episodis torrencials, esdevenint com un indicador d'irregularitat pluviomètrica a resolució diària. Martín-Vide (2004) quantifica l'àrea de la corba de concentració, o de *Lorenz*, resultant de l'acumulació de nombre de dies de precipitació vers la quantitat de precipitació acumulada, i la recta d'equidistribució. Una major àrea representa una major irregularitat o concentració diària. Per portar-ho a terme adapta l'índex de concentració de *Gini*: $I = 2 S / 10.000$ a corbes exponencials del tipus $y = ax^{bx}$, on la S és l'àrea compresa entre la recta d'equidistribució, la corba exponencial i les ordenades 0 i 100 (Martín-Vide, 2003). Aquest mateix autor considera una irregularitat pluviomètrica baixa, si el CI té un valor inferior a 0.56, mitjana (0.56-0.59), alta (0.60-0.69) i

molt alta si és superior o igual a 0.70. El CI augmenta en l'evolució temporal d'una sèrie de precipitació si els episodis de precipitació torrencial esdevenen més freqüents.

D'altra banda, en l'estudi de l'altra característica de la torrencialitat, la intensitat, es calcula l'índex de la intensitat diària (ID) de la precipitació, que es basa en calcular la intensitat mitjana dels episodis diaris de precipitació dividint el total pluviomètric del període d'estudi en qüestió pel nombre total de dies de precipitació ≥ 0.1 mm (Rodrigo i Trigo, 2007):

$$ID = \text{Total pluviomètric} / \text{nombre dies de precipitació (mm/dia)}$$

Es considera segons l'autor de la tesi que un valor de la ID inferior a 2.5 mm/dia és baix, moderat (2.5-4.9 mm/dia), alt (5-9.9 mm/dia) i molt alt (≥ 10 mm/dia). A diferència del CI, que depèn força dels episodis més torrencials, la ID és molt sensible a la variació del nombre total de dies de precipitació, on també s'inclouen els episodis de caràcter dèbil.

Els períodes a analitzar són tot l'any i les estacions de la tardor i de l'hivern, com en anàlisis anteriors, per la vinculació de la seva variabilitat pluviomètrica amb el patró de la WeMO.

3.9.1.1. Anual (Taula 6)

Al llarg de tot el període d'estudi (1951-2000), es dedueix una irregularitat pluviomètrica molt alta segons el CI a Perpinyà, i, molt propera a València i Tortosa. De fet, a Perpinyà és on es recullen més episodis diaris de >100 mm i a Tortosa més de >50 mm (Taula 9 del capítol 2). La Plana del Rosselló és susceptible de l'ocurrència d'aquests episodis torrencials per una sèrie de condicions geogràfiques com són l'orientació est de la costa juntament amb la presència de relleus elevats de quasi 3.000 m molt propers a la línia de costa com és la Pica de Canigó (Figura 3 de la Introducció). Martin-Vide (2004) també defineix l'àrea del Golf de València amb una molt alta irregularitat pluviomètrica segons el CI, i alta tota la façana mediterrània amb un valor del CI superior a 0.60. Els altres 4 observatoris tenen uns valors de categoria alta. Els tres amb un valor menys elevat són Marsella, Barcelona i Màlaga, que es definien com els observatoris amb una major influència de situacions atlàntiques que de mediterrànies per la seva orientació sud de les costes en el capítol 2. No obstant, la ID és elevada en tots els observatoris i molt elevada en el cas de Màlaga, caracteritzant el conjunt de l'arc nord-occidental del Mediterrani com a altament torrencial.

Comparant ambdós subperíodes, la pluviometria s'ha reduït en tots els punts a excepció de Barcelona i Torrevella, on en el primer punt d'estudi, a més, s'han reduït el nombre de dies de precipitació. En conseqüència, la ID s'ha incrementat notablement a

Barcelona però el CI ha romàs invariable. El contrari és el que succeeix a Perpinyà, car és un punt on els dies de precipitació s'han incrementat considerablement, però la precipitació és una mica més de 1.500 mm inferior al llarg dels darrers 25 anys, per tant, la ID s'hi redueix molt, però el CI roman invariable, o àdhuc s'incrementa en una centèsima. Els únics llocs on augmenta el CI és a Torrevella i a Màlaga, però la ID hi decreix en tots dos. En general, hi ha una reducció pluviomètrica i un increment o manteniment del nombre d'episodis diaris, per tant, segons la ID, hi ha una disminució de la intensitat de la precipitació en el conjunt de l'àrea d'estudi, a excepció de l'observatori de Barcelona. D'altra banda, segons el CI hi ha una no variació generalitzada de la irregularitat pluviomètrica al nord de València, i un cert increment a l'extrem sud dels Països Catalans (Torrevella) i a Màlaga. Perpinyà pren el relleu a València com el punt més irregular pluviomètricament, segons el CI, en el segon subperíode respecte al primer.

Anual 1951-2000	CI		Pluviometria (mm)	Nombre de dies de precipitació	ID (mm/dia)	
Marsella	0.654		29.601,7	4.124	7.2	
Perpinyà	0.700		28.956,9	4.585	6.3	
Barcelona	0.637		31.524,2	4.071	7.7	
Tortosa	0.690		27.479,0	4.083	6.7	
València	0.695		22.613,5	3.519	6.4	
Torrevella	0.657		12.470,0	1.984	6.3	
Màlaga	0.628		28.013,8	2.739	10.2	
Anual 1951-1975	CI		Pluviometria (mm)	Nombre de dies de precipitació	ID (mm/dia)	
Marsella	0.657		15.519,0	2.121	7.3	
Perpinyà	0.697		15.251,1	2.238	6.8	
Barcelona	0.639		15.561,3	2.157	7.2	
Tortosa	0.695		15.264,2	2.058	7.4	
València	0.700		11.848,6	1.758	6.7	
Torrevella	0.637		6.077,5	902	6.7	
Màlaga	0.593		15.134,0	1.273	11.9	
Anual 1976-2000	CI	Variació	Pluviometria (mm) (signe variació)	N. de dies de precipitació (variació)	ID (mm/dia)	Variació
Marsella	0.655	-0.002	14.082,7 (-)	2.003 (-118)	7.0	-0.3
Perpinyà	0.708	+0.011	13.705,8 (-)	2.347 (-109)	5.8	-1.0
Barcelona	0.638	-0.001	15.962,9 (+)	1.914 (-243)	8.3	+1.1
Tortosa	0.688	-0.007	12.214,8 (-)	2.030 (-28)	6.0	-1.4
València	0.693	-0.007	10.764,9 (-)	1.761 (+3)	6.1	-0.6
Torrevella	0.680	+0.043	6.392,5 (+)	1.082 (+180)	5.9	-0.8
Màlaga	0.660	+0.067	12.879,8 (-)	1.466 (+193)	8.8	-3.1

Taula 6. Valors de l'índex de concentració de la precipitació diària (CI) i de l'índex d'intensitat diària (ID), la pluviometria i el nombre de dies de precipitació, per al període 1951-2000 i per als subperíodes 1951-1975 i 1976-2000, a resolució anual, per als observatoris de Marsella, Perpinyà, Barcelona, Tortosa, València, Torrevella i Màlaga.

3.9.1.2. Tardor (SON) (Taula 7)

Per al conjunt de tot el període 1951-2000, el CI és màxim i molt alt, com a resolució anual, a Perpinyà, València i Tortosa. I més reduït, però alt, a les tres estacions de més influència atlàntica: Marsella, Barcelona i Màlaga; i a Torrevella. Cal destacar que el valor CI és sobretot molt alt a Perpinyà assolint el valor 0.735. En canvi, el valor de la ID és només alt a Marsella, Perpinyà, València i Torrevella, essent molt alt a Barcelona, Tortosa i Màlaga. El punt d'observació de Tortosa és on la precipitació té un caràcter més torrencial a la tardor perquè assoleix un valor molt alt d'ambdós índexs.

En la comparació d'ambdós subperíodes, hi ha una reducció pluviomètrica predominant amb un augment o no variació del nombre d'episodis, i per tant, una reducció de la ID. No obstant el CI ens indica que la irregularitat pluviomètrica ha augmentat a Perpinyà i als punts del sud (Torrevella i Màlaga), però, s'ha reduït a les àrees centrals (Barcelona, Tortosa i València). Barcelona és l'únic punt on la intensitat de la precipitació augmenta, en canvi no la seva irregularitat; es tracta d'una evolució peculiar.

Tardor 1951-2000	CI		Pluviometria (mm)	Nombre de dies de precipitació	ID (mm/dia)	
Marsella	0.665		10.947,1	1.149	9.5	
Perpinyà	0.735		9.678,6	1.153	8.4	
Barcelona	0.653		11.227,6	1.111	10.1	
Tortosa	0.704		10.508,5	1.044	10.1	
València	0.713		9.621,4	983	9.8	
Torrevella	0.672		5.225,2	602	8.7	
Màlaga	0.643		8.650,1	728	11.9	
Tardor 1951-1975	CI		Pluviometria (mm)	Nombre de dies de precipitació	ID (mm/dia)	
Marsella	0.665		5.669,8	571	9.9	
Perpinyà	0.730		5.388,2	567	9.5	
Barcelona	0.665		5.571,1	584	9.5	
Tortosa	0.711		5.937,2	532	11.2	
València	0.727		5.509,6	496	11.1	
Torrevella	0.650		2.698,2	278	9.7	
Màlaga	0.596		4.294,2	320	13.4	
Tardor 1976-2000	CI	Variació	Pluviometria (mm) (signe variació)	N. de dies de precipitació (variació)	ID (mm/dia)	Variació
Marsella	0.668	+0.003	5.277,3 (-)	578 (+7)	9.1	-0.8
Perpinyà	0.745	+0.015	4.290,4 (-)	586 (+19)	7.3	-2.2
Barcelona	0.644	-0.021	5.656,5 (+)	527 (-57)	10.7	+1.2
Tortosa	0.700	-0.011	4.571,3 (-)	512 (-20)	8.9	-2.3
València	0.698	-0.029	4.111,8 (-)	487 (-9)	8.4	-2.7
Torrevella	0.692	+0.042	2.527,0 (-)	324 (+46)	7.8	-1.9
Màlaga	0.681	+0.085	4.355,9 (+)	408 (+88)	10.7	-2.7

Taula 7. Ídem que Taula 6, però per a la tardor (SON).

3.9.1.3. Hivern (DGF) (Taula 8)

El CI és màxim i molt alt a Perpinyà. En els tres punts d'influència atlàntica, igual que a la tardor i anualment, és on el CI és més baix. València se situa amb un CI alt per sota de Tortosa i Torrevella. La ID és molt elevada a Màlaga, on, consegüentment, l'estació més plujosa és l'hivern; i és alta a la resta, encara que molt propera a la moderació a Tortosa, València i a Torrevella.

En la comparació dels subperíodes, el CI indica un augment de la irregularitat pluviomètrica en tots els punts, i per tant es pot afirmar del conjunt dels Països Catalans. Segons la ID, la torrencialitat només s'incrementa a Barcelona i a València. L'augment de dies de precipitació és palès notablement en tots els observatoris a excepció de Marsella i Barcelona, però en aquest últim el descens d'episodis és més esmorteït que anualment i a la tardor. L'hivern, tal com s'entreveia en les tendències pluviomètriques (Figura 17), és l'estació on hi ha més punts on s'incrementa la precipitació: Perpinyà, Barcelona, València i Torrevella. Barcelona i València són punts on la pluviometria ha augmentat clarament per un increment de la torrencialitat (Goodess i Jones, 2002; Sumner *et al.*, 2003), ja que tant la ID com el CI han tingut un increment considerable. El CI torna a senyalar a Torrevella i Màlaga com els enclavaments on ha augmentat més notablement la torrencialitat, encara que el darrer punt mostra una important davallada de la seva intensitat.

3.9.1.4. Síntesi de l'evolució de la torrencialitat als Països Catalans

Tot i que només es tracta de 5 punts estrictament dins l'àrea dels Països Catalans, és suficient per deduir-ne unes conclusions generals.

La màxima irregularitat pluviomètrica té lloc al Golf de València i a la Plana del Rosselló segons el CI, i a l'estació de la tardor, donat que és quan hi ha un major nombre d'episodis torrencials a la Mediterrània. Aquest índex indica que la irregularitat s'ha incrementat a l'extrem sud dels Països Catalans, sobretot a Torrevella, considerant tot l'any, i, de forma generalitzada, arreu dels Països Catalans a l'hivern, fet que ha permès un augment dels registres totals pluviomètrics anuals de Torrevella i d'hivern en diferents punts. Aquesta idea coincideix amb alguna de les conclusions del treball de Sumner *et al.* (2003) sobre el futur (llarg termini) augment de la pluviometria anual en alguns punts de la vessant mediterrània de la Península Ibèrica per un increment dels episodis extrems. En un futur (mig termini), cal mencionar el treball de González-Hidalgo *et al.* (2003) que s'ajusta més

apropiament a la realitat dels resultats. El seu estudi indica que la pluviometria anual de l'àrea del Golf de València varia segons la freqüència dels episodis torrencials, tot i la tendència anual negativa actual de la precipitació de la zona (tal com s'ha detectat a la regió I de la Figura 37); els episodis torrencials i intensos han incrementat la seva contribució a la precipitació total anual. En aquesta mateixa línia, Alpert *et al.* (2002) detecten un increment de la torrencialitat extrema al llarg del període 1951-1995 a Itàlia i a la Península Ibèrica, però una davallada dels seus totals pluviomètrics.

Hivern 1951/52-1999/2000	CI		Pluviometria (mm)	Nombre de dies de precipitació	ID (mm/dia)	
Marsella	0.644		8.290,8	1.252	6.6	
Perpinyà	0.714		7.966,9	1.256	6.3	
Barcelona	0.630		6.457,9	934	6.9	
Tortosa	0.679		5.694,5	1.022	5.6	
València	0.673		5.497,9	948	5.8	
Torrevella	0.678		3.667,7	618	5.9	
Màlaga	0.618		12.297,3	1.036	11.9	
Hivern 1951/52-1975/76	CI		Pluviometria (mm)	Nombre de dies de precipitació	ID (mm/dia)	
Marsella	0.639		4.565,5	664	6.9	
Perpinyà	0.715		3.877,4	585	6.6	
Barcelona	0.618		2.933,8	479	6.1	
Tortosa	0.677		3.079,2	500	6.2	
València	0.658		2.409,8	468	5.2	
Torrevella	0.634		1.711,5	276	6.2	
Màlaga	0.595		6.656,3	493	13.5	
Hivern 1976/77-1999/2000	CI	Variació	Pluviometria (mm) (signe variació)	N. de dies de precipitació (variació)	ID (mm/dia)	Variació
Marsella	0.653	+0.014	3.725,3 (-)	588 (-76)	6.3	-0.6
Perpinyà	0.717	+0.002	4.089,5 (+)	671 (+86)	6.1	-0.5
Barcelona	0.639	+0.021	3.524,1 (+)	455 (-24)	7.8	+1.7
Tortosa	0.684	+0.007	2.615,3 (-)	522 (+22)	5.0	-1.2
València	0.688	+0.030	3.088,1 (+)	480 (+12)	6.4	+1.2
Torrevella	0.718	+0.084	1.956,2 (+)	342 (+66)	5.7	-0.5
Màlaga	0.639	+0.044	5.641,0 (-)	543 (-50)	10.4	-3.1

Taula 8. Ídem que Taula 6, però per a l'hivern (DGF) i per al període 1951/52-1999/2000 i els subperíode 1951/52-1975/76 i 1976/77-1999/2000.

