



UNIVERSITAT DE BARCELONA

Departament de Geografia Física
i
Anàlisi Geogràfica Regional

***INCIDÈNCIA DE LES
GRANS ERUPCIONS VOLCÀNIQUES
EN EL CLIMA DE LA PENÍNSULA IBÈRICA
I BALEARS***

Memòria presentada per

Marc Jaume PROHOM DURAN

Per a optar al títol de doctor en Geografia

Desembre de 2003

CAPÍTOL 4 – EL FORÇAMENT VOLCÀNIC I LA PRECIPITACIÓ

4.1. PRECIPITACIÓ I VULCANISME, EXISTEIX UNA RELACIÓ?

Gran part dels estudis sobre la incidència climàtica de grans erupcions volcàniques s'han limitat a analitzar la resposta de la temperatura superficial global o hemisfèrica. Més recentment, l'atenció s'ha centrat en les conseqüències dinàmiques d'aquesta font de variabilitat natural, i per aquest motiu d'altres paràmetres han entrat en joc, com és el cas de la pressió atmosfèrica i la temperatura a diferents nivells de la troposfera. Malauradament, han estat molt escassos els estudis encaminats a detectar la possible resposta de la precipitació, probablement per la dificultat de trobar un lligam evident tenint en compte la inherent complexitat d'aquest tipus de registre i la necessitat de realitzar estudis a escala regional.

Entre les poques contribucions en aquesta temàtica cal destacar la realitzada per *Mukherjee et al.* [1987]. Els autors analitzaren la incidència d'erupcions equatorials sobre la precipitació d'Sri Lanka durant l'època del monsó del nord-est (novembre i desembre). Així detectaren dèficits de precipitació en catorze de quinze observatoris, en les dues estacions monsoniques posteriors a erupcions amb un VEI ≥ 4 entre 1869 i 1980. Aquesta reducció podria estar motivada pel desplaçament cap al sud de la Zona de Convergència Intertropical (ZCIT) com a conseqüència de la reducció de la radiació solar. També al sud-est asiàtic, *Wang et al.* [1997] identificaren una evident relació entre episodis de sequera a Taiwan i anys amb erupcions volcàniques. En la mateixa franja tropical però a Sud Amèrica, *Baldicero* [1994] llença una hipòtesi similar a la proposada per *Mukherjee et al.* [1987]; la presència d'aerosols volcànics sobre les latituds més baixes fa augmentar la freqüència de situacions de bloqueig sobre Sud Amèrica i fa intensificar la Zona de Convergència d'Amèrica del Sud (ZCAS), provocant sequeres a l'Amazònia i al NE del Brasil, i un excés de precipitació a les regions del sud i sud-est del país.

Fora de l'àmbit tropical, cal assenyalar la contribució de *Goldreich* [2002] per a l'estat d'Israel. En aquest estudi, l'autor utilitza la sèrie de Jerusalem i constata un augment de la precipitació hivernal, estadísticament significatiu, després de nou grans erupcions equatorials des de 1883. La situació sinòptica que genera aquest increment pluviomètric presenta altes pressions sobre l'oest de la Mediterrània i una freqüència més elevada d'adveccions del nord sobre l'est del continent.

En el tercer capítol s'ha pogut constatar la presència d'anomalies en la temperatura de la Península Ibèrica i les Balears dins del període post-volcànic. En aquest apartat s'analitzarà la possible incidència del forçament volcànic sobre la distribució de la precipitació en aquesta mateixa àrea, intentant determinar primer si efectivament existeix una resposta i, en cas afirmatiu, identificar el tipus de senyal, així com els períodes i els sectors peninsulars més sensibles.

4.2. RESPOSTA ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓ MITJANA MENSUAL PENINSULAR I BALEAR

4.2.1. Fonts de dades

La precipitació és molt probablement el paràmetre climàtic que presenta una major variabilitat geogràfica, doncs són molts els factors que l'influencien (relleu, latitud, exposició, distància al mar,...). Aquesta variabilitat es veu potenciada encara més en l'àmbit de la Península Ibèrica per la gran quantitat de microclimes existents, tot com a conseqüència del complex relleu, de la seva localització a cavall del domini dels vents de l'oest (al nord) i dels anticiclons sub-tropicals (al sud) i també per la presència d'un oceà a l'oest (l'Atlàntic) i un mar tancat a l'est (la Mediterrània). Per aquest motiu, en tot estudi sobre la variabilitat de la precipitació a la Península Ibèrica és necessari utilitzar fonts de dades amb una resolució espacial el més àmplia possible. La figura 4.1. mostra la complexa distribució anual dels totals pluviomètrics a l'àrea d'anàlisi.

En aquest estudi, s'ha escollit la base de dades generada per *New et al.* [2000] i que ja havia estat utilitzada en l'estudi sobre la resposta de la temperatura mitjana, i de les temperatures màximes i mínimes peninsulars (capítol tercer d'aquesta investigació). Cal recordar que la resolució espacial és de 0.5° de latitud per 0.5° de longitud, la base temporal és la mensual i el període cobert és 1901-1996. La finestra espacial comprèn un total de 324 punts de malla dins de la regió limitada per 35.75°N – 43.75°N / 9.75°W – 3.25°E.

Per tal de donar més solidesa als resultats i permetre la inclusió d'altres erupcions ja dins del segle XIX, també s'han utilitzat un conjunt de sèries històriques de precipitació mensual repartides per l'àrea d'estudi, amb una cobertura temporal més àmplia i de provada homogeneïtat [INM, 1996]. A la taula 4.1. es mostren les dinou sèries seleccionades amb dades de precipitació des de com a mínim 1878 i que han estat publicades per l'Institut Nacional de Meteorologia [INM, 1996].

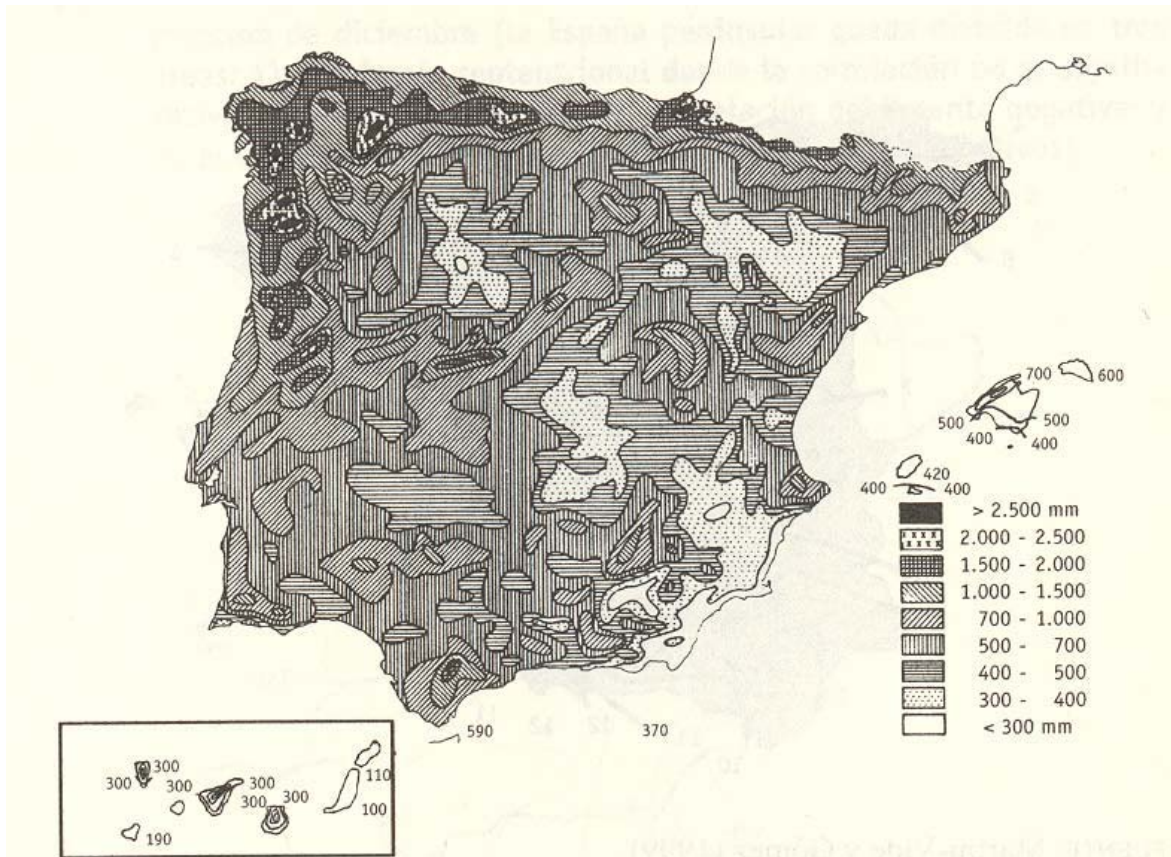


Figura 4.1. Mapa de la pluviometria mitjana anual a la Península Ibèrica i Balears (mm).