Segons la ID, la màxima intensitat pluviomètrica anual als Països Catalans té lloc a Barcelona. Barcelona i Torrevella és on hi ha un augment de la pluviometria anual en el segon període, tot i que Barcelona té una reducció considerable del nombre de dies de precipitació, de més del 10%. A la tardor, és quan Barcelona té una ID i un CI més elevats, però és a l'hivern quan es nota un augment pluviomètric, per un augment dels valors d'aquests índexs; fet que també es detecta a València. La recent fase negativa hivernal de la WeMO ha afavorit tant un augment dels dies de precipitació torrencials (A), com del nombre de dies de

precipitació en general (B). En conseqüència, si A augmenta, s'incrementarà CI, com ha succeït en diversos punts del litoral dels Països Catalans, sobretot a Barcelona, València i Torrevella. Però, si a més d'augmentar A, també augmenta B, com que la ID és inversament proporcional a B, la ID es mantindrà, o fins i tot, es reduirà, depenent de quin sigui el llindar dels episodis que més s'incrementin. En els casos de Barcelona i de València, és evident que és on la torrencialitat ha augmentat més a l'hivern perquè l'increment dels episodis més extrems ha estat superior als de caràcter dèbil. En el cas de Barcelona, els dèbils, fins i tot, s'han reduït. En canvi, a Perpinyà, a Tortosa i a Torrevella, l'increment dels episodis de caràcter més dèbil ha fet que aquests s'imposin als de caràcter més intens (es comprova més endavant a la Taula 11).

Un major nombre d'episodis torrencials, comportarà consegüentment un augment de les mitjanes pluviomètriques en el conjunt dels Països Catalans (Goodess i Jones, 2002). Rodrigo i Trigo (2007) troben un augment, encara que no significatiu, de la ID als sectors més mediterranis de la Península Ibèrica (València, Alacant i Múrcia) a l'estació hivernal en el període 1951-2002, i una davallada significativa a Bilbao. Al País Basc, la WeMO en la seva fase negativa comportarà una reducció del nombre de dies de precipitació, sobretot, dels de caràcter més intens, que redueixen els totals pluviomètrics i, per tant, la ID.

La tendència negativa del WeMOi no és significativa a la tardor, i, per tant, podria ser l'explicació de la no variació de la irregularitat pluviomètrica segons el CI en el conjunt dels Països Catalans en aquesta estació, tot i que la ID indicaria una davallada de la intensitat en disminuir notablement la pluviometria total sense una reducció dels dies de precipitació. Anualment, el WeMOi té una tendència negativa significativa, però la seva influència en aquesta escala temporal és feble, només és perceptible en alguns punts de l'extrem sud dels Països Catalans (Figura 21 del capítol 2); en conseqüència, Torrevella ha elevat el seu nombre de dies de precipitació molt considerablement.

Màlaga obté un elevat valor de la ID a l'hivern perquè és el punt on ocorren més episodis de mitjana intensitat, amb diferència, en aquesta estació respecte a les altres. D'altra banda, el fet que Barcelona sigui l'únic punt que mostri un major registre pluviomètric en el segon subperíode respecte al primer, tant anualment com a l'hivern i a la tardor, amb una reducció del nombre d'episodis, i per tant amb un augment contundent de la ID, és una incògnita. En part, perquè la incidència de la WeMO en la precipitació de Barcelona no és tan evident en el últim quart de segle (Figures 30 i 31). En canvi, l'evolució de la WeMO sí justifica l'augment del caràcter torrencial, tant per un increment de la irregularitat com de la intensitat, de la precipitació hivernal de València en detectar-se una reducció significativa del WeMOi en aquesta estació.

3.9.2. FREQUÈNCIA DELS EPISODIS DE PRECIPITACIÓ EN 24 H

Per estudiar un canvi en la freqüència dels episodis de precipitació en 24 h s'ha optat pels següents llindars: >100 mm (torrencial), >50 mm (intens), >10 mm (moderadament intens), ≥ 0.1 mm (dèbil) i pluviometria total. Es comparen els dos subperíodes i simplement s'indica qualitativament on ha augmentat, disminuït o no ha variat. Per qualitativament, s'entén el signe de la diferència del nombre d'episodis.

3.9.2.1. Anual (Taula 9)

La reducció pluviomètrica és palesa en la majoria d'observatoris per una reducció del nombre d'episodis diaris de precipitació per sobre dels 10 mm. La torrencialitat, fins i tot, sembla esmoreir-se en punts com Perpinyà; també en d'altres com València o Màlaga, per l'augment dels episodis més dèbils tal com ja indicava la ID (Taula 6). Barcelona i Torrevella són els dos punts on un major registre pluviomètric en el segon subperíode podria ser fruit de l'augment de la torrencialitat per l'increment del nombre d'episodis intensos i torrencials, sobretot a Barcelona, on, a més, ha davallat el nombre d'episodis ≥ 0.1 mm. Com ja s'ha comentat en l'apartat anterior, s'esperaria un major increment de la irregularitat pluviomètrica a València que no pas a Barcelona, ja que indicadors com el CV mostren un augment al voltant del Golf de València i no pas a Catalunya (Figura 31). Només els episodis totals ≥ 0.1 mm augmenten en varis punts dels Països Catalans, doncs el WeMOi té una davallada significativa anual que podria anar lligada a l'increment del nombre de dies de precipitació del litoral de l'àrea d'estudi. Burgueño *et al.* (2005) detecten un augment dels dies de precipitació a resolució anual al litoral de Catalunya, sobretot, al sud, de forma homogènia.

Anual	>100 mm	>50 mm	>10 mm	≥ 0.1 mm	Pluviometria total
Marsella					
Perpinyà					
Barcelona					
Tortosa					
València					
Torrevella					
Màlaga					

Taula 9. Variació qualitativa dels episodis diaris de >100 mm, >50 mm, >10 mm i ≥ 0.1 mm, i de la pluviometria total entre el primer subperíode 1951-1975 i el segon 1976-2000, anualment. (Blau, increment; vermell, reducció; gris, sense variació).

3.9.2.2. Tardor (SON) (Taula 10)

En la línia dels resultats trobats anualment, es dedueix una reducció de la torrencialitat en la majoria dels punts d'estudi. Alguns, a part de reduir la seva pluviometria, augmenten el nombre d'episodis dèbils. És així que la seva reducció pluviomètrica s'atribueix a la minva d'episodis torrencials que es reflecteix en la davallada de la ID. En canvi, Barcelona continua amb un increment de la intensitat de la precipitació, ja que té un major registre pluviomètric amb una reducció dels episodis menys intensos >10 mm i dels dèbils ≥ 0.1 mm, i un increment dels més intensos >50 mm i dels torrencials >100 mm. Màlaga augmenta la seva pluviometria per un major nombre d'episodis intensos i un manteniment dels torrencials que concorda amb un increment molt considerable de la seva torrencialitat, tal com mostra el CI, en augmentar en quasi una dècima (Taula 7).

Tardor	>100 mm	>50 mm	>10 mm	≥ 0.1 mm	Pluviometria total
Marsella					
Perpinyà					
Barcelona					
Tortosa					
València					
Torrevel·la					
Màlaga					

Taula 10. Ídem que Taula 9, però per a la tardor (SON).

3.9.2.3. Hivern (DGF) (Taula 11)

L'hivern, com ja s'ha vingut comentant, és l'únic període de l'any amb un cert increment pluviomètric als Països Catalans, ja sigui per un augment de la torrencialitat o per un major nombre d'episodis en general de tots els llindars. S'atribueix a la tendència negativa i significativa del WeMOi en aquesta estació, molt influent en àrees com el Golf de València. A més, també es reflecteix per un augment del CI i del CV arreu dels Països Catalans. Aquesta Taula 10 s'usa per concloure que la pluviometria hivernal als Països Catalans ha patit una certa mediterraneïtzació a finals del segle XX, sobretot, al País Valencià (Figura 28). Els episodis de caràcter dèbil i poc intens són els que s'han incrementat en tots els observatoris dels Països Catalans; els de caràcter intens i torrencial, a València i Torrevel·la.

Hivern	>100 mm	>50 mm	>10 mm	≥0.1 mm	Pluviometria total
Marsella	Grey	Blue	Red	Red	Red
Perpinyà	Red	Red	Blue	Blue	Blue
Barcelona	Red	Blue	Blue	Red	Blue
Tortosa	Red	Red	Blue	Blue	Red
València	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
Torrevel·la	Blue	Grey	Grey	Blue	Blue
Màlaga	Grey	Red	Red	Blue	Red

Taula 11. Ídem que Taula 9, però per a l'hivern (DGF).

3.9.2.4. Primavera (MAM) (Taula 12)

El que es destaca, com en anterioritat, d'aquesta estació és la davallada pluviomètrica general als Països Catalans. Aquest minvament s'atribueix a la davallada del nombre d'episodis intensos de l'interval 10-50 mm; els més torrencials tenen una no variació a causa de l'escàs nombre de casos. Les tendències pluviomètriques negatives i significatives trobades a la primavera a l'àrea d'estudi i al conjunt de la Península Ibèrica per alguns treballs (Estrela *et al.*, 2004; López-Bustins, 2006; Norrant i Douguédroit, 2006; Paredes *et al.*, 2006; Saladié *et al.*, 2006) són conseqüència de canvis en la circulació general atmosfèrica (CGA) que fan que els grups d'episodis de precipitació moderadament intensos, que compten amb bastants casos, es redueixin donant lloc a uns registres pluviomètrics totals, considerablement inferiors.

Primavera	>100 mm	>50 mm	>10 mm	≥0.1 mm	Pluviometria total
Marsella	Grey	Red	Blue	Red	Red
Perpinyà	Grey	Blue	Red	Blue	Red
Barcelona	Grey	Blue	Red	Red	Red
Tortosa	Red	Red	Red	Red	Red
València	Blue	Blue	Red	Blue	Red
Torrevel·la	Grey	Grey	Blue	Blue	Blue
Màlaga	Grey	Red	Red	Blue	Red

Taula 12. Ídem que Taula 9, però per a la primavera (MAM).

3.9.2.5. Estiu (JJA) (Taula 13)

Torrevel·la i Màlaga gairebé no es poden ni considerar perquè tenen una pluviometria molt minsa en aquesta estació. Cal destacar que tant els episodis com els registres pluviomètrics totals són inferiors en el segon subperíode. Es tendeix a estius més secs en el conjunt dels Països Catalans, sense una variació de la irregularitat, ja que els episodis es redueixen amb concordança amb la pluviometria total.

Estiu	>100 mm	>50 mm	>10 mm	≥0.1 mm	Pluviometria total
Marsella					
Perpinyà					
Barcelona					
Tortosa					
València					
Torrevel·la					
Màlaga					

Taula 13. Ídem que Taula 9, però per a l'estiu (JJA).

3.9.3. EVOLUCIÓ DEL CALENDARI DE LA WeMO I EL PAPER DE LA TEMPERATURA DEL MAR

Si es recorda el calendari de la WeMO per al període 1951-2000 de la Figura 40 del capítol 2, és a la primera quinzena d'octubre (1a. octubre) quan la WeMO es troba en la seva fase més negativa, període de l'any on s'aglutinen un major nombre d'episodis de >50 mm/ 24 h de les 7 sèries diàries d'anàlisi. La 2a. octubre també és molt negativa, per tant, és al mes d'octubre on es concentren la majoria d'episodis de >100 mm/ 24 h. Es determina un màxim secundari de concentració d'episodis a la 2a. febrer, que s'associa a situacions del nord-est originades per l'anticicló tèrmic situat a Europa Central que es troba ben refredat a finals d'hivern. Es tracta de fases negatives de la WeMO (Figures 41 i 42 del capítol 2).

Si es representen els calendaris dels subperíodes 1951-1975 i 1976-2000 es pot detectar canvis en la variabilitat intraanual de la WeMO. En el primer subperíode (1951-1975) (Figura 38), el mínim negatiu de la WeMO es dona nítidament a la 1a. octubre, acumulant-s'hi diferenciadament un major nombre d'episodis torrencials tant de >100 mm/ 24 h com de > 50 mm/ 24 h. La 1a. octubre es presenta pronunciadament més negativa que les quinzenes del seu voltant, 2a. setembre i 2a. octubre. Com a curiositat, la 1a. setembre és més negativa

que la 2a. setembre, aglutinant un major nombre d'episodis de >100 mm/ 24 h que la 2a. setembre. El màxim secundari d'episodis a la 2a. febrer es detecta amb claredat.

En la representació del calendari de la WeMO durant el segon subperíode (1976-2000) (Figura 39), el mínim absolut es desplaça de la 1a. octubre a la 2a. octubre. El màxim positiu continua tenint lloc, com en el període 1951-2000 i el subperíode 1951-1975, a la 1a. febrer, però esmorteït per sota de 0.40. Seguidament, té lloc una davallada sobtada del WeMOi a les quinzenes 2a. gener, 2a. febrer i 1a. març, per la probable aparició de fluxos del nord-est originats per l'anticicló d'Europa Central. A més, es corrobora un increment dels vents del nord-est en augmentar el nombre d'episodis de >100 mm/ 24 h en aquestes quinzenes, que és coherent amb la tendència positiva de l'AOi i negativa del WeMOi, ambdues significatives a l'hivern (s'estudia en el capítol 4). Òbviament, l'àrea superior compresa entre la línia del WeMOi i l'eix d'abscisses del gràfic es redueix en el segon subperíode respecte al primer, sobretot a les quinzenes d'hivern, justificant aquestes tendències dels patrons. Aquesta àrea augmenta molt per sota l'eix d'abscisses a l'estiu, en concordança amb la tendència negativa significativa del WeMOi en aquesta estació, i modestament a la tardor, que es correspon amb una tendència negativa però no significativa del WeMOi (Taula 3). Una ciclogènesi prematura típica de la tardor podria estar tenint lloc; de fet, Estrela *et al.* (en premsa) han detectat un augment notable dels totals pluviomètrics d'origen mediterrani al País Valencià al mes de setembre.

Es justifica que la 2a. octubre esdevingui el mínim negatiu per una major concentració d'episodis de >100 mm/ 24 h en aquesta quinzena en el segon subperíode. En aquest darrer subperíode, els valors del WeMOi també esdevenen més negatius a la 1a. novembre. Els episodis torrencials juntament amb una pronunciada fase negativa de la WeMO s'han endinsat en l'hivern. Ara els intervals amb màxima concentració d'episodis torrencials s'acaben a la 1a. novembre en comptes de la 2a. octubre; és com si els totals torrencials s'haguessin desplaçat al llarg de la tardor. Ara el mínim negatiu de la 1a. setembre es troba a la 2a. setembre, el pic de recuperació de la 2a. setembre a la 1a. octubre, i el mínim absolut de la 1a. octubre a la 2a. octubre amb un mínim secundari de la 2a. octubre a la 1a. novembre. A més, s'ha mantingut una certa concentració d'episodis intensos des de la 1a. agost a la 1a. setembre tot i el desplaçament en el temps dels nivells mínims negatius del WeMOi. Cal concloure que té lloc un allargament del període de tempestes mediterrànies típiques de tardor en l'inici de l'estació hivernal, fet que ja s'intueix en estudis realitzats al CEAM, com el de Millán *et al.* (2005), que detecten un augment dels episodis de front de retrocés (Estrela *et al.*, 2002; Azorín-Molina i López-Bustins, 2004) en el mes de novembre durant les dues darreres dècades del segle XX. En l'estudi internacional del CEAM, també es detecta un augment

d'aquesta tipologia pluviomètrica en el mes de setembre, que es podria associar a l'aprofundiment del WeMOi a la 2a. setembre. Sumner *et al.* (2003) detecten un futur increment per a finals del present segle de la precipitació torrencial de finals d'estiu i tardor, per una major freqüència de depressions endògenes i més profundes i extremes. Ho associen a un increment de la capacitat higromètrica d'un futur Mediterrani més càlid, que afavorirà una major ciclogènesi en aquest període de l'any; per a aquestes anàlisis empen el GCM anomenat ECHAM-OPYC3.

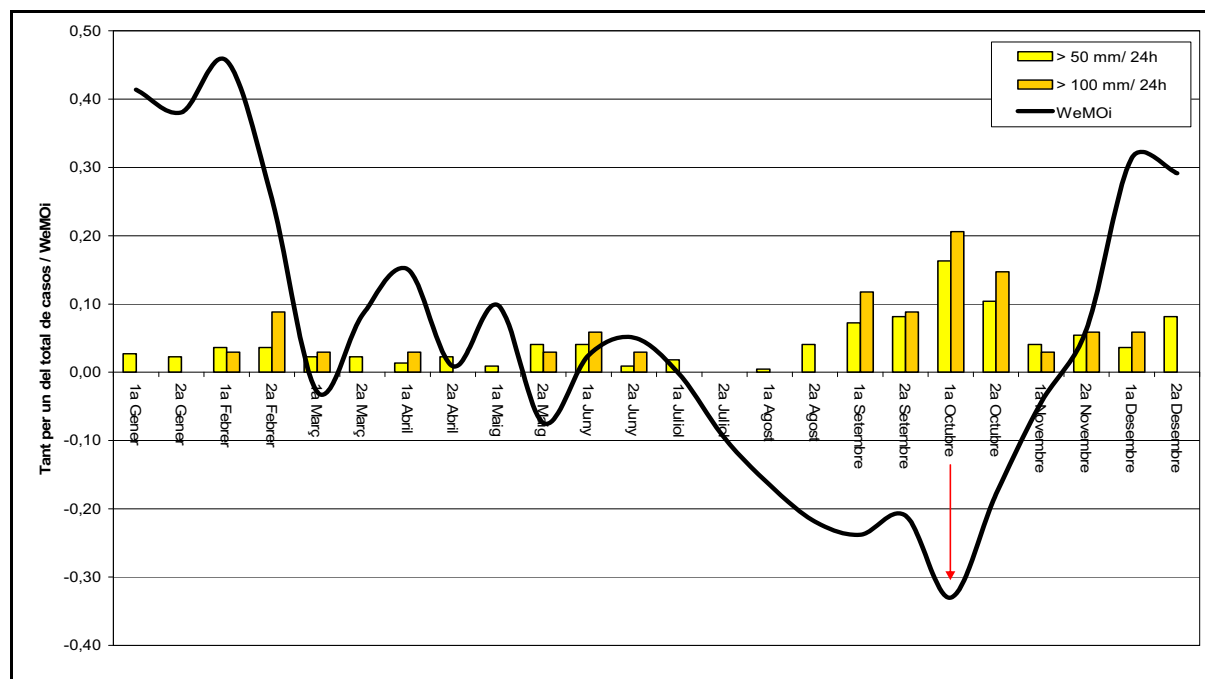


Figura 38. Règim intraanual del WeMOi per quinzenes, segons el període 1951-1975, amb els corresponents dies amb >50 mm (221 casos) i >100 mm (34 casos) almenys en un dels 7 punts d'estudi.

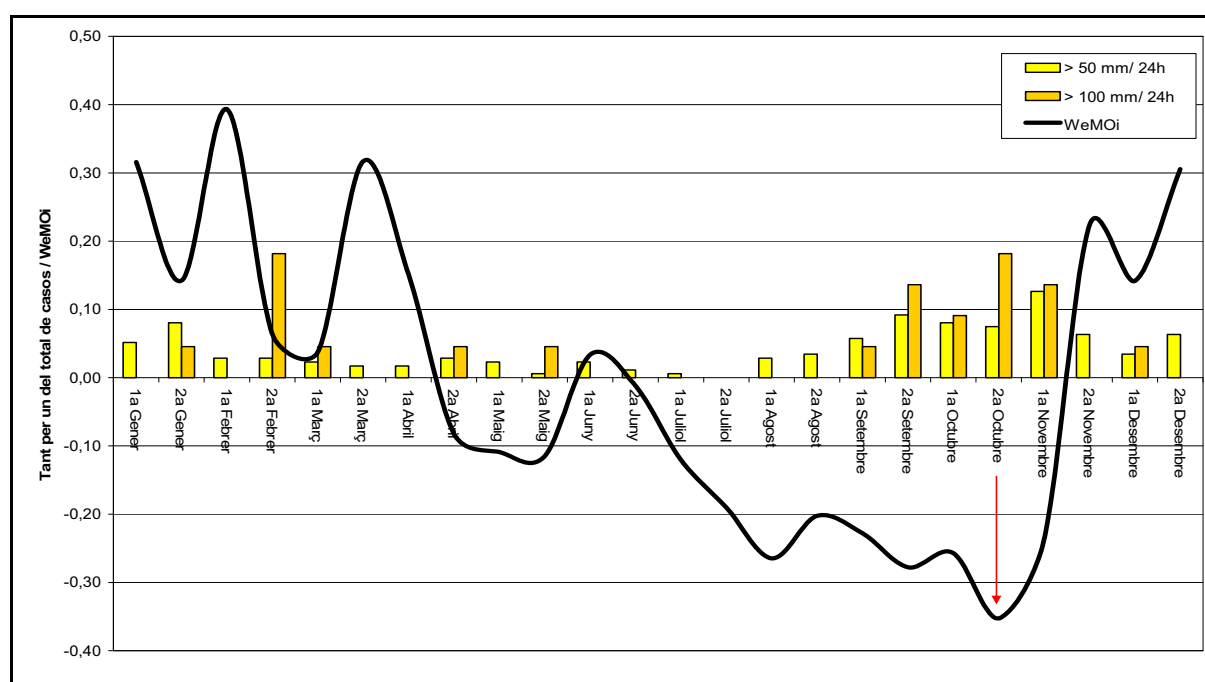


Figura 39. Ídem que Fig. 38, però per al període 1976-2000 i dies amb >50 mm (174 casos) i >100 mm (22 casos).

El calendari s'ajusta a allò que els estudis conclouen, per tant, es podria plantejar si aquests canvis detectats en el calendari de la WeMO a la tardor són ja indicis d'un canvi climàtic a mig termini com a resposta a un cert escalfament de la massa marina Mediterrània. Salat i Pascual (2006) no dubten en afirmar que les temperatures marines de la Costa Brava dels últims 30 anys mostren un increment de forma generalitzada a totes les capes i períodes de l'any. A partir de les dades de la temperatura del mar de l'Estartit (el Baix Empordà)⁵, cedides pel seu observador, Sr. Pascual, ha estat possible elaborar els gràfics de les Figures 40 i 41.

La WeMO podria estar condicionada principalment per les temperatures marines subsuperficials, que indiquen una major acumulació d'energia en la massa marina quan més alta és la temperatura (Romeu Codina i López-Bustins, 2006) i així produir certes anomalies en els camps de pressió superficial (Wallace *et al.*, 1990). El seu índex assoleix, coincidentment, els seus valors més negatius quan la temperatura marina subsuperficial (65-80 m de profunditat) té la seva temperatura màxima anual, finals d'octubre – principis de novembre (Taula 14). Cal destacar que a mitjans dels anys 70 la temperatura màxima a 80 m tenia lloc a l'octubre (14.4 °C), molt seguit del mes de novembre (14.3 °C), i que a principis del segle XXI és al mes de novembre (15.6 °C) amb 0.5 °C per sobre del mes d'octubre (15.1 °C) (Figura 40). Està tenint lloc un desplaçament del període de potencialitat d'una màxima ciclo gensi cap a la tardor més tardana. El mes de novembre és el període de l'any que la temperatura marina subsuperficial ha experimentat un escalfament més important, més d'un 1 °C (Figura 41). En conseqüència, segons la mitjana del període 1973-1997 (Taula 14), la WeMO assoleix la seva fase extrema negativa a la 1a. dècada del mes de novembre. La màxima potencialitat de ciclo gensi s'ha desplaçat a finals d'octubre – principis de novembre. La Figura 39 demostra un augment de la concurrència d'episodis torrencials a finals d'octubre i a principis del mes de novembre durant les darreres dècades del segle XX als Països Catalans. En conseqüència, es podria apuntar a un canvi climàtic en el sentit d'un allargament de l'estació de la tardor en terreny hivernal, però que també podria ser de magnitud per unes temperatures marines més càlides, que potenciarien unes precipitacions torrencials més extremes i més freqüents. Aquest últim apunt podria justificar-se per la conseqüent intensificació de la WeMO en extenses àrees dels Països Catalans, sobretot al País Valencià, a la tardor (Figura 33), possiblement a causa d'aquest notable escalfament de les aigües subsuperficials del Mediterrani als mesos d'octubre i novembre. Alguns estudis també apunten a un augment de la ciclo gensi mediterrània, en intensificar-se la baixa d'Alger, per un augment de les temperatures marines (Millán *et al.*, 1995; Guijarro, 2002). Concretament, Estrela *et al.* (en premsa) també troben una

⁵ La sèrie de dades de temperatura marina de l'Estartit és la més llarga i contínua d'aquest tipus dels Països Catalans. El registre s'inicia al 1968, i de forma continuada des de 1973. La qualitat de la sèrie és excel·lent.

correspondència al mes de novembre entre un increment recent de la temperatura superficial de la Mediterrània Occidental, mitjançant imatges de satèl·lit, i la major freqüència a finals del segle XX d'episodis de front de retrocés al País Valencià.

1973-1997	-0.5 m	-5m	-20 m	-35 m	-50 m	-65 m	-80 m	WeMOi
1a. Juliol	20.68	20.13	18.43	15.90	14.17	13.42	13.24	-0.12
2a. Juliol	21.83	21.38	19.77	16.84	14.80	13.69	13.32	-0.19
3a. Juliol	22.11	21.61	20.20	17.79	14.57	13.57	13.40	-0.21
1a. Agost	22.68	22.19	19.90	17.19	14.89	13.84	13.44	-0.26
2a. Agost	22.96	22.50	20.40	16.71	14.79	13.64	13.46	-0.29
3a. Agost	22.68	22.37	21.25	17.81	14.83	13.81	13.51	-0.19
1a. Setembre	21.53	21.14	20.18	17.97	15.48	13.88	13.54	-0.25
2a. Setembre	21.33	21.10	20.09	17.87	15.58	14.06	13.56	-0.29
3a. Setembre	20.24	20.04	19.43	18.62	17.02	15.41	14.35	-0.19
1a. Octubre	19.31	19.17	18.87	18.15	17.18	15.71	14.47	-0.25
2a. Octubre	18.38	18.24	18.06	17.69	17.13	16.09	15.19	-0.25
3a. Octubre	17.64	17.62	17.44	17.30	16.95	16.39	15.48	-0.32
1a. Novembre	16.98	16.94	16.88	16.75	16.63	16.19	15.38	-0.39
2a. Novembre	16.27	16.14	16.38	16.32	16.27	15.95	15.55	0.16
3a. Novembre	15.35	15.42	15.46	15.42	15.38	15.18	14.93	0.23
1a. Desembre	14.52	14.63	14.67	14.65	14.62	14.58	14.54	0.01
2a. Desembre	13.98	14.04	14.12	14.12	14.10	14.06	13.96	0.26
3a. Desembre	13.32	13.47	13.54	13.59	13.65	13.64	13.59	0.31

Taula 14. Mitjanes de les temperatures marines (°C) de l'Estartit (Costa Brava) als nivells -0.5 m, -5 m, -20 m, -35 m, -50 m, -65 m i -80 m, i del WeMOi diari, en grups de dècades de dies aproximadament segons el mes (de juliol a desembre) per al període 1973-1997. (S'ha acolorit de carbassa les 3 dècades de dies més càlides de l'any de temperatura marina per a les diferents profunditats, i en rosat les 2 dècades de dies de l'any en què el WeMOi diari es presenta en les seves fases més negatives).