Font: *Martín-Vide & Oleina [2001]*

Observatoris ⁶ (1878-1994)	Buits (any, mes/mesos)
Alacant	---
Albacete	1880, 12 / 1902, 7-12 / 1903, 1-6 / 1915, 9-10 / 1920, 4-12 / 1921, tots / 1922, tots / 1923, 1-6 / 1936, 10-12 / 1937, tots / 1938, tots / 1939, 1-10 i 12
Badajoz	1894, 7-8 / 1897, 6-9 / 1898, tots
Barcelona	1980, tots / 1981, tots
Burgos	1880, 7 / 1946, 4 / 1978, 7
Cádiz-San Fernando	1986, 3 / 1989, 1--8 / 1990, 12 / 1991, 12 / 1992, 8
A Coruña	1900, 9 / 1903, 7
Donostia	1922, 7
Huesca	---
Madrid	1939, 3-4
Maó	1878, 8 / 1879, 6-8 / 1881, 7 / 1883, 8 / 1885, 5 / 1901, 5-12 / 1902, 6 / 1907, 2-3 / 1908, 8 / 1936, 11 / 1937, 11 / 1939, 2
Murcia	1885, 4 / 1936, 11-12 / 1942, 5 / 1988, 6-7
Palma de Mallorca	1937, 8
Salamanca	1878, 6-7 / 1879, 7 / 1880, 12 / 1900, 8-12 / 1902, 12 / 1903, 2-3, 9-12 / 1904, 7-8 / 1905, 11-12 / 1907, 2 / 1938, 7-10 / 1941, 11-12 / 1942, tots / 1943, tots / 1944, 2-9
Sevilla	1878, 6 / 1879, 7-8 / 1880, 7-8 / 1892, 4-6 / 1933, 1-9 / 1941, 3
Soria	1894, 2
Tortosa*	---
València	1903, 7-12 / 1920, 1
Zaragoza	1879, 6-11 / 1889, 2 / 1900, 2-5 i 7-12 / 1901, 6-7 i 9-12 / 1902, 5-8, 10 i 12 / 1903, 1-9 i 12 / 1904, 1 i 12 / 1905, 1

Taula 4.1. Observatoris meteorològics utilitzats en aquest estudi indicant els períodes amb buits. En negreta aquells períodes sense dades afectats per la incidència volcànica (cinc anys posteriors a la data de l'erupció).

* Tortosa inicia les observacions l'any 1880. Font: INM [1996].

⁶ Els topònims apareixen escrits en la llengua pròpia de l'àmbit lingüístic on es localitzen cadascun dels observatoris considerats.

4.2.2. Erupcions seleccionades

En funció de la base de dades seleccionada, el nombre d'erupcions volcàniques variarà. Així, per al primer anàlisi s'han escollit les mateixes erupcions aparegudes a la taula 3.4. Per al segon anàlisi i tenint en compte la cobertura temporal més àmplia s'han inclòs les erupcions dels volcans Krakatau (1883) i Santa María (Guatemala). Aquesta inclusió de més casos no ha estat possible per a les erupcions de latituds elevades o extra-tropicals de l'HN, doncs l'erupció del Askja (Islàndia) és anterior a 1878.

4.2.3. Metodologia

Novament, s'ha fet ús de l'Anàlisi d'Èpoques Superposades (AES) com a l'eina més adequada per a la detecció del senyal volcànic. Prèviament però, els registres mensuals d'una i altra base de dades s'han transformat a anomalies estandarditzades de precipitació (z) respecte al període de referència 1961-1990, tal i com es recomana en d'altres estudis [Bradley, 1988]. Com a dates claus s'han seleccionat els mesos de gener dels anys de les erupcions, per a tenir una visió més acurada de la resposta estacional. Igualment, s'han agrupat per separat les erupcions tropicals i les de latituds elevades de l'HN per tal de detectar conductes pròpies.

Per a determinar el nivell de significació estadística s'utilitza de nou una simulació Monte Carlo que és en aquest cas de doble cua, i que fixa els nivells del 5% i del 95%.

4.2.4. Erupcions tropicals i precipitació mitjana. Resultats.

Com en el capítol tercer, s'ha considerat oportú iniciar la investigació a la tardor de l'any de les erupcions, donat que és la primera estació de l'any que és afectada per pràcticament totes les erupcions (la més tardana és la del volcà Fuego, a l'octubre).

La figura 4.2. mostra les anomalies de precipitació corresponents als mesos de tardor de l'any de l'erupció (part superior) i als del primer hivern (part inferior)⁷. En el primer cas, es fa difícil detectar un patró espacial definit. Malgrat tot, sembla que a la franja mediterrània i Balears hi són escasses les anomalies positives d'entitat i tendeixen a ser freqüents els dèficits pluviomètrics, especialment al novembre i al

⁷ Com en el cas de les temperatures, el valor 0 es refereix a l'any de l'erupció, +1 a l'any posterior i així successivament.

sector al voltant del cap de la Nao. El senyal és molt menys identificable a l'oest peninsular, doncs es combinen un mes amb evidents i significatives anomalies negatives (octubre, 0) amb un altre de totals pluviomètrics clarament per damunt dels valors mitjans (novembre, 0 i especialment al nord-oest peninsular). És apreciable l'estructura clarament dipolar de les isolínies en aquest darrer mes, amb un centre positiu al nord-oest i un altre de negatiu i menys extens al sud-est de la Península Ibèrica. En ambdós casos es supera el llindar de significació fixat pel test de Monte Carlo. Aquesta disposició s'ajusta al patró pluviomètric més freqüent per a l'època hivernal, enregistrant-se un màxim al nord-oest peninsular i un mínim a la costa mediterrània [Zorita *et al.*, 1992; von Storch *et al.*, 1993; Rodríguez-Puebla *et al.*, 1999, 2001; Nieto & Rodríguez-Puebla, 2002].

El primer hivern post-volcànic sí que presenta un patró espacial més coherent (figura 4.2., quadres inferiors). En primer lloc és apreciable la presència d'anomalies negatives sobre tota la regió en els mesos de desembre (0) i gener (+1), essent aquest darrer el que registra els valors més extrems, amb pràcticament la totalitat de la malla superant el llindar de significació del 5% establert per Monte Carlo. De fet, es tracta del mes amb anomalies més intenses i extenses de tot el període post-volcànic [Prohom & Bradley, 2002]. Com s'indicava, en aquesta estació és possible detectar un mateix patró espacial: anomalies negatives extremes en el sector nord-oest peninsular i anomalies negatives menys accentuades al llarg del litoral mediterrani. Precisament és en aquest darrer sector on s'enregistren anomalies positives de certa entitat en el mes de febrer (+1), centrades a l'extrem sud-est.