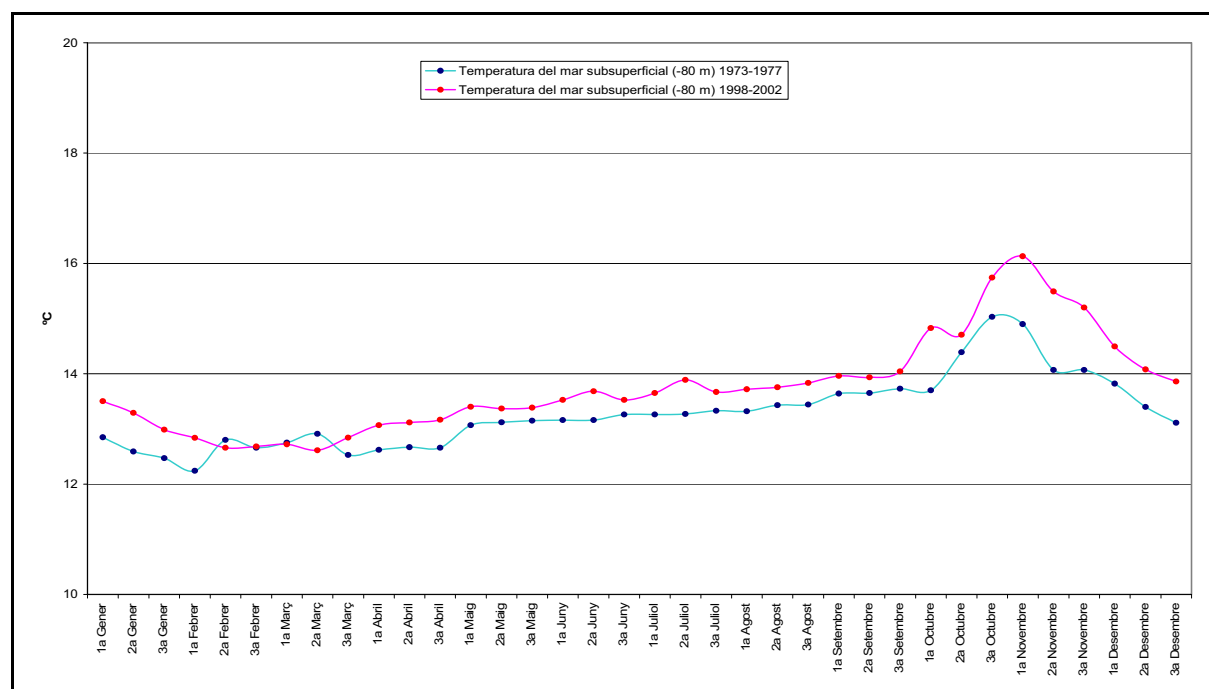


Figura 40. Evolució intraanual per dècades de dies de la temperatura marina mitjana (°C) a 80 m de profunditat a l'Estartit per als lustres 1973-77 i 1998-2002.

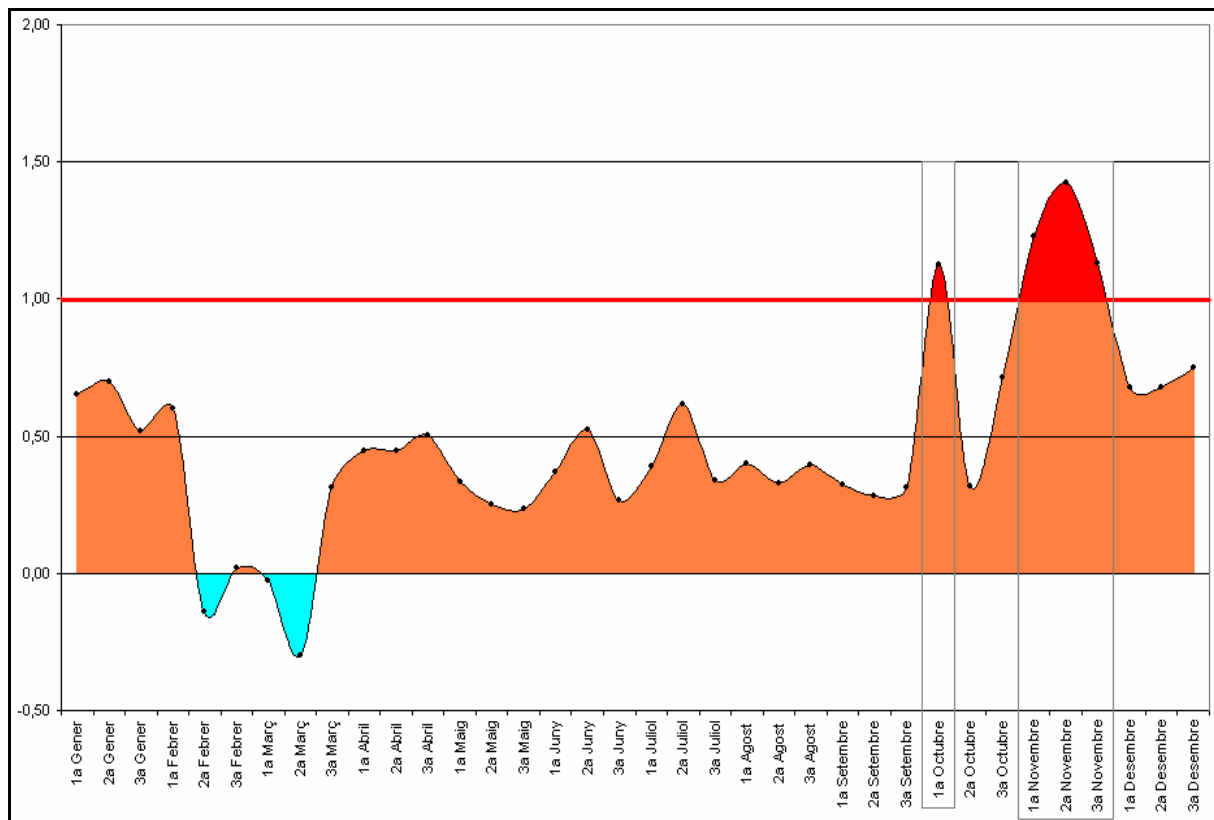


Figura 41. Diferència entre les temperatures marines mitjanes (°C) a 80 m de fondària a l'Estartit del subperíode 1998-2002 menys les del subperíode 1973-77 per dècades de dies.

El mínim absolut del WeMOi de la 1a. octubre es desplaça a la 2a. octubre i a la 1a. novembre (Figura 39), coincidint amb un escalfament de les aigües marines de novembre (Figura 41). La dos primeres dècades d'octubre tenen un escalfament en superfície (-0.5 m) més esmorteït que les dècades adjacents que podria explicar l'estabilització del WeMOi a la 1a. octubre (no es mostra el gràfic de l'evolució de la temperatura del mar a -0.5 m perquè no és tan explicativa com el nivell -80 m).

Una vegada conclòs que és la interfase mar-atmosfera la suposada causa principal per comprendre el calendari de la WeMO i la seva evolució, hi ha una davallada perceptible del WeMOi en ple hivern, 2a. gener, i en la transició d'hivern a primavera, 2a. febrer i 1a. març, que és atribuïble a uns aspectes que s'estudien en el proper capítol 4. Es tracta del canvi de la dinàmica de la CGA que té lloc en aquest període de l'any, en establir-se una circulació zonal més persistent sobre el Nord d'Europa juntament amb una major intensitat de l'anticicló hivernal centreeuropeu durant el segon subperíode. Aquestes condicions són consistents amb l'esmentada tendència positiva de l'AOi, i la subseqüent, negativa del WeMOi, a l'hivern (Taula 3). A la Figura 39, en el període 1976-2000, hi ha una major aglomeració de casos en aquesta època de l'any, 2a. gener i 2a. febrer-1a. març, respecte al període anterior, 1951-1975. Millán *et al.* (2005) ja detectaren també aquest augment de torrencialitat per part dels fronts de retrocés a finals del segle XX en el conjunt del primer semestre de l'any. Les

temperatures marines en aquest període de l'any no tenen variació respecte als anys 70, fins i tot, es produeix una cert refredament que es pot associar a una entrada més freqüent de masses d'aire àrtiques i polars continentals de nord-est (Figura 41), que permeten un *upwelling* més intens entre el Golf de Lleó i la Costa Brava.

A mode de síntesi, el calendari de la WeMO ha mostrat un desplaçament en el seu conjunt cap a valors negatius, notable a la tardor i amb un endinsament en la tardor tardana, presumptament per un fort escalfament dels estrats subsuperficials marins al llarg dels últims 30 anys, i apreciable a la segona meitat de l'hivern per un canvi de la dinàmica de la circulació global relacionat amb variacions físiques i químiques de l'estratosfera polar (veure capítol 4).

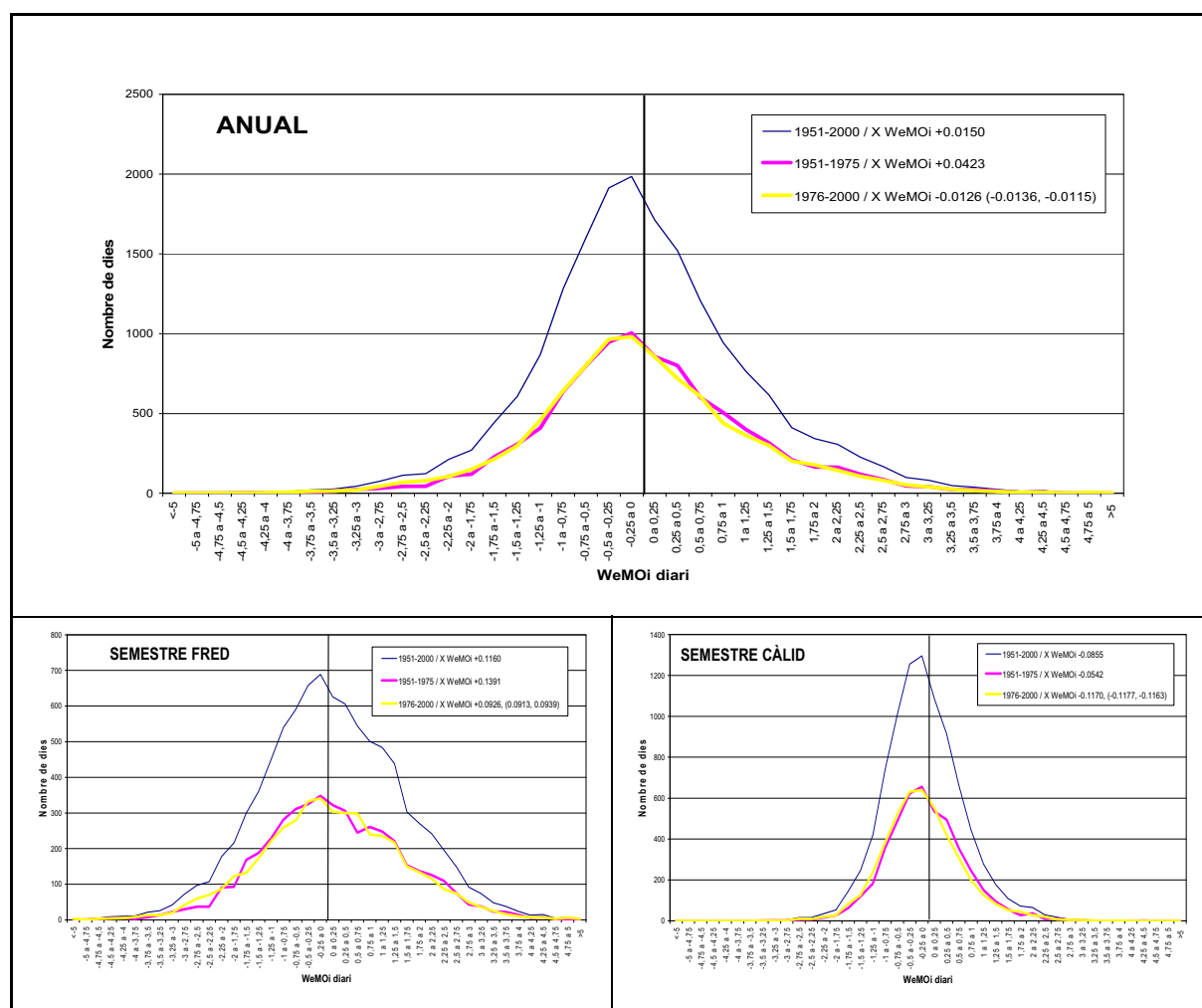
3.9.4. DISTRIBUCIÓ FREQUÈNCIAL DELS VALORS DIARIS DEL WeMOI

Per valorar si hi ha hagut una variació en els histogrames de freqüències del WeMOi durant la segona meitat del segle XX, es treballa amb els dos subperíodes: 1951-1975 i 1976-2000. Es valora anualment, per estacions i per semestres (Figura 42).

Si es comparen els gràfics d'ambdós subperíodes, s'observa un lleuger desplaçament cap als valors negatius durant el semestre càlid i a l'estiu. Més dèbilment, però també és perceptible, a les estacions de l'hivern i de la tardor, i anualment. L'estació de primavera i del semestre fred es mostren invariables a simple vista, però la mitjana del WeMOi diari del primer subperíode es troba fora de l'interval de confiança del WeMOi diari de 1976-2000 pel valor superior, com en les altres èpoques de l'any. En totes elles hi ha un desplaçament cap a l'esquerra dels valors diaris del WeMOi en el subperíode 1976-2000 respecte al de 1951-1975.

L'estació d'hivern mostra la distribució més irregular, per una major variabilitat de l'índex, i té un increment dels valors del WeMOi negatius en el segon subperíode en els intervals compresos entre -3 i -1.5. L'estació estival mostra la distribució més regular, per una menor variabilitat de l'índex, i, per tant, és més visible el desplaçament de la mitjana cap a un valor més negatiu. La tendència general en tots els gràfics és lleugerament, però significativa, cap a uns valors més negatius, que en part explica la tendència negativa del WeMOi en tots els períodes de l'any durant la segona meitat del segle XX (Taula 3). Cal comentar que la mitjana dels valors del WeMOi en totes les èpoques de l'any al llarg de tot el període 1951-2000 no és 0; això és a causa del fet que la resta entre les sèries de pressió superficial del dipol San Fernando-Pàdua s'ha portat a terme una vegada aquestes s'havien estandarditzat.

A resolució anual, l'anàlisi s'ha ampliat mitjançant 4 subperíodes (1901-1925, 1926-1950, 1951-1975 i 1976-2000) per comprovar si apareix una tendència dels valors diaris del WeMOi al llarg de tot el segle XX (Figura 43). Del període inicial, 1901-1925, al període final, 1976-2000, hi ha un desplaçament gradual cap a valors més negatius. Es dedueix un desplaçament de la mitjana cap a l'esquerra o valors negatius, a més d'una disminució de la variància en assolir una major concentració de valors del WeMOi en els intervals centrals. En el primer quart de segle, els valors WeMOi eren més freqüents en l'interval (0, 0.25) i a finals de segle és a l'interval (-0.25, 0). Des del punt de vista del canvi climàtic, es pot considerar que el WeMOi ha disminuït la seva mitjana, però, al mateix temps, ha disminuït la seva variància (Martín-Vide, 2003). Aquesta variació es correspon amb una tendència general i negativa del WeMOi al llarg de tot el segle XX (Taula 2).



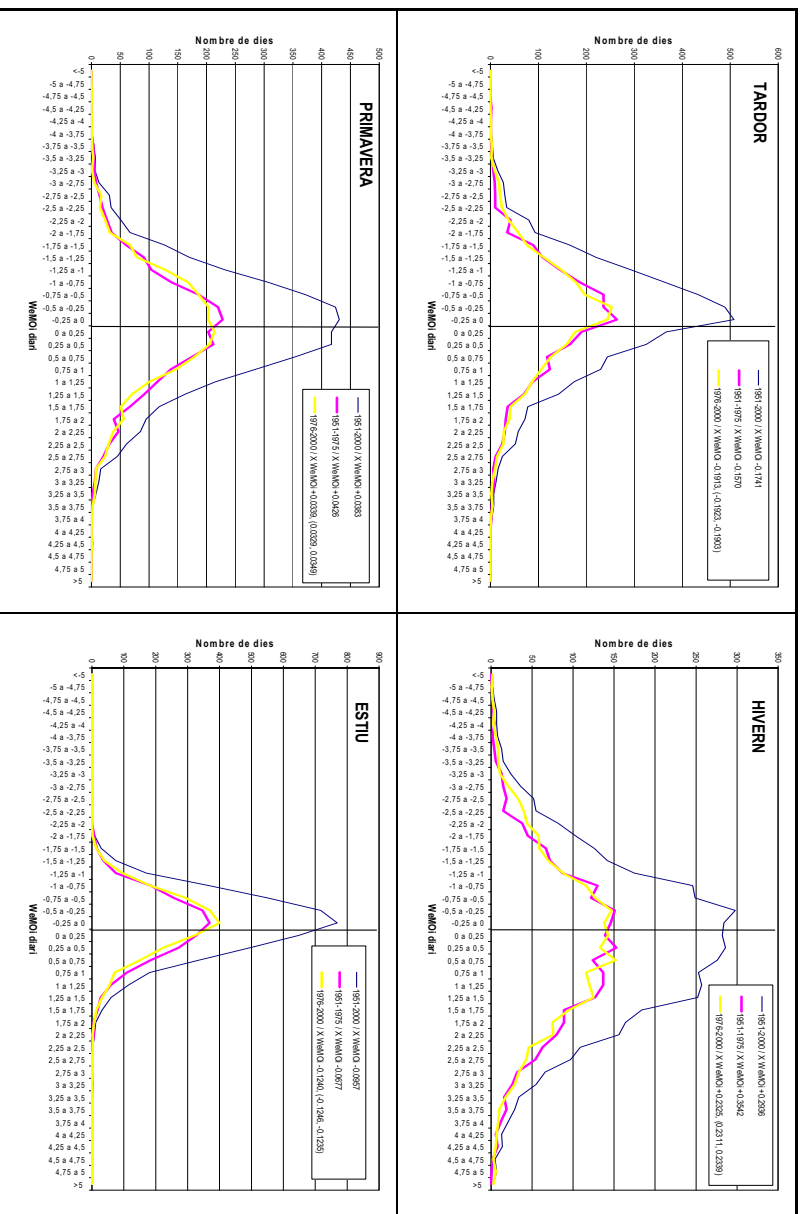


Figura 42. Distribució de freqüències dels valors diaris del WeMOi en intervals de classe de rang 0.25 per al període 1951-2000 i els subperíodes 1951-1975 i 1976-2000. Les distribucions es fan per a tot l'any, els semestres fred i càlid, la tardor, l'hivern, la primavera i l'estiu. Es mostra la mitjana del WeMOi diari per a cada període i l'interval de confiança mitjà (95%) per al subperíode 1976-2000.

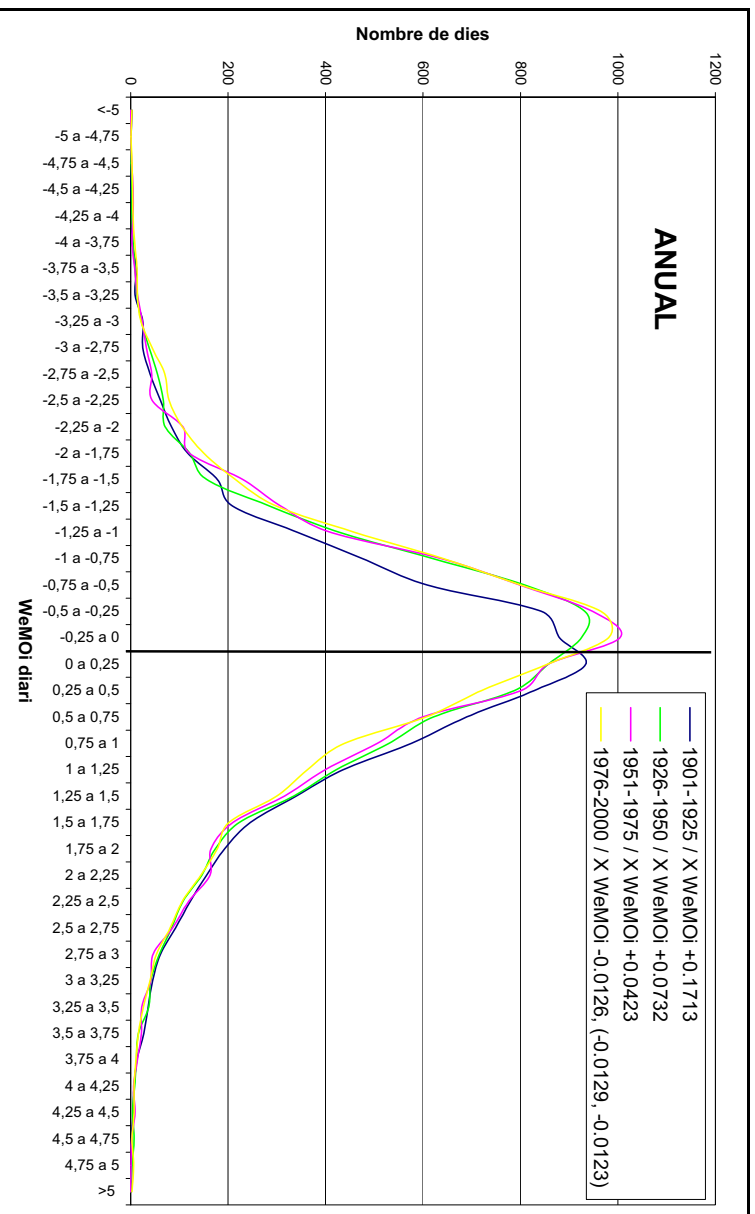


Figura 43. Ídem que Fig. 42, però per als períodes 1901-1925, 1926-1950, 1951-1975 i 1976-2000 considerant tots els dies de l'any.

3.9.5. LES CADENES DE MARKOV I LES SEQÜÈNCIES PLUJoses

Les cadenes de Markov (CM) són un tipus de procés estocàstic, del que s'entén una successió de variables aleatòries. En conseqüència, en aquesta tesi, s'empren les CM com a indicador de la variabilitat entre els dos subperíodes d'anàlisi (1951-1975 i 1976-2000). Una CM de temps discret es defineix com un procés estocàstic que és discret en el temps, que té un espai d'estats finit o comptable (cadena) i que satisfà la condició o propietat de Markov (Martín-Vide, 2003). Aquesta propietat estableix la dependència exclusiva d'un estat respecte a l'estat de l'instant precedent en el cas de la CM de primer ordre; respecte als estats dels dos instants precedents, en el cas de la CM de segon ordre; respecte als estats dels tres instants precedents en el cas de la CM de tercer ordre, etc.

En aquest estudi s'apliquen les CM a les seqüències de pluja ≥ 0.1 mm fins a 4 dies de les sèries diàries només dels Països Catalans: Perpinyà, Barcelona, Tortosa, València i Torrevella. Els períodes d'aplicació són l'any i l'estació hivernal (DGF), que és quan hi ha una bona filiació per part de la pluviometria dels Països Catalans a la WeMO, i a més una tendència negativa i significativa del WeMOi. Només té sentit fer l'ajustament de les CM en aquelles èpoques de l'any quan el WeMOi té una variació significativa entre els dos subperíodes per detectar canvis en les probabilitats de les seqüències de dia de precipitació. En un principi, anualment –com s'ha vist– hi ha una davallada pluviomètrica en els punts ubicats als Països Catalans (a excepció de Barcelona i Torrevella) (Taules 6 i 9) i a l'hivern un increment (a excepció de Tortosa) (Taules 8 i 11) .

Tot i que no hi ha cap buit a les sèries, d'un hivern a l'altre es talla la seqüència, comptabilitzant-se com a dia de precipitació nul (0), com si hi hagués un buit a la sèrie (Gómez Navarro, 1997). Com que només s'aplicarà fins a una seqüència de 4 dies es treballa amb el 90%, aproximadament, de les seqüències, i l'ajustament per CM es realitza manualment. S'apliquen CM de primer i de segon ordre. No es procedeix a calcular un model de CM de tercer ordre perquè les ratxes plujoses en el litoral dels Països Catalans, amb un règim pluviomètric plenament mediterrani, no són molt prolongades en el temps. En canvi, quan l'estudi s'enfoca a l'ajustament de seqüències seques en l'àmbit de la Península Ibèrica, sí que és interessant calcular models de les CM d'ordre major, donada la persistència del fenomen (Gómez Navarro, 1996; Martín-Vide i Gómez Navarro, 1999). No obstant, amb CM₂ s'han ajustat períodes secs de longitud mitjana a Grècia durant la segona meitat del segle XX (Anagnostopoulou *et al.*, 2003). Una altra variable persistent en l'àmbit climàtic mediterrani on es pot aplicar models de CM és a la brisa marina (Azorin-Molina i Martín-Vide, 2007).

La probabilitat que una seqüència plujosa duri exactament n dies, P_n , segons el model de la CM de primer ordre (CM_1) es calcula així:

$P_n = p_{11}^{n-1} \cdot p_{10}$, amb p_{11} , probabilitat de dia de pluja després de dia de pluja i p_{10} , probabilitat de dia sec després de dia de pluja. És així perquè existeixen $n-1$ transicions de “dia de pluja – dia de pluja” i una de “dia de pluja – dia sec”.

Per al model de la CM de segon ordre (CM_2) es calcula:

$P_n = p_{011} \cdot p_{111}^{n-2} \cdot p_{110}$, per a $n \geq 2$ i $P_1 = p_{010}$, on p_{011} és la probabilitat de dia plujós després de dia plujós i l’anterior a aquest, sec; p_{111} la probabilitat de dia plujós després de dos dies plujosos; p_{110} la probabilitat de dia sec després de dos dies plujosos i p_{010} la probabilitat de dia sec després de dia plujós i l’anterior a aquest, sec.

3.9.5.1. Annual

En primer lloc s’ha de calcular la P_{11} , com el quocient del nombre de dies plujosos després de dia plujós, o enllaços 1-1, i el nombre de dies plujosos, donat que es tracta d’una probabilitat condicionada. La probabilitat d’un dia no plujós després d’un dia plujós és la complementària a 1 de la P_{11} (Taula 15).

Les probabilitats per calcular la freqüència de les seqüències mitjançant les CM_2 , també condicionades, es calculen (Taula 16):

- P_{011} és el quocient del nombre de seqüències del tipus 0-1-1 i el nombre de transicions 0-1.
- P_{111} és el quocient del nombre de seqüències del tipus 1-1-1 i el nombre de transicions 1-1.
- P_{110} és el quocient del nombre de seqüències del tipus 1-1-0 i el nombre de transicions 1-1.
- P_{010} és el quocient del nombre de seqüències del tipus 0-1-0 i el nombre de transicions 0-1.

Segons el model de la CM_1 , la probabilitat que una seqüència o ratxa plujosa duri només 1 dia s’ha incrementat a Barcelona en el segon subperíode respecte al primer, però s’ha reduït en les seqüències de més d’un dia. En els altres observatoris, ha disminuït aquesta probabilitat d’un dia, però s’ha mantingut la de ratxes més llargues. Cal recordar que Barcelona redueix el seu nombre de dies de pluja, i els altres observatoris l’augmenten (Taula 9). El model de la CM_1 és coherent amb els resultats d’intensitat pluviomètrica prèviament trobats amb la ID (Taula 6), perquè ambdós identifiquen una reducció del nombre de dies en

la sèrie de Barcelona. Coneixent el comportament pluviomètric mediterrani, hom pot deduir que l'increment de dies aïllats de precipitació i el descens de seqüències més llargues de precipitació és a causa d'una reducció del nombre total de dies de precipitació.

Segons el model de la CM₂, la probabilitat que una ratxa plujosa duri només 1 dia s'ha incrementat notablement a Barcelona, s'ha mantingut a Perpinyà i s'ha reduït en els altres punts. Les ratxes de més dies, a excepció de Barcelona on hi ha una davallada, es mantenen aproximadament igual en els altres observatoris. Es confirma de nou que la davallada del WeMOi dona lloc a un increment del nombre de seqüències plujoses de més d'un dia.

P₁₁	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.44	0.45
Barcelona	0.47	0.42
Tortosa	0.45	0.47
València	0.44	0.45
Torrevella	0.31	0.35
Seqüència plujosa d'1 dia	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.56	0.55
Barcelona	0.53	0.58
Tortosa	0.55	0.53
València	0.56	0.55
Torrevella	0.69	0.65
Seqüència plujosa de 2 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.25	0.25
Barcelona	0.25	0.24
Tortosa	0.25	0.25
València	0.25	0.25
Torrevella	0.21	0.23
Seqüència plujosa de 3 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.11	0.11
Barcelona	0.12	0.10
Tortosa	0.11	0.12
València	0.11	0.11
Torrevella	0.07	0.08
Seqüència plujosa de 4 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.05	0.05
Barcelona	0.06	0.04
Tortosa	0.05	0.06
València	0.05	0.05
Torrevella	0.02	0.03

Taula 15. Probabilitats de les seqüències plujoses d'1, 2, 3 i 4 dies per a les sèries de Perpinyà, Barcelona, Tortosa, València i Torrevella durant els subperíodes 1951-1975 i 1976-2000, per a tot l'any, segons el model de la CM₁.