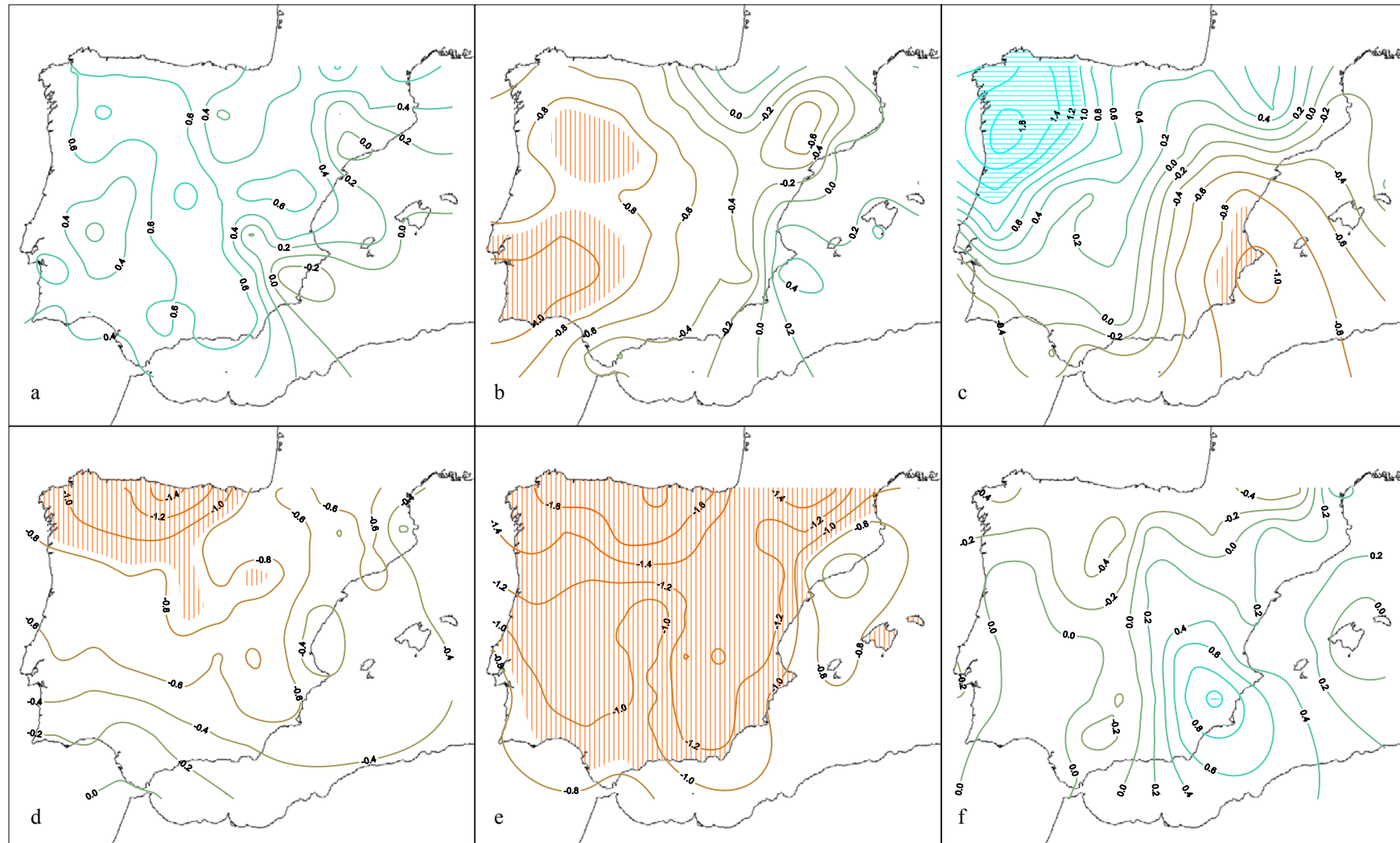


Figura 4.2. Distribució espacial de les anomalies estandarditzades de precipitació després de l'aplicació del mètode AES per al conjunt de les cinc erupcions tropicals considerades, prenent el mes de gener de l'erupció com a la data clau. Set. 0 (a), Oct. 0 (b), Nov. 0 (c), Des. 0 (d), Gen. +1 (e) i Feb. +1 (f). Els ratllats indiquen els sectors que superen el llindar del nivell de significació del 5% (ratllat horitzontal) i del 95% (ratllat vertical), després d'aplicar la tècnica Monte Carlo.

La figura 4.3. mostra les anomalies de precipitació després de l'aplicació del mètode AES pels mesos de primavera (part superior) i estiu (part inferior) dins del primer any post-volcànic. En general, la Península Ibèrica es veu afectada per dèficits de precipitació durant l'estació primaveral, superant-se el llindar de significació a l'abril (+1) a l'arxipèlag balear. Tot i la dificultat d'apreciar un patró espacial definit, sembla que el centre peninsular és el sector més afectat per aquest descens en els totals de precipitació. Cal assenyalar la distribució de les isolínies en el mes de maig (+1), doncs sembla mostrar un patró molt proper a l'hivernal. Així, si bé bona part de la Península mostra anomalies negatives, és de nou el nord-oest l'àmbit amb les màximes desviacions, fins i tot per sota del llindar de significació. L'única excepció en aquest domini dels dèficits pluviomètrics es troba en un petit sector a cavall entre Catalunya i la part més oriental d'Aragó, on les anomalies positives hi són tímidament presents.

A diferència de les dues estacions precedents, el primer estiu post-eruptiu tendeix, en general, a ser més plujós que els valors mitjans (figura 4.3., quadres inferiors). En el mes de juny (+1), tot i l'estructura una mica caòtica del mapa d'isolínies és possible detectar tres nuclis amb acumulacions de precipitació realment significatives (superant-se el llindar del 95%): l'àrea de l'estret de Gibraltar, l'àrea propera al Golf de València i el Cantàbric oriental. L'únic sector amb lleugers dèficits de precipitació es localitza a l'oest peninsular. La naturalesa bàsicament convectiva de la precipitació en aquesta època de l'any, la seva mancança en algunes regions i la pròpia formulació del mètode AES, podrien explicar l'accentuada variabilitat en la distribució espacial d'aquest paràmetre, així com la dispar morfologia de les isolínies. El mes d'agost (+1) també participa dels excessos pluviomètrics, mostrant en aquest cas un ampli sector al nord-oest i un de més reduït al nord-est i a les Balears amb evidents anomalies positives. Contràriament, el mes estival intermedi, juliol (+1) es caracteritza per la presència d'anomalies negatives però de no tanta magnitud, possiblement per tractar-se ja de per si del mes de l'any més sec a bona part de l'àrea d'estudi. Aquest fet no té una gran significació o repercussió doncs a bona part de la meitat sud peninsular la precipitació mitjana de juliol queda per sota de 10 mm o poc menys. L'únic sector que no compleix aquest règim pluviomètric és, novament, el nord-oest, que és precisament l'àmbit afectat pels dèficits més intensos.