P₀₁₁	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.45	0.44
Barcelona	0.47	0.43
Tortosa	0.45	0.48
València	0.44	0.45
Torrevella	0.32	0.34
P₁₁₁	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.42	0.45
Barcelona	0.46	0.42
Tortosa	0.45	0.45
València	0.45	0.45
Torrevella	0.29	0.37
P₁₁₀	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.58	0.55
Barcelona	0.54	0.58
Tortosa	0.55	0.55
València	0.55	0.55
Torrevella	0.71	0.63
P₀₁₀	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.55	0.56
Barcelona	0.53	0.57
Tortosa	0.55	0.52
València	0.56	0.55
Torrevella	0.68	0.66
Seqüència plujosa d'1 dia	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.55	0.56
Barcelona	0.53	0.57
Tortosa	0.55	0.52
València	0.56	0.55
Torrevella	0.68	0.66
Seqüència plujosa de 2 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.26	0.24
Barcelona	0.25	0.25
Tortosa	0.25	0.26
València	0.24	0.25
Torrevella	0.23	0.21
Seqüència plujosa de 3 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.11	0.11
Barcelona	0.12	0.10
Tortosa	0.11	0.12
València	0.11	0.11
Torrevella	0.07	0.08
Seqüència plujosa de 4 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.05	0.05
Barcelona	0.05	0.04
Tortosa	0.05	0.05
València	0.05	0.05
Torrevella	0.02	0.03

Taula 16. Ídem que Taula 15, però segons el model de la CM₂.

3.9.5.2. Hivern (DGF)

A nivell estacional, només es fa una anàlisi amb l'hivern, perquè és l'únic període de l'any que el WeMOi té una tendència significativa i negativa durant la segona meitat del segle XX, i, simultàniament hi ha una bona correlació entre el WeMOi i la pluviometria dels Països Catalans. D'aquest mode, es pot valorar si la variació de les fases de la WeMO pot comportar una variació en la longitud dels episodis de precipitació als Països Catalans.

Per portar a terme els càlculs dels models de les CM_1 i CM_2 se segueix el mateix procediment que en l'apartat anterior en l'anàlisi anual (Taules 17 i 18).

P_{ii}	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.46	0.48
Barcelona	0.46	0.46
Tortosa	0.46	0.52
València	0.46	0.51
Torrevella	0.33	0.37
Seqüència plujosa d'1 dia	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.54	0.52
Barcelona	0.54	0.54
Tortosa	0.54	0.48
València	0.54	0.49
Torrevella	0.67	0.63
Seqüència plujosa de 2 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.25	0.25
Barcelona	0.25	0.25
Tortosa	0.25	0.25
València	0.25	0.25
Torrevella	0.22	0.23
Seqüència plujosa de 3 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.11	0.12
Barcelona	0.11	0.11
Tortosa	0.11	0.13
València	0.11	0.13
Torrevella	0.07	0.09
Seqüència plujosa de 4 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.05	0.06
Barcelona	0.05	0.05
Tortosa	0.05	0.07
València	0.05	0.06
Torrevella	0.02	0.03

Taula 17. Probabilitats de les seqüències plujoses d'1, 2, 3 i 4 dies per a les sèries de Perpinyà, Barcelona, Tortosa, València i Torrevella durant els subperíodes 1951-1975 i 1976-2000, per l'hivern (DGF), segons el model de la CM_1 .

P₀₁₁	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.50	0.48
Barcelona	0.45	0.44
Tortosa	0.45	0.56
València	0.43	0.48
Torrevella	0.31	0.36
P₁₁₁	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.41	0.47
Barcelona	0.48	0.48
Tortosa	0.47	0.48
València	0.48	0.53
Torrevella	0.36	0.39
P₁₁₀	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.59	0.53
Barcelona	0.52	0.52
Tortosa	0.53	0.52
València	0.52	0.47
Torrevella	0.64	0.61
P₀₁₀	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.50	0.52
Barcelona	0.55	0.56
Tortosa	0.55	0.44
València	0.57	0.52
Torrevella	0.69	0.64
Seqüència plujosa d'1 dia	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.50	0.52
Barcelona	0.55	0.56
Tortosa	0.55	0.44
València	0.57	0.52
Torrevella	0.69	0.64
Seqüència plujosa de 2 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.30	0.25
Barcelona	0.23	0.23
Tortosa	0.24	0.29
València	0.22	0.23
Torrevella	0.20	0.22
Seqüència plujosa de 3 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.12	0.12
Barcelona	0.11	0.11
Tortosa	0.11	0.14
València	0.11	0.12
Torrevella	0.07	0.09
Seqüència plujosa de 4 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.05	0.06
Barcelona	0.05	0.05
Tortosa	0.05	0.07
València	0.05	0.06
Torrevella	0.03	0.03

Taula 18. Ídem que Taula 17, però segons el model de la CM₂.

El model de la CM_1 apunta a una reducció de les seqüències d'1 dia en el segon subperíode respecte al primer, a excepció de Barcelona, on es manté. Les ratxes de més d'1 dia es tornen més freqüents, sobretot les de 3 i 4 dies, en totes les sèries, a excepció de la de Barcelona, on es mantenen.

El model de la CM_2 apunta a una davallada de la probabilitat d'ocurrència de ratxes plujoses d'1 dia en el segon subperíode respecte al primer a Tortosa, València i Torrevella. Pugen lleugerament a Perpinyà i Barcelona. Les seqüències de més d'1 dia pugen, en general, a Tortosa, València i Torrevella, i es mantenen a Perpinyà i Barcelona. Aquesta distinció dels resultats obtinguts entre els observatoris de la meitat nord (Perpinyà i Barcelona) i els de la meitat sud (Tortosa, València i Torrevella) es podria atribuir al pes que guanya la WeMO a la meitat sud dels Països Catalans en el subperíode 1976-2000, i el debilitament de la WeMO a la Catalunya Nord i Sud, durant el semestre fred de l'any.

El resultat més discrepant entre els models de les CM_1 i CM_2 a l'estació hivernal són les probabilitats calculades per a Perpinyà. La CM_1 calcula un augment de les seqüències plujoses de 3 i 4 dies i una disminució de les de només 1 dia. En canvi, la CM_2 indica un increment de les ratxes plujoses d'1 dia i una disminució de les de 2 dies. Caldrà comprovar-ho amb les freqüències empíriques per discutir quina cadena ajusta millor la realitat pluviomètrica diària de Perpinyà.

3.9.5.3. Ajustament de les cadenes de Markov a les freqüències empíriques

S'han calculat les probabilitats empíriques o observades d'ocurrència de seqüències d'un, dos, tres i quatre dies de pluja per a cada sèrie, tant anualment com per a l'estació hivernal, durant els subperíodes 1951-1975 i 1976-2000. Seguidament, s'ha valorat quin dels dos ordres de la CM ajusta millor aquestes probabilitats observades.

El càlcul de les probabilitats observades consisteix en dividir el nombre de seqüències de pluja d'un dia, dos, tres i quatre pel nombre total de seqüències de pluja (Taula 19 i 20).

Valoració anual:

El model de la CM_2 ajusta amb exactitud la seqüència de només un dia de precipitació per la pròpia formulació del model. Tant la CM_1 com la CM_2 no ajusten gaire la probabilitat empírica de les seqüències de 2 dies, especialment a Torrevella, on els dos models la sobrevaloren molt. En canvi, les dues cadenes ajusten molt satisfactòriament les seqüències de 3 dies. Només sobrevaloren el segon subperíode de Tortosa. La probabilitat de la ratxa de 4

dies també és calculada satisfactòriament per les dues cadenes. Les probabilitats observades ens indiquen allò que ja s'intuïa amb les probabilitats calculades: un increment notable en el segon subperíode de la probabilitat d'ocurrència de ratxes plujoses d'1 dia a Barcelona, i un manteniment o una reducció en els altres punts. En les seqüències de més d'1 dia, en la sèrie de Barcelona es redueixen les probabilitats, i en els altres punts s'incrementen, no obstant, Perpinyà té una certa davallada en les ratxes de 3 dies de pluja.

Seqüència plujosa d'1 dia	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.55	0.56
Barcelona	0.53	0.57
Tortosa	0.55	0.52
València	0.56	0.55
Torrevella	0.68	0.66
Seqüència plujosa de 2 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.19	0.19
Barcelona	0.21	0.18
Tortosa	0.20	0.20
València	0.19	0.19
Torrevella	0.09	0.13
Seqüència plujosa de 3 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.11	0.09
Barcelona	0.12	0.10
Tortosa	0.11	0.10
València	0.10	0.11
Torrevella	0.06	0.08
Seqüència plujosa de 4 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.05	0.05
Barcelona	0.05	0.05
Tortosa	0.05	0.05
València	0.05	0.04
Torrevella	0.02	0.03

Taula 19. Probabilitats o freqüències observades de les seqüències plujoses d'1, 2, 3 i 4 dies per a les sèries de Perpinyà, Barcelona, Tortosa, València i Torrevella durant els subperíodes 1951-1975 i 1976-2000, per a tot l'any.

Es dedueix una reducció general de la probabilitat d'ocurrència de la seqüència d'1 dia per una tendència negativa i significativa del WeMOi a resolució anual a la segona meitat del segle XX (Taula 3). Hi ha un augment del nombre d'episodis de caràcter dèbil (Taula 9), que afavoreixen l'augment de la probabilitat de succés de ratxes plujoses de més d'1 dia. Torrevella és el punt on es detecta un major increment de les probabilitats d'ocurrència de les seqüències més llargues, doncs, es tracta d'aquella àrea on la WeMO té més influència a resolució anual. Barcelona, no obstant, és l'únic punt que presenta un comportament contrari al descrit, coincidint amb els resultats trobats anualment amb la ID (Taula 6).

Seqüència plujosa d'1 dia	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.50	0.52
Barcelona	0.55	0.56
Tortosa	0.55	0.44
València	0.57	0.52
Torrevella	0.69	0.64
Seqüència plujosa de 2 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.28	0.26
Barcelona	0.24	0.23
Tortosa	0.25	0.33
València	0.24	0.24
Torrevella	0.19	0.23
Seqüència plujosa de 3 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.13	0.11
Barcelona	0.10	0.12
Tortosa	0.09	0.10
València	0.09	0.11
Torrevella	0.09	0.07
Seqüència plujosa de 4 dies	1951-1975	1976-2000
Perpinyà	0.05	0.05
Barcelona	0.05	0.05
Tortosa	0.06	0.04
València	0.05	0.06
Torrevella	0.01	0.05

Taula 20. Ídem que Taula 19, però per a l'estació d'hivern (DGF).

Valoració de l'estació hivernal:

La tendència negativa i significativa del WeMOi hivernal es reflecteix satisfactòriament en la davallada de les freqüències empíriques de les seqüències d'1 dia i l'increment de les seqüències de 2 dies, en aquelles àrees d'estudi on la WeMO guanya pes sobre la pluviometria durant la segona meitat del període 1951-2000, que és palès a les sèries de Tortosa, València i Torrevella. Les ratxes de dies de pluja de Tortosa s'ajusten satisfactòriament amb els models de les dues cadenes. Perpinyà i Barcelona tenen una evolució inversa, doncs, cal recordar que en el segon període perd molt de pes la WeMO en aquests observatoris (Figura 28). Aquest fenomen també es reflecteix en l'evolució del nombre de dies de pluja dèbil, els quals augmenten en els 3 observatoris meridionals i disminueixen a Barcelona (Taula 11). A Perpinyà s'incrementen els episodis dèbils, però, en canvi, les seqüències de pluja tendeixen a augmentar la seva freqüència quan són només d'1 dia. Tortosa redueix molt la probabilitat empírica de la seqüència d'1 dia de pluja quan el nombre de dies de pluja total tampoc ha augmentat notablement (Taula 8). Les freqüències de les seqüències a vegades no tenen una relació directa amb el nombre de dies de pluja. En canvi, sí que hi ha una relació entre l'augment de les seqüències de pluja de més d'1 dia i l'evolució del WeMOi, perquè aquest afavoreix un major nombre d'episodis de dies de

precipitació consecutius en tenir una tendència significativa i negativa. A més, les pluviometries de la meitat sud dels Països Catalans són les que responen millor perquè és on la WeMO guanya un major pes (Figura 28).

L'ajustament de la CM₂ per a la seqüència d'1 dia de pluja és, òbviament, exacte. Les seqüències de 2 dies de pluja són ajustades satisfactòriament per la CM₁, en els observatoris centrals, i per la CM₂, en els observatoris dels extrems de l'àrea d'estudi (Perpinyà i Torrevella). Les seqüències de 3 dies de pluja no són ajustades per les CM tan bé com en el conjunt de tot l'any perquè hi ha una certa sobrevaloració de les probabilitats. Tant la CM₁ com la CM₂ les ajusten similarment. Perpinyà és l'únic punt infravalorat, i és la CM₂ la que l'ajusta millor. Per últim, la seqüència de 4 dies de pluja és ajustada satisfactòriament i similarment per les dues CM; només se sobrevalora Torrevella, que és ajustada més correctament per la CM₁.

3.9.6. ANÀLISI DE L'EVOLUCIÓ DELS VALORS EXTREMS NEGATIUS DEL WeMOi DIARI

Es defineix com a valor negatiu extrem del WeMOi el valor estandarditzat que supera 2Z en signe negatiu. L'anàlisi es porta a terme a resolució anual i per a cada estació al llarg de tot el període 1870-2000. S'anoten les freqüències diàries del WeMOi <-2Z per anys i es tracen tendències (Figura 44).

Tots aquells períodes de l'any que tenen un WeMOi amb una tendència negativa i significativa al llarg dels diferents trams temporals (Taula 2 i 3), coincideixen amb aquells que tenen també una tendència positiva i significativa en la freqüència d'aquests episodis negatius extrems. Anualment, la significació és tant en el període 1901-2000 com en el 1951-2000; el mateix succeeix a l'estació hivernal.

A la primavera els episodis extrems negatius es mantenen força invariables, tot i que tenen un cert augment al llarg del segle XX, però no significatiu com la tendència negativa del WeMOi durant aquest mateix període. A la tardor, les tendències del WeMOi tenen un sentit negatiu però no significatiu, per tant es reflecteixen amb una tendència positiva, però no significativa, d'aquests episodis. La freqüència d'episodis no s'ha representat a l'estiu perquè només es donen 4 casos en tot el període 1870-2000.

Durant l'estació d'hivern i anualment és quan hi ha un increment significatiu d'aquests episodis. Només es reflecteix en la pluviometria total, igual que els índexs de torrencialitat, a l'estació d'hivern. En aquesta estació es detecta un augment de la pluviometria dels observatoris dels Països Catalans per l'augment d'episodis de més de 10 mm (Taula 11). En

canvi, aquest increment de precipitació no es detecta en el conjunt de l'any, ja que els únics episodis que augmenten són els més dèbils (≥ 0.1 mm) (Taula 9).