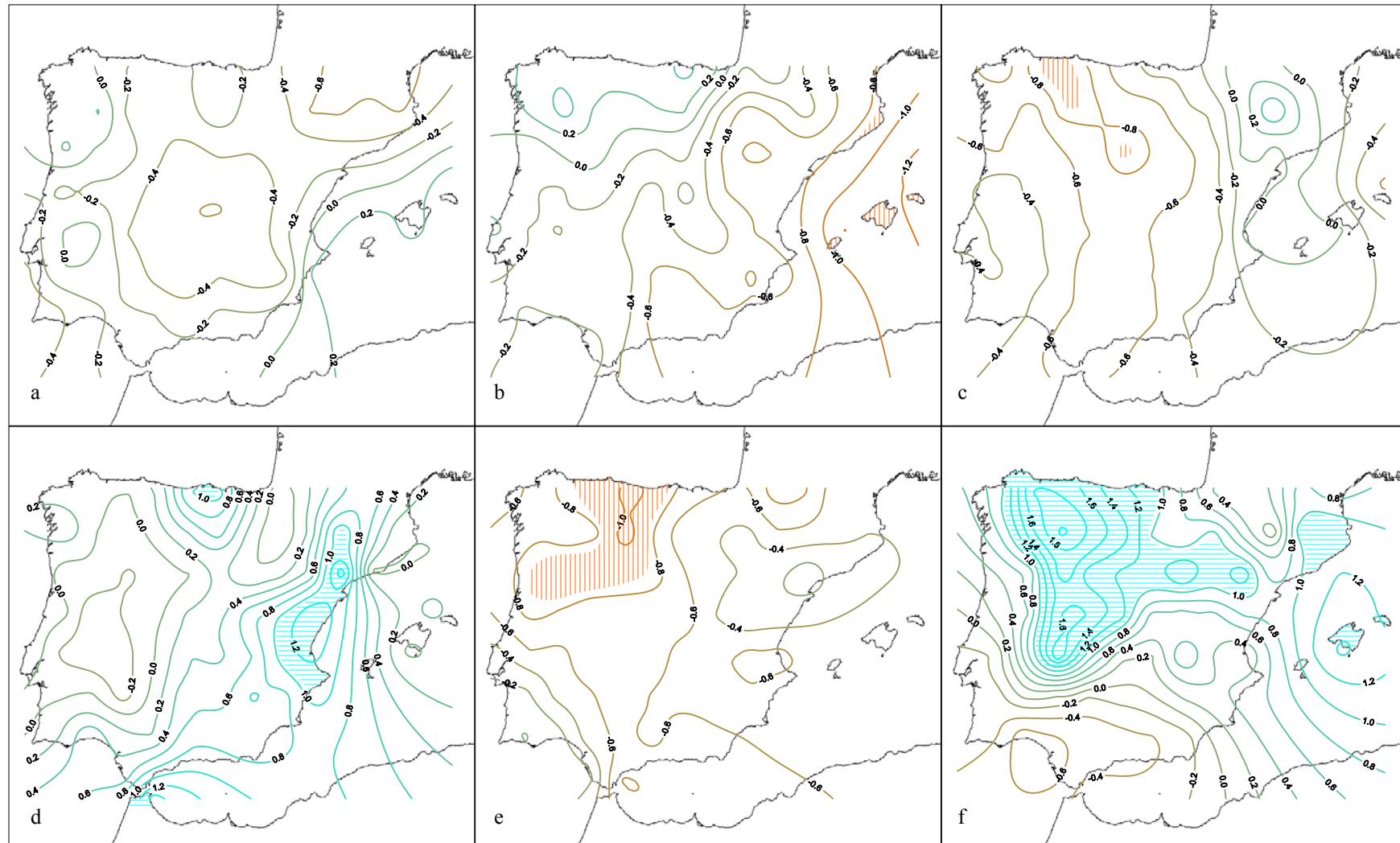


Figura 4.3. Com en la figura 4.2. però per als mesos de Mar. +1 (a), Abr. +1 (b), Mai. +1 (c), Jun. +1 (d), Jul. +1 (e) i Ago. +1 (f). Els ratllats indiquen els sectors que superen el llindar del nivell de significació del 5% (ratllat horitzontal) i del 95% (ratllat vertical), després d'aplicar la tècnica Monte Carlo.

Tal i com succeïa en els mesos de la tardor precedent, la primera tardor post-volcànica tendeix a mostrar valors de les z negatives a bona part de la Península Ibèrica, essent el sector més afectat el sud i la franja mediterrània (figura 4.4., quadres superiors). Novament és el mes d'octubre (+1) el que mostra les anomalies negatives de més magnitud, essent no tant intenses en la resta de mesos de tardor. L'extrem sud-est tendeix a concentrar els majors dèficits pluviomètrics i tenint en compte que la tardor, juntament amb l'hivern, és l'estació més plujosa en aquest sector, es pot concloure que les condicions de sequera es veuen clarament accentuades en les dues primeres tardors post-volcàniques.

En el segon hivern, i a grans trets, tendeix a repetir-se el mateix patró assenyalat per al primer hivern post-eruptiu (figura 4.4., quadres inferiors). Així, el mes de gener (+2) segueix essent el més sensible globalment, enregistrant-se anomalies negatives en tota la regió d'estudi. Igualment, l'extrem nord-oest presenta les majors desviacions negatives en els tres mesos (superant-se en alguns d'ells el llindar de significació) i, de nou, les anomalies positives són perceptibles a bona part de la façana mediterrània peninsular i arxipèlag balear. Amb tot, és possible apreciar que les anomalies negatives no són en general tan extremes com les enregistrades en el primer hivern post-eruptiu, mentre que les positives tendeixen a ser més freqüents i extenses. És destacat l'evident i pronunciat dipol pluviomètric al mes de febrer (+2) entre els extrems nord-oest i el llevant peninsular.

A partir de la segona primavera post-volcànica, les anomalies negatives de certa entitat i extensió pràcticament desapareixen. Posant l'atenció exclusiva en els mesos primaverals, es podria indicar que els dèficits pluviomètrics són francament escassos i distribuïts de manera força anàrquica (figura 4.5. quadres superiors). Fins i tot, en el mes d'abril (+2), s'enregistra un petit nucli d'anomalies positives al sector més meridional de la Península molt proper al llindar del 95%. El segon estiu post-eruptiu té certs punts de similitud amb l'estiu precedent (figura 4.5., quadres inferiors). Així, en els mesos de juny (+2) i agost (+2) apareixen diferents nuclis al llarg de l'àrea d'estudi superant el llindar de significació, mentre que en el mes de juliol (+2) les mancances de precipitació hi són més freqüents, a excepció del sud-est. De nou, com en el mes de juliol precedent, l'extrem nord-oest és el sector que enregistra les màximes desviacions negatives, superant-se el llindar de significació.

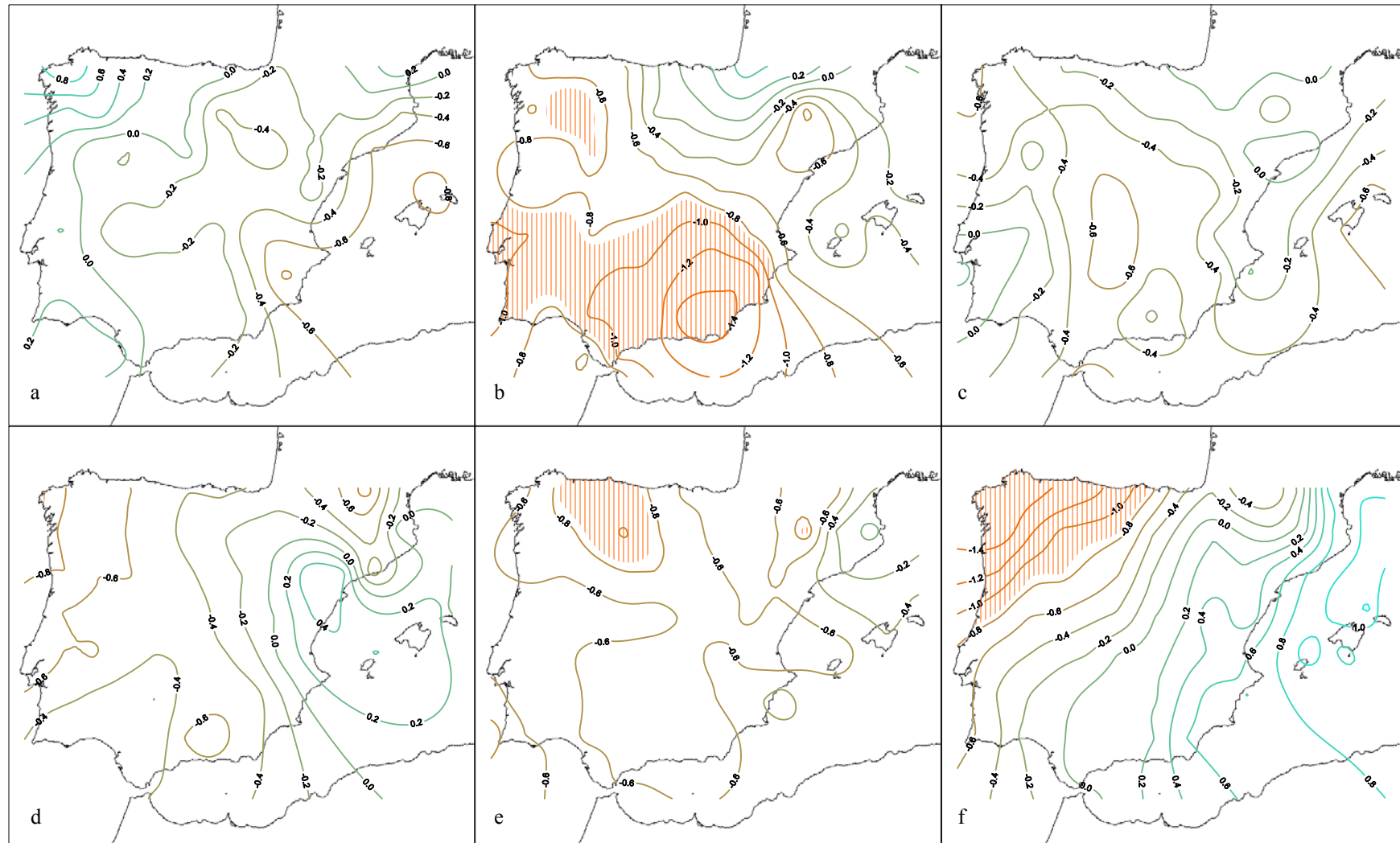


Figura 4.4. Com en la figura 4.2. però per als mesos de Set. +1 (a), Oct. +1 (b), Nov. +1 (c), Des. +1 (d), Gen. +2 (e) i Feb. +2 (f). Els ratllats indiquen els sectors que superen el llindar del nivell de significació del 5% (ratllat horitzontal) i del 95% (ratllat vertical), després d'aplicar la tècnica Monte Carlo.

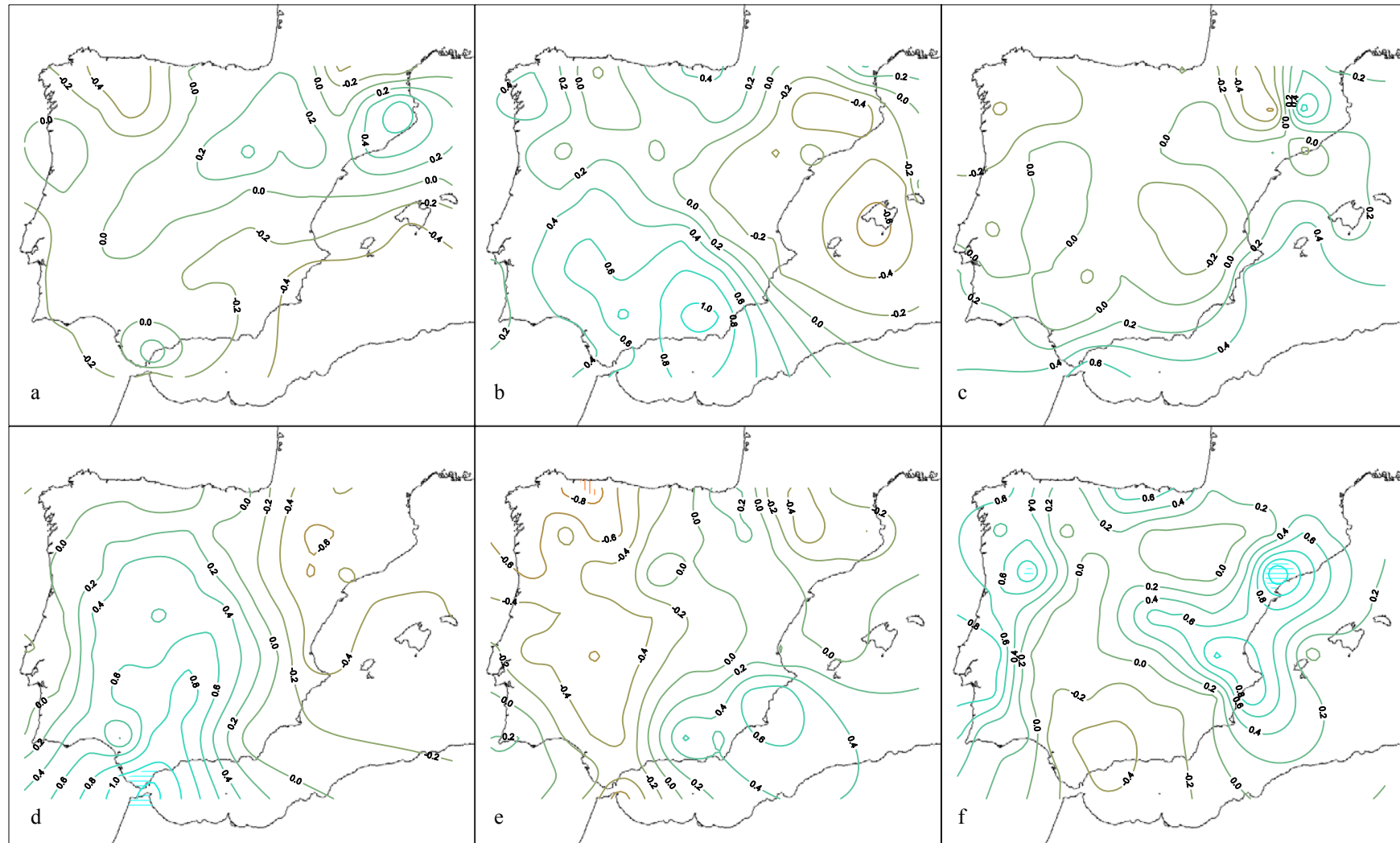


Figura 4.5. Com en la figura 4.2. però per als mesos de Mar. +2 (a), Abr. +2 (b), Mai. +2 (c), Jun. +2 (d), Jul. +2 (e) i Ago. +2 (f). Els ratllats indiquen els sectors que superen el llindar del nivell de significació del 5% (ratllat horitzontal) i del 95% (ratllat vertical), després d'aplicar la tècnica Monte Carlo.

La segona tardor post-eruptiva tendeix a mostrar totals pluviomètrics per damunt de la mitjana a bona part de l'oest de la Península, essent més contundents i significatius a l'extrem nord-oest (figura 4.6., quadres superiors). Per contra, i com succeïa en les dues estacions de tardor precedents, la façana mediterrània i les illes Balears concentren les úniques anomalies negatives de tota l'àrea d'estudi. Tenint en compte el que succeeix en les estacions de tardor anteriors, es podria concloure que després de grans erupcions volcàniques tropicals, l'extrem oriental peninsular i les Balears tendeixen a enregistrar dèficits pluviomètrics de certa consideració, aspecte que pren especial importància pel fet que és precisament aquesta estació de l'any la més plujosa en aquest àmbit.

La mateixa figura 4.6. però en els quadres inferiors, recull els mapes d'isolínies de les z de precipitació per al tercer hivern post-eruptiu. Si bé desembre (+2) continua mostrant anomalies negatives a bona part de la Península i Balears, els mesos de gener (+3) i febrer (+3) semblen mostrar un cert retorn al patró pluviomètric més freqüent per a l'època hivernal i que ja s'havia mostrat en el mes de novembre (0) (veure figura 4.1-c), és a dir, un màxim al nord-oest peninsular i un mínim a la costa mediterrània [Zorita *et al.*, 1992]. Però tal i com s'apreciava en els dos hiverns anteriors, tendeix a repetir-se una mateixa pauta espacial, tot i que amb el signe de les anomalies invertit: anomalies positives a l'extrem nord-oest, i negatives en el sector sud-est i proper al Golf de València. En el primer cas, les anomalies positives fins i tot sobrepassen el llindar del 95% fixat per Monte Carlo.

Com passava amb la temperatura mitjana peninsular, en el tercer any es fa difícil detectar el senyal volcànic, si és que aquest existeix (figures 4.7. i 4.8.), doncs és francament problemàtic identificar un patró espacial definit, tal i com s'apreciava amb més facilitat en els dos anys anteriors. Malgrat tot, hi ha un cert domini d'anomalies negatives repartides per diferents mesos i sectors. Aquest és el cas dels mesos de març (+3) i juliol (+3) (figura 4.6.), i setembre (+3), desembre (+3) i gener (+4) (figura 4.8.). Per contra, les acumulacions positives són menys freqüents i només apreciables a l'agost, un mes que ja s'havia comportat així en els anys anteriors (figura 4.7-f, quadres inferiors).