Un cop s'ha disposat de la freqüència d'aquests episodis, s'ha assajat una anàlisi espectral per a aquests episodis, però els resultats no han estat interessants. Només cal destacar uns cicles de 5 i de 9 anys a l'hivern, que coincideixen amb els cicles trobats per al WeMOi i AOi a l'hivern (Figura 18), i un de 12 anys a la primavera (els espectres no s'exposen per la seva poca rellevància).

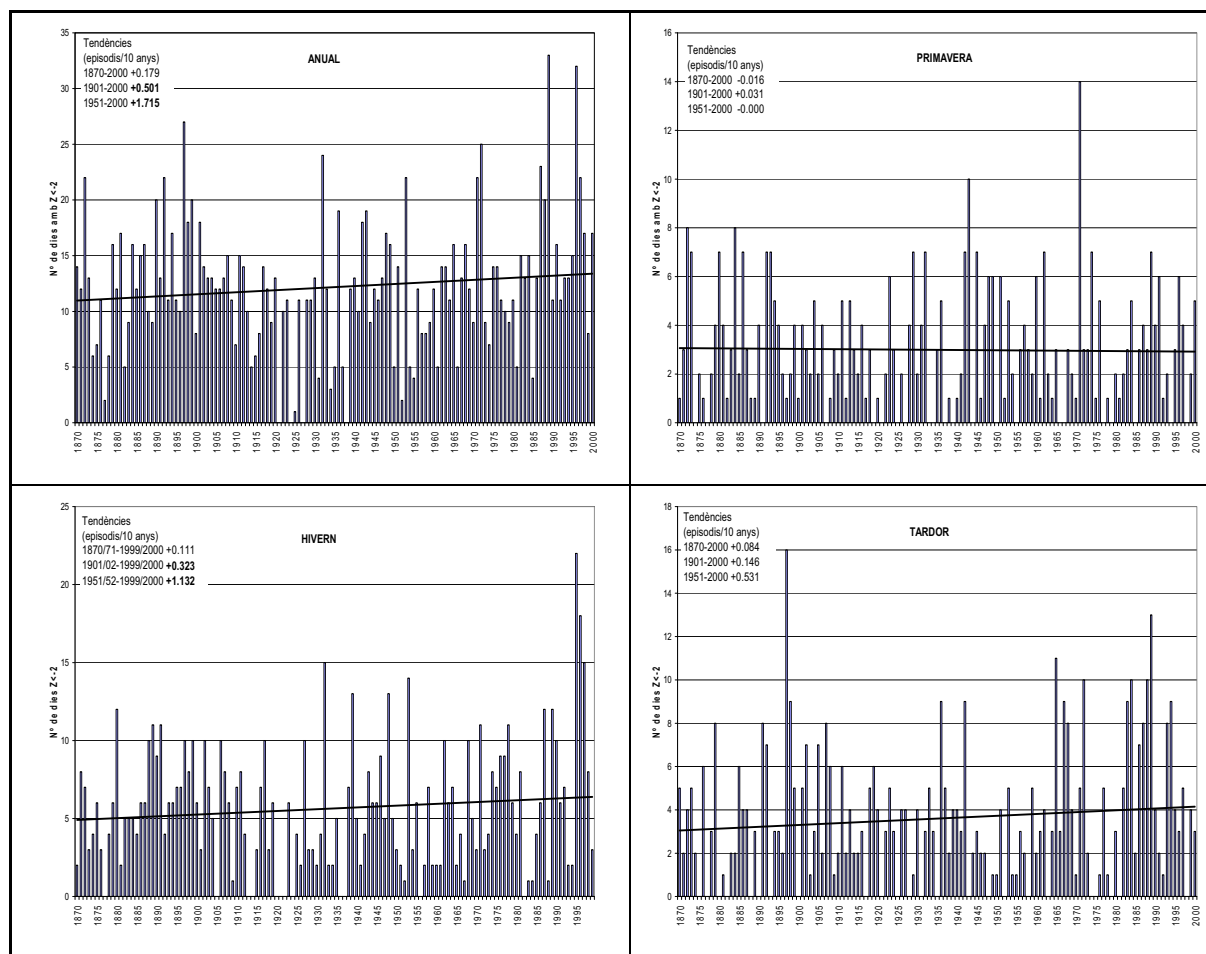


Figura 44. Evolució temporal dels dies extrems negatius del WeMOi diari ($<-2Z$) al llarg del període 1870-2000, i les tendències de la freqüència d'aquestes dies durant els períodes 1870-2000, 1901-2000 i 1951-2000, a resolució anual i per a les estacions de tardor, hivern i primavera. (Les tendències significatives al 0.05 es mostren en negreta; t-test –software AnClim, Stepanek, 2005–).

3.9.7. SÍNTESI FINAL DE L'EVOLUCIÓ DE LA IRREGULARITAT PLUVIOMÈTRICA DIÀRIA DELS PAÏSOS CATALANS

Una tendència negativa del WeMOi planteja dues direccions en la seva incidència en la pluviometria diària dels Països Catalans: un increment de la torrencialitat i un augment del nombre de dies de precipitació, que condicionaran els índexs CI i ID.

Amb l'excepció de Barcelona, una davallada del WeMOi comporta en general un augment del nombre de dies de precipitació (reducció de la intensitat, ID) per un desplaçament cap a l'esquerra (valors negatius) de la distribució de freqüències del WeMOi diari, un increment de la irregularitat pluviomètrica (CI) per un major nombre d'episodis intensos i torrencials en augmentar els valors diaris extrems negatius del WeMOi, un increment de les mitjanes pluviomètriques dels observatoris i una major freqüència de seqüències plujoses de més d'1 dia.

A l'estació hivernal, quan el WeMOi té una tendència negativa i significativa, a més d'una major filiació a la WeMO de les pluviometries de la meitat sud dels Països Catalans en el segon subperíode 1976-2000, s'incrementa la torrencialitat per un augment dels valors extrems negatius del WeMOi diari. Conseqüentment, augmentarà el CI, i la ID en aquells casos que els episodis que incrementin la seva freqüència siguin els intensos, proporcionalment, per sobre dels de caràcter dèbil.

En el cas de València a l'hivern, on la WeMO guanya una força important a finals de segle (Figura 28), la torrencialitat hi augmenta significativament mostrant-se amb un valor més alt del CI al segon subperíode, però també de la ID, tot i el lleuger augment del nombre de dies de precipitació (Taula 8) que comporten una reducció de les seqüències plujoses d'1 dia (Taula 20). Els episodis intensos i torrencials s'incrementen més considerablement que els de caràcter més dèbil en el cas de València (Taula 11).

3.10. ILLES BALEARS – CATALUNYA: PLUVIOMETRIES OPOSADES?

Entre el Grup de Climatologia de la Universitat de Barcelona del Departament de Geografia Física i AGR i el Departament de Ciències de la Terra de la Universitat de les Illes Balears es va iniciar una investigació conjunta durant el període 2001-2004, a partir del projecte REN (2001-2865-C02-01/CLI) del Ministeri d'Educació i Ciència, que es manté vigent en un nou projecte, l'IPIBEX (CGL2005-07664-C02-01). Un dels seus objectius és confirmar la hipòtesi sobre una relació oposada entre la pluviometria de les Illes Balears i Catalunya. En aquesta tesi, aprofitant la disposició suficient de dades d'ambdós territoris, s'assaja una primera aproximació.

En primer lloc, cal repassar quins patrons de circulació són dominants en aquestes àrees i en quines èpoques de l'any. L'AOi es correlaciona negativament a les Terres de Ponent i positivament al sud-oest de les Illes Balears amb la precipitació a la tardor, hivern i semestre fred (Figura 12). El NAOi es correlaciona sempre negativament en ambdós territoris. La WeMO té un comportament similar al de l'AO, però òbviament, oposat: la precipitació del Pirineu Occidental es correlaciona positivament amb el WeMOi mentre la precipitació del quadrant sud-oest de les Illes ho fa negativament, a la tardor, a l'hivern i al semestre fred (Figures 19, 20, 23 i 24 del capítol 2). Se seleccionen per a l'assaig aquestes dues estacions i el conjunt de la meitat freda de l'any.

Les correlacions que s'esperen, a priori, són com les d'entre alguns punts del País Valencià i la demarcació de Lleida (apartat 3.4.). Al llarg d'aquest capítol i l'anterior, s'ha anat demostrant que el comportament pluviomètric de les Illes Balears en el seu extrem sud-occidental és paregut al dels observatoris propers al Cap de la Nau per la seva proximitat geogràfica. Les correlacions entre les sèries de precipitació de les Pitiüses i aquesta àrea del País Valencià són altament positives (99% del nivell de confiança) en les dues estacions i semestre fred.

Les correlacions pluviomètriques a l'hivern i tardor mostren una relació significativa positiva entre els observatoris de les dues illes septentrionals (Mallorca i Menorca), i els de Catalunya. En aquestes mateixes èpoques de l'any, la correlació pluviomètrica entre els observatoris de les Pitiüses i els de Catalunya no és significativa.

Si l'anàlisi es porta a terme per al conjunt del semestre fred, els resultats són diferents. El comportament pluviomètric entre Mallorca i Menorca, i Catalunya ja no és tan semblant, i les correlacions entre la sèrie de sa Savina (Formentera) i algunes de les comarques lleidatanes i de la Franja de Ponent són negatives, i significativa en el cas de la sèrie del Pantà de Sant Llorenç (la Noguera) (-0.31). Es repeteixen els resultats trobats en l'apartat 3.4. entre

Benifairó de la Valldigna (la Safor) i Vielha (la Val d'Aran). La correlació pluviomètrica entre Binèfar (la Llitera), a la Franja de Ponent, i Capdepera a Mallorca oriental, és de -0.37, però no s'explica a partir de l'oscil·lació dels patrons, i es podria tractar d'un fenomen aïllat i casual.

A partir de les extenses taules dels coeficients de correlació entre tots els observatoris d'estudi dels Països Catalans (que no s'inclouen per la seva extensió i la poca informació que aporten), cal concloure que el comportament pluviomètric, a la meitat freda de l'any entre Balears i Catalunya, només és lleugerament oposat si s'acota a l'àrea de Formentera i del Pirineu lleidatà, i en un sentit menys estricte, les comarques de Lleida i de la Franja de Ponent, i les Pitiüses. En conseqüència, no es pot afirmar amb plena satisfacció la hipòtesi d'una oscil·lació oposada de la precipitació entre Catalunya i les Illes Balears, almenys per a la meitat freda de l'any.

3.11. CONSIDERACIONS SOBRE LA PLUVIOMETRIA HIVERNAL FUTURA DELS PAÏSOS CATALANS SEGONS ELS PATRONS DE TELECONNEXIÓ

No es posa en dubte, després de les anàlisis realitzades fins al moment, que els patrons de variabilitat tenen una major influència en la pluviometria dels Països Catalans durant la meitat freda de l'any, sobretot, a l'hivern. Mentre a la tardor els patrons no han mostrat variacions significatives recents, a l'hivern (DGF) apareixen unes tendències clares i significatives; en el cas del WeMOi, una davallada, i en el cas de l'AOi, un increment⁶. S'explica per l'oscil·lació oposada detectada entre ambdós patrons. El NAOi no presenta una tendència significativa, tot i que positiva. Existeix també la possibilitat que la NAO esdevingui, en un futur proper, en una nova fase negativa, com la dels anys 60, i deixi enrere la fase positiva que ha tingut en els últims anys del segle XX.

Si s'establís una nova fase negativa de la NAO, com a variabilitat natural o induït de l'oscil·lació, tant Catalunya com l'interior del País Valencià i les illes de Mallorca i Menorca incrementarien la seva precipitació. De moment, aquests territoris romanen amb certa davallada hídrica per la prolongació de la recent fase positiva d'aquest patró. Aquest patró de la NAO és certament dependent de l'AO, el qual presenta una ferma evolució positiva al llarg de la segona meitat del segle XX, ja sigui per una variabilitat natural com per factors de distinta índole. És consensuat que el vòrtex polar hivernal s'ha reforçat en els darrers anys, sobretot, en la seva fase final (Labitzke i Kunze, 2005; Labitzke *et al.*, 2005; López-Bustins, 2006), comportant aquesta tendència positiva de l'AOi. Shindell *et al.* (1999, 2001) apunten a una major circulació zonal a l'hivern a causa d'un augment dels gasos antròpics que afavoririen un refredament de l'estratosfera polar i, per tant, un increment de la vorticitat del vòrtex polar. El resultat és una fase negativa pronunciada de la WeMO, que ha comportat un augment pluviomètric hivernal (Figura 17) juntament amb un CV més elevat a les àrees on té un major pes (Figures 28 i 32): Catalunya Nord i algunes comarques gironines, País Valencià i les Pitiüses. El S₁ assenyala el Golf de València com l'àrea pluviomètrica més estrictament irregular interanualment a l'hivern a finals del segle XX. Malgrat no incrementar-se la precipitació hivernal a les illes d'Eivissa i Formentera, hi té lloc una reducció notablement més esmorteïda que a les illes de Mallorca i Menorca. La davallada del WeMOi a l'hivern té relació amb l'augment de la pressió atmosfèrica al nord d'Itàlia a causa d'una intensificació de l'anticicló hivernal centreeuropeu (Maugeri *et al.*, 2003, 2004). Aquest anticicló és la clau de la relació oposada entre la WeMO i l'AO que es desvela en el següent capítol.

⁶ Cal comentar, no obstant, que els valors hivernals de l'AOi (NOAA) dels primers anys del segle XXI són predominantment negatius.

L'augment de precipitació hivernal a la major part dels Països Catalans, per una prolongada fase negativa de la WeMO a finals del segle XX, planteja la incertesa de si és a causa de l'augment de la torrencialitat com proposen alguns autors (Goodess i Jones, 2002; Sumner *et al.*, 2003; Rodrigo, 2006). En l'apartat 3.9.6., es discuteix si la irregularitat pluviomètrica diària ha augmentat o disminuït segons els diferents indicadors, però el que és evident és que aquesta davallada del WeMOi ha comportat un major nombre de dies de precipitació i de seqüències de més d'un dia plujós en el conjunt dels Països Catalans.