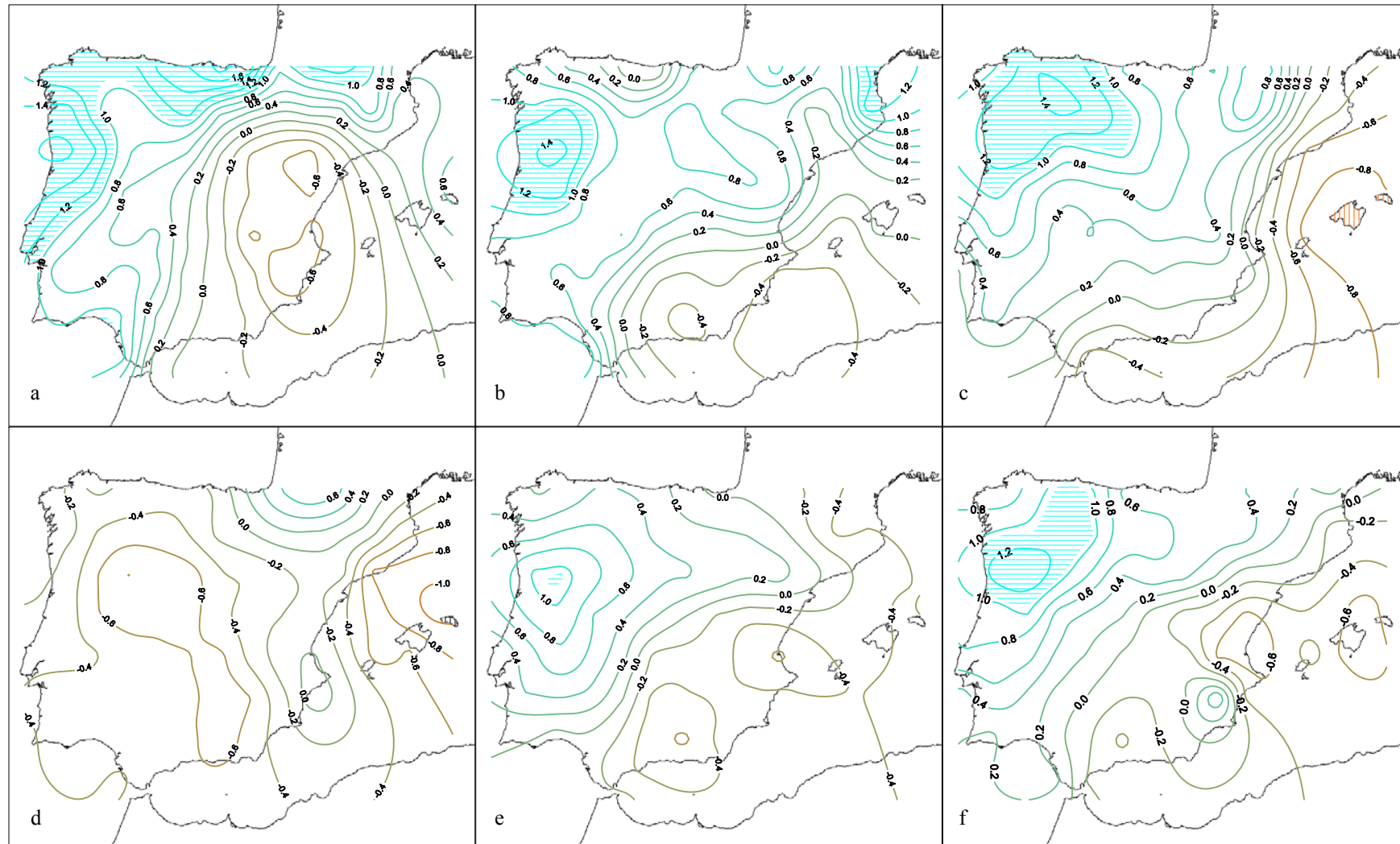


Figura 4.6. Com en la figura 4.2. però per als mesos de Set. +2 (a), Oct. +2 (b), Nov. +2 (c), Des. +2 (d), Gen. +3 (e) i Feb. +3 (f). Els ratllats indiquen els sectors que superen el llindar del nivell de significació del 5% (ratllat horitzontal) i del 95% (ratllat vertical), després d'aplicar la tècnica Monte Carlo.

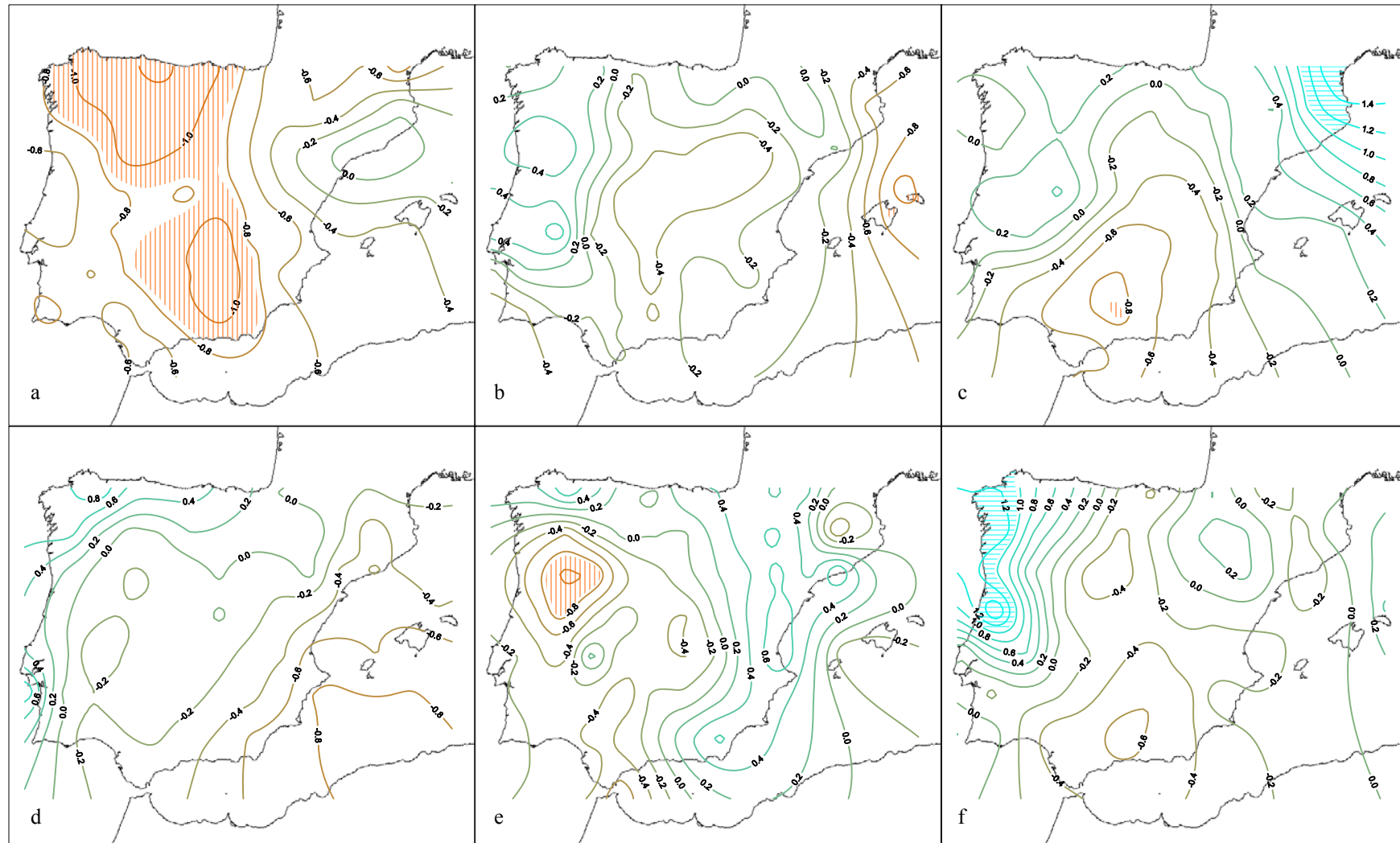


Figura 4.7. Com en la figura 4.2. però per als mesos de Mar. +3 (a), Abr. +3 (b), Mai. +3 (c), Jun. +3 (d), Jul. +3 (e) i Ago. +3 (f). Els ratllats indiquen els sectors que superen el líndar del nivell de significació del 5% (ratllat horitzontal) i del 95% (ratllat vertical), després d'aplicar la tècnica Monte Carlo.