Referències bibliogràfiques

- Alpert P, Ben-Gai T, Baharad A, Benjamini Y, Yekutielle D, Colacino M, Diodato L, Ramis C, Homar V, Romero R, Michaelides S, Manes A. 2002. The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters* **29** (11), 1536 doi:10.129/2001GL013554.
- Anagnostopoulou C, Maheras P, Karacostas T, Vafiadis M. 2003. Spatial and temporal análisis of dry spells in Greece. *Theoretical and Applied Climatology* **74**: 77-91.
- Armengot R. 2002. *Las lluvias intensas en la Comunidad Valenciana*, INM, Ministerio de Medio Ambiente, 263 p.
- 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, Madrid.
- 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.
- Baldwin MP, Dunkerton TJ. 2001. Stratospheric harbingers of anomalous weather regimes. *Science* **294**: 581-584.
- Barriendos, M. 1994. *El clima histórico de Catalunya. Aproximación a sus características generales (Siglos XV-XIX)*. Tesi doctoral. Director: Javier Martín-Vide. Departament de Geografia Física i AGR de la Universitat de Barcelona.
- Burgueño A, Martínez MD, Lana X, Serra C. 2005. Statistical distributions of the daily rainfall regime in Catalonia (northeastern Spain) for the years 1950-2000. *International Journal of Climatology* **25**: 1381-1403.
- 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, València, 260 p.
- Estrela MJ, Miró JJ, Pastor F, Millán M. 2004. Precipitaciones por frentes atlánticos en la Comunidad Valenciana: Cambios y tendencias en las últimas décadas. *XXVIII Jornadas Científicas de la AME* 11-13, Badajoz.
- 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.
- Fernández García AJ, Martín-Vide J. 2004. Tendencias de los patrones de circulación estivales en Europa occidental en la segunda mitad del siglo XX. Precipitaciones estivales asociadas en la Península Ibérica. *IV Congreso de la Asociación Española de Climatología* **4**: 273-290, Zaragoza.
- Gómez Navarro L. 1996. Calcul par les chaines de Markov des probabilités de durée des séquences sèches et pluvieuses en Espagne. *Association Internationale de Climatologie* **9**: 203-209.
- Gómez Navarro L. 1997. *Regionalización climática de la España peninsular mediante el análisis markoviano de las sequías*. Tesi doctoral. Director: Javier Martín-Vide. Departament de Geografia Física i AGR de la Universitat de Barcelona.
- González-Hidalgo JC, de Luis M, Raventós J, Sánchez JR. 2001. The spatial and temporal structure of rainfall trends in the Valencia Region (eastern of Spain) over the second half of the 20th century. *En: Brunet-India, M. and López-Bonillo, D. (Eds.). Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Springer-Verlag. Berlin, 175-189 p.
- González-Hidalgo JC, de Luis M, Raventós J. 2002. Variaciones estacionales de la precipitación en la costa Este peninsular durante la década de los años noventa. *III Congreso de la Asociación Española de Climatología* **3**: 229-236, Palma.
- González-Hidalgo JC, de Luis M, Raventós J, Sánchez JR. 2003. Daily rainfall trend in Valencia Region of Spain. *Theoretical and Applied Climatology* **75**: 117-130.
- González-Hidalgo JC, de Luis M, Stepanek P, Lanjeri S. 2006. Propuesta metodológica para realizar el control de calidad de las precipitaciones mensuales en la vertiente mediterránea de la Península Ibérica. *V Congreso de la Asociación Española de Climatología* **5**: 391-409, Zaragoza.
- González-Hidalgo JC, Lopez-Bustins JA, Stepanek P, Martin-Vide J, de Luis M. Monthly precipitation trends on the Mediterranean façade of the Iberian Peninsula during the second half of the 20th century (1951-2000). *International Journal of Climatology*, en avaluació.
- Goodess CM, Jones PD. 2002. Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall. *International Journal of Climatology* **22**: 1593-1615.
- Groisman PY, Karl TR, Easterling DR, Knight RW, Jamason PF, Hennessy KJ, Suppiah R, Page CM, Wibig J, Fortuniak K, Razuvaev VN, Douglas A, Førland E, Zhai PM. 1999. Changes in the Probability of Heavy Precipitation: Important Indicators of Climatic Change. *Climatic Change* **42**: 243-283.
- Guijarro JA. 2002. Tendencias de la precipitación en el litoral mediterráneo español. *III Congreso de la Asociación Española de Climatología* **3**: 237-246, Palma.
- Hurrell JW, van Loon, H. 1997. Decadal Variations in Climate associated with the North Atlantic Oscillation. *Climatic Change* **36**: 301-326.
- Jones PD, Hulme M. 1996. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *International Journal of Climatology* **16**: 361-377.
- Labitzke K, Kunze M. 2005. Stratospheric temperatures over the Arctic: Comparison of the three data sets. *Meteorologische Zeitschrift* **14**: 65-74.
- Labitzke K, Naujokat B, Kunze M. 2005. The Lower Arctic Stratosphere in Winter since 1952: an Update. *Spare Newsletter* **24**: 37-38.

- Lana X, Martínez MD, Serra C, Burgueño A. 2005. Periodicities and irregularities of indices describing the daily pluviometric regime of the Fabra Observatory (NE Spain) for the years 1917-1999. *Theoretical and Applied Climatology* **82**: 183-198.
- López-Bustins, JA. 2006. Temperatura de la estratosfera polar y precipitación de la Península Ibérica en marzo (1958-2000). *V Congreso de la Asociación Española de Climatología* **5**: 175-189, Zaragoza.
- 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, Esteban P, Labitzke K, Langematz U. 2006. Major Midwinter Warmings and Iberian Peninsula Rainfall. *Geophysical Research Abstracts* **8**: 03493. European Geosciences Union, Vienna
- Lopez-Bustins JA, Martin-Vide J, Sanchez-Lorenzo, A. Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns. *Global and Planetary Change*, en avaluació.
- Marquardt C. 1998. *Die tropische QBO und dynamische Prozesse in der Stratosphäre*. PhD thesis, Met. Abh. FU-Berlin, Serie A, Band 9/Heft 4, Verlag Dietrich Reimer Berlin, 260 p.
- Martín-Vide J. 1987. Propiedades y aplicaciones de un índice de disparidad en pluviometría. *X Congreso Nacional de Geografía (AGE)* **1**: 267-276.
- Martín-Vide, J. 2003. *El temps i el clima*. Departament de Medi Ambient i Editorial Rubes, Barcelona, 127 p.
- Martín-Vide J. 2004. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. *International Journal of Climatology* **24**: 959-971.
- Martín-Vide, J. 2005. Factors geogràfics, regionalització climàtica i tendències de les sèries climàtiques a Catalunya. *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible. Generalitat de Catalunya <http://www.iecat.net/canviclimatic/indexamblinks.htm>
- Martín-Vide J, Gómez Navarro L. 1999. Regionalization of Peninsular Spain based on the length of dry spells. *International Journal of Climatology* **19**: 537-555.
- Martín-Vide J, Lopez-Bustins JA. 2006. The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology* **26** (11): 1455-1475.
- Martín-Vide J, Calbó J, Sánchez-Lorenzo, A. 2006. Tendencias recientes de la insolación en la España peninsular y Baleares (1971-2000). *Proceedings 5ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica*, sesión de Climatología y Cambio Climático, Sevilla, CD-ROM.
- Maugeri M, Brunetti M, Monti F, Nanni T. 2003. The Italian Air Force sea-level pressure data set (1951-2000). *II Nuovo Cimento* **26C**: 453-467.
- Maugeri M, Brunetti M, Monti F, Nanni T. 2004. Sea-Level pressure variability in the Po plain (1765-2000) from homogenized daily secular records. *International Journal of Climatology* **24**: 437-455.
- 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.
- Montón Chiva E, Quereda Sala J. 1997. *¿Hacia un cambio climático?. La evolución del clima mediterráneo desde el siglo XIX*. Fundación Davalos-Fletcher, Castelló de la Plana, 520 p.
- Nieto S, Rodríguez-Puebla C. 2006. Comparison of Precipitation from Observed Data and General Circulation Models over the Iberian Peninsula. *Journal of Climate* **19**: 4254-4275.
- Norrant C, Douguédroit A. 2006. Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950-2000). *Theoretical and Applied Climatology* **83**: 89-106.
- Oliva M, López-Bustins JA, Barriendos M, Muedra C, Martín-Vide J. 2006. Reconstrucció històrica de la Oscilació del Mediterráneo Occidental (WeMO) e inundacions en el levante peninsular (1500-2000). *V Congreso de la Asociación Española de Climatología* **5**: 241-250, Zaragoza.
- Önöz B, Bayazit M. 2003. The Power of Statistical Tests for Trend Detection. *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences* **27**: 247-251.
- Osborn TJ. 2004. Simulating the winter North Atlantic Oscillation: the roles of internal variability and greenhouse gas forcing. *Climate Dynamics* **22**: 605-623.
- Osborn TJ, Briffa KR, Cook ER, Mann ME. 1999. The winter North Atlantic Oscillation. *International Union for Quaternary Research, XV International Congress*, Durban.
- Paredes D, Trigo RM, Garcia-Herrera R, Trigo IF. 2006. Understanding precipitation changes in Iberia in early spring: weather typing and storm-tracking approaches. *Journal of Hydrometeorology* **7**: 101-113.
- Power HC. 2003. Trends in solar radiation over Germany and an assessment of the role of aerosols and sunshine duration. *Theoretical and Applied Climatology* **76**: 47-63.
- Pozo-Vázquez D, Esteban-Parra MJ, Rodrigo FS, Castro-Díez Y. 2000. An analysis of the variability of the North Atlantic Oscillation in the time and the frequency domains. *International Journal of Climatology* **20**: 1675-1692.
- Quereda Sala J. 1989. *La ciclogénesis y las gotas frías del Mediterráneo Occidental*. Diputació de Castelló, 135 p.
- Rodrigo FS. 2006. Influence on the North Atlantic oscillation on winter daily climate variables in Spain from 1951 to 2002. *Geophysical Research Abstracts* **8**: 01114. European Geosciences Union, Vienna.

- Rodrigo FS, Trigo RM. 2007. Trends in daily rainfall in the Iberian Peninsula from 1951 to 2002. *International Journal of Climatology* **27**: 513-529.
- Romero R, Guijarro JA, Ramis C, Alonso S. 1998. A 30-year (1964-1993) daily rainfall data base for the Spanish Mediterranean regions: first exploratory study. *International Journal of Climatology* **18**: 541-560.
- Romeu Codina E, López-Bustins JA. 2006. Aproximación a la posible existencia de la señal de los ciclos solares 18 y 19 en la pluviometría de la Península Ibérica. *Geographicalia* **49**: 19-36.
- Rossby CG. 1939. Relations between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and displacements of the semipermanent centers of action. *Journal of Marine Research* **2**: 38-55.
- Saladié O. 2003. *Variaciones y tendencia secular de la precipitación en el sector nororiental de la Península Ibérica (1850-2000)*. Tesi doctoral. Director: Diego López Bonillo (URV). Tutora: Montserrat Jardí i Porqueres (UB). Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional de la Universitat de Barcelona.
- Saladié O, Brunet M, Aguilar E, Sigró J, López D. 2002. Evolución de la precipitación en el Sector Suroriental de la Depresión del Ebro durante la segunda mitad del siglo XX. *III Congreso de la Asociación Española de Climatología* **3**: 335-346, Palma.
- Saladié O, Brunet M, Aguilar E, Sigró J, López D. 2006. Análisis de la tendencia de la precipitación de primavera en la cuenca del Pirineo Oriental durante el periodo 1896-2003. *V Congreso de la Asociación Española de Climatología* **5**: 475-485, Zaragoza.
- Salat J, Pascual J. 2006. Principales tendencias climatológicas en el Mediterráneo Noroccidental, a partir de más de 30 años de observaciones oceanográficas y meteorológicas en la costa catalana. *V Congreso de la Asociación Española de Climatología* **5**: 283-290, Zaragoza.
- Shindell DT, Miller RL, Schidt GA, Pandolfo L. 1999. Simulation of recent northern winter climate trends by greenhouse-gas forcing. *Nature* **399**: 452-455.
- Shindell DT, Schmidt GA, Miller RL, Rind D. 2001. Northern Hemisphere winter climate response to greenhouse gas, ozone, solar and volcanic forcing. *Journal of Geophysical Research* **106** (D7): 7193-7210.
- Stepanek, P. 2005. *AnClim – Software for Time Series Analysis*. Dept of Geography, Faculty of Natural Sciences, MU, Brno. 1.47 MB.
- Stephenson DB. 2003. Potential Predictability of the NAO: From Days to Decades. *Role of the Stratosphere in the Troposphere workshop*, Whistler Resort (Canada).
- Sumner G, Homar V, Ramis C. 2001. Precipitation seasonality in eastern and southern coastal Spain. *International Journal of Climatology* **21**: 219-247.
- 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.
- Thompson WJ, Wallace JM. 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters* **25**: 1297-1300.
- Thompson WJ, Wallace JM. 2000. Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part I: Month-to-Month Variability. *Journal of Climate* **13**: 1000-1016.
- Trenberth KE, Paolino DA. 1980. The Northern Hemisphere sea-level pressure data set: Trends, errors and discontinuities. *Monthly Weather Review* **108**: 855-872.
- Valero F, Luna MY, Martín ML, Morata A, González-Rouco F. 2004. Coupled modes of large-scale climatic variables and regional precipitation in the western Mediterranean in autumn. *Climate Dynamics* **22**: 307-323.
- Vázquez Abeledo M. 1998. *La Historia del Sol y el Cambio Climático*. McGraw-Hill, Madrid, 488 p.
- Wallace JM. 2000. *On the Arctic and Antarctic Oscillations*. Notes by Eric De Weaver and Michael Palmer http://www.tao.atmos.washington.edu/wallace/ncar_notes/
- Wallace JM, Smith C, Jiang Q. 1990. Spatial patterns of atmosphere-ocean interaction in the northern winter. *Journal of Climate* **3**: 990-998.
- Wu Q, Straus DM. 2004. AO, COWL, and observed climate trends. *Journal of Climate* **17**: 2139-2156.

Altres

- Dades meteorològiques i oceanogràfiques de l'Estartit (el Baix Empordà), cedides personalment pel Sr. Josep Pascual, qui ha portat a terme les observacions rigorosament durant més de 30 anys.
- Fundació CEAM (Centre d'Estudis Ambientals de la Mediterrània), Paterna, València. Dir. Millán Millán. <http://www.gva.es/ceam/>
- *NCEP/NCAR Reanalysis Project at the NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center*. <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml>
- *NOAA AOi Data* http://www.cpc.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao_index.html
- Projectes **REN** i **IPIBEX**: *Análisis de la irregularidad pluviométrica a diferentes escalas temporales en la Península Ibérica y Baleares y sus conexiones regionales*. Ministeri d'Educació i Ciència (REN2001-2865-C02-01/CLI, 2001-2004) i (CGL2005-07664-C02-01, 2006-2008). Investigador principal i coordinador (Universitat de Barcelona i Universitat de les Illes Balears): Javier Martín-Vide (UB).