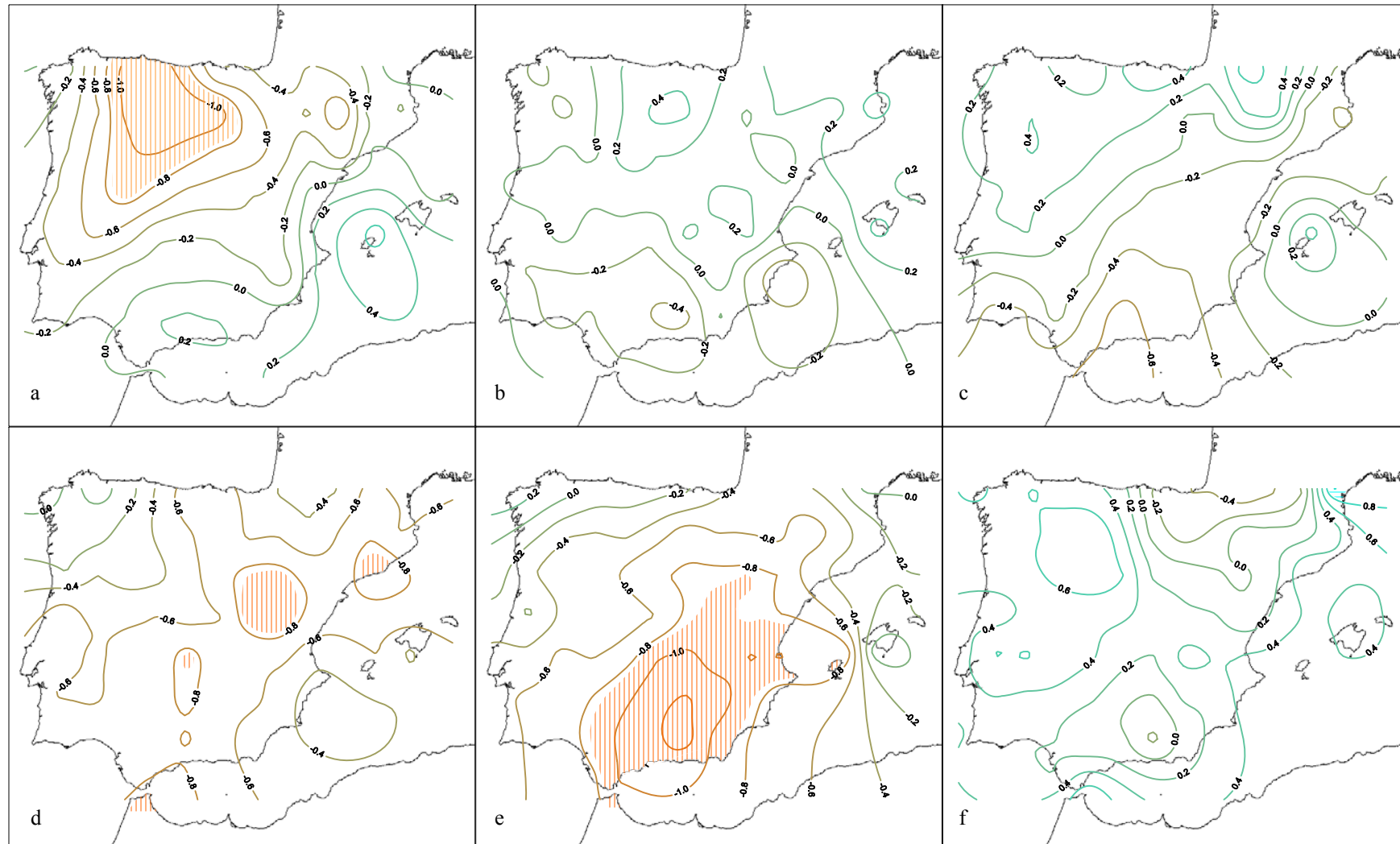


Figura 4.8. Com en la figura 4.2. però per als mesos de Set. +3 (a), Oct. +3 (b), Nov. +3 (c), Des. +3 (d), Gen. +4 (e) i Feb. +4 (f). Els ratllats indiquen els sectors que superen el llindar del nivell de significació del 5% (ratllat horitzontal) i del 95% (ratllat vertical), després d'aplicar la tècnica Monte Carlo.

Continuant amb l'anàlisi de la incidència del forçament volcànic sobre la distribució de la precipitació, seguidament s'adjunten cinc figures on apareix la resposta estacional d'aquest paràmetre en cinc diferents localitzacions dins de l'àrea d'estudi i corresponents als mateixos punts ja analitzats en el capítol tercer. En aquell cas, només s'inclouïa un punt del sud peninsular donat que la temperatura permet una més àmplia regionalització de la resposta. En aquest cas però, i en tractar-se de precipitació, s'ha considerat oportú afegir la resposta en dos punts, al sud-oest i al sud-est. Així doncs, les figures 4.9. i 4.10. mostren les anomalies estandarditzades de precipitació en dos punts localitzats a la meitat meridional de la Península, un cop aplicat el mètode AES i considerant les cinc erupcions tropicals que s'indicaven a la taula 4.2. És apreciable el fet que en els quatre anys posteriors a una gran erupció volcànica tropical, tendeixen a perpetuar-se els dèficits pluviomètrics, especialment visibles al sud-est (figura 4.9.). És en aquest àmbit on les anomalies negatives, tot i no assolir magnituds considerables, destaquen per la seva persistència. De fet, només durant la segona primavera s'assoleixen anomalies de precipitació apreciables, mentre que l'estació més afectada pels dèficits de precipitació sembla ser la tardor del primer any posterior a les erupcions. Al sud-oest (figura 4.10.), si bé els dèficits pluviomètrics hi són dominants, durant el segon any sembla apreciar-se un període amb anomalies positives evidents, sobretot, en la segona tardor post-volcànica. El fet que en els anys previs a la data clau (anys -2 i -1) es succeeixin indistintament estacions amb anomalies positives i negatives (no mostrat) en ambdós àmbits, podria suggerir que el forçament volcànic d'origen tropical podria ser un detonant de sequera al sud peninsular i, més concretament, al sud-est donada la durada en els dèficits de precipitació.

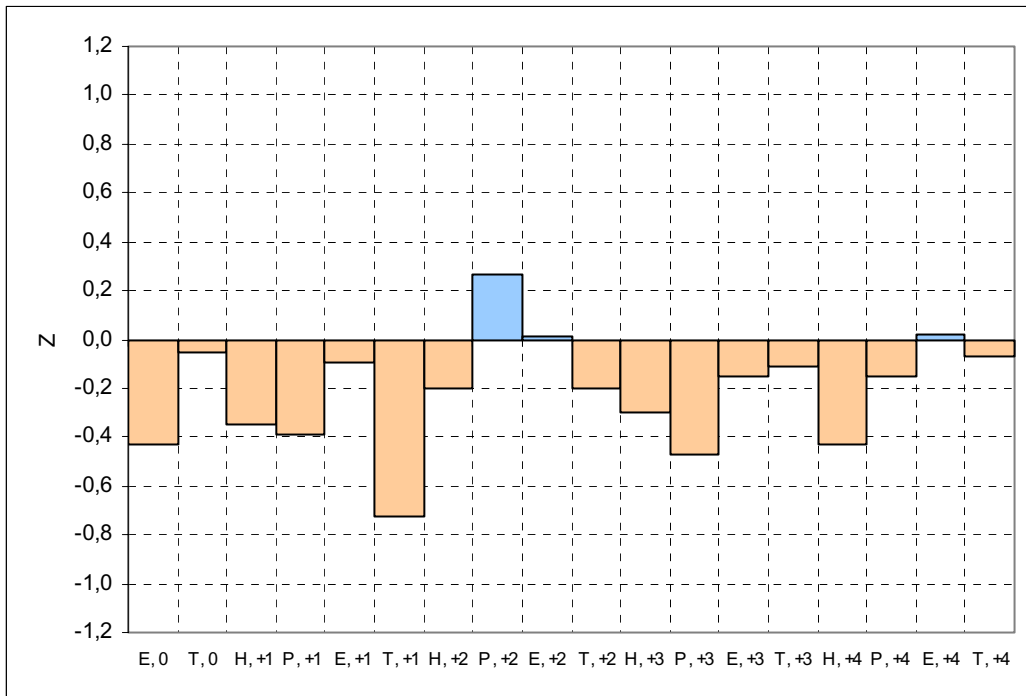


Figura 4.9. Resultat de l'aplicació del mètode AES a la precipitació estacional corresponent a un punt localitzat al sud-est de la Península Ibèrica (37.25 / -2.25). Les erupcions són un conjunt de cinc erupcions tropicals i les dates claus són els geners dels anys de les erupcions. E=Estiu (JJA), T=Tardor (SON), H=Hivern (DJF) i P=Primavera (MAM).

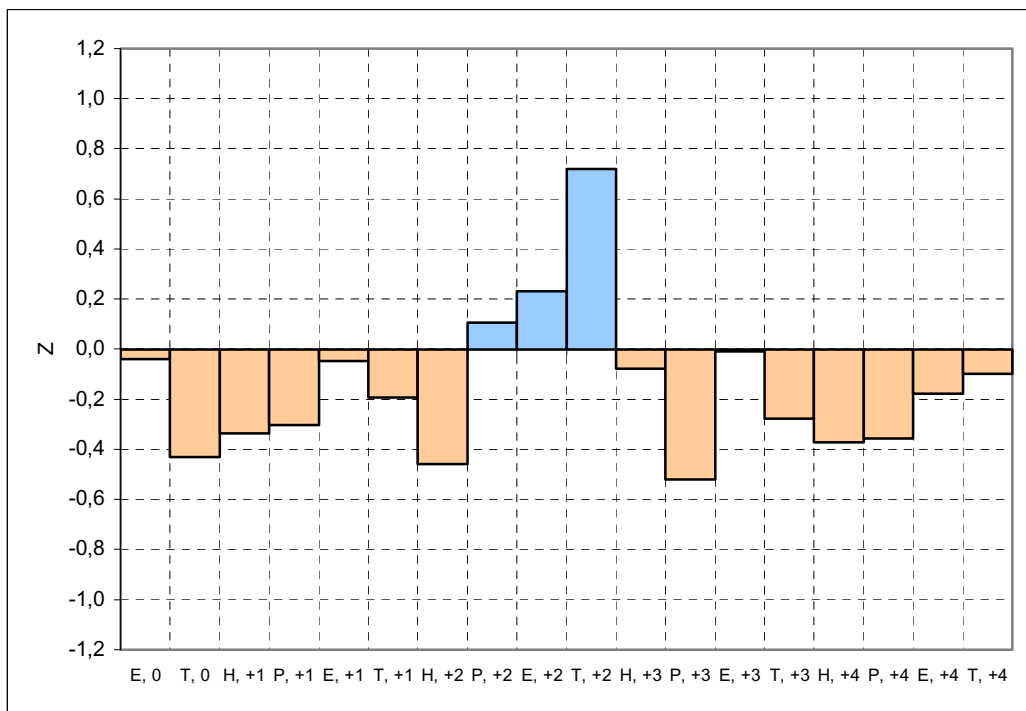


Figura 4.10. Com en la figura 4.9. però per a un punt localitzat al sud-oest de la Península Ibèrica (37.25 / -8.25).

Tal i com succeïa amb les temperatures, a mida que ens desplaçem cap al nord, el senyal del vulcanisme tendeix a diluir-se. Si amb les temperatures el refredament s’anava amortint progressivament, amb la precipitació la continuïtat de les anomalies negatives es veu trencada. Així, al centre de la Península (figura 4.11.), en el segon any post-eruptiu ja apareixen anomalies positives de més consideració, en especial la segona tardor i que ja s’havien insinuat a l’extrem sud-oest. Amb tot, s’identifiquen dos períodes més ben acotats i amb un cert manteniment de mancances pluviomètriques: l’un en les estacions més properes a la data clau i l’altre ja en el tercer i quart anys. Igualment, apareix el primer hivern post-volcànic com a l’estació amb majors desviacions negatives respecte que, com es veurà, s’anirà repetint i accentuant en el sector septentrional peninsular.

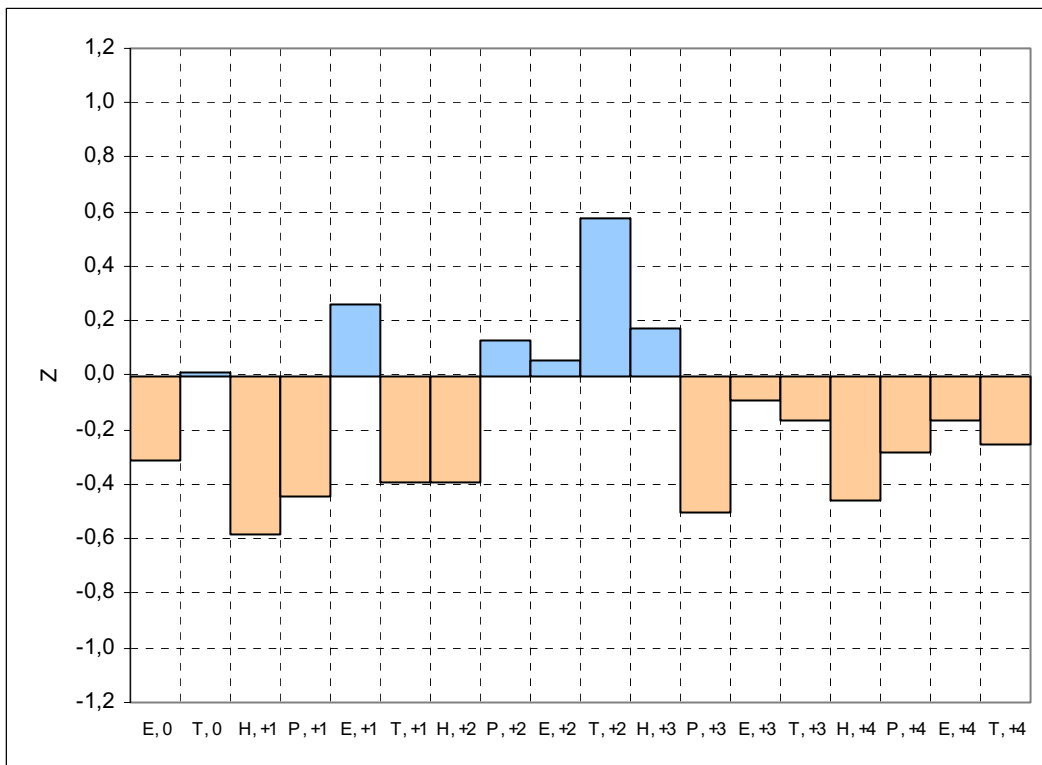


Figura 4.11. Com en la figura 4.9. però per a un punt localitzat al centre de la Península Ibèrica (41.25 / -3.25).

La figura 4.12. mostra els resultats de l’aplicació del mateix anàlisi per a un punt localitzat a l’extrem nord-oest peninsular. L’aspecte més remarcable és, sense dubte, les evidents insuficiències pluviomètriques que s’aprecien en els dos primers hiverns post-volcànics i que ja s’insinuaven en la figura anterior. L’amplitud de les anomalies és, en aquest cas, més destacada, doncs a part de les referides anomalies negatives

hivernals, també apareixen anomalies positives apreciables, per exemple, en la segona tardor. Per tant, aparentment semblaria com si el forçament volcànic afavorís un cert augment de la variabilitat en els valors pluviomètrics, tenint en compte el règim oceànic de la precipitació d'aquest sector.

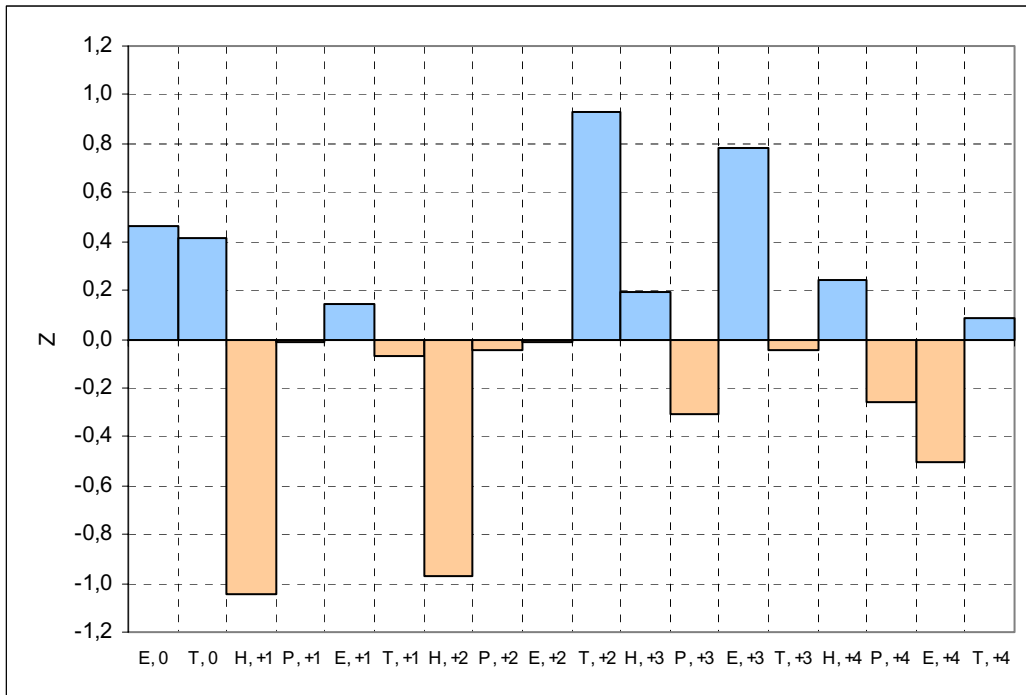


Figura 4.12. Com en la figura 4.9. però per a un punt localitzat al nord-oest de la Península Ibèrica (43.25 / -8.25).

Finalment, al sector nord-est peninsular es repeteixen a grans trets les característiques indicades per a l'extrem nord-oest (figura 4.13.). Així, tornen a ser els dos primers hiverns post-volcànics els que mostren les desviacions negatives més evidents. En canvi, les estacions de tardor tendeixen a presentar lleugeres anomalies positives, més apreciables en la tardor del segon any post-eruptiu. Aquest fet aparentment contradiria els resultats prèviament assenyalats, però cal recordar que els sectors de la franja mediterrània amb les anomalies negatives més apreciables es localitzaven sobretot en el sector central i al sud-est. En general, els estius participen també d'anomalies positives, tant en aquest sector com en el seu oposat longitudinalment, és a dir, al nord-oest (figures 4.11. i 4.12.).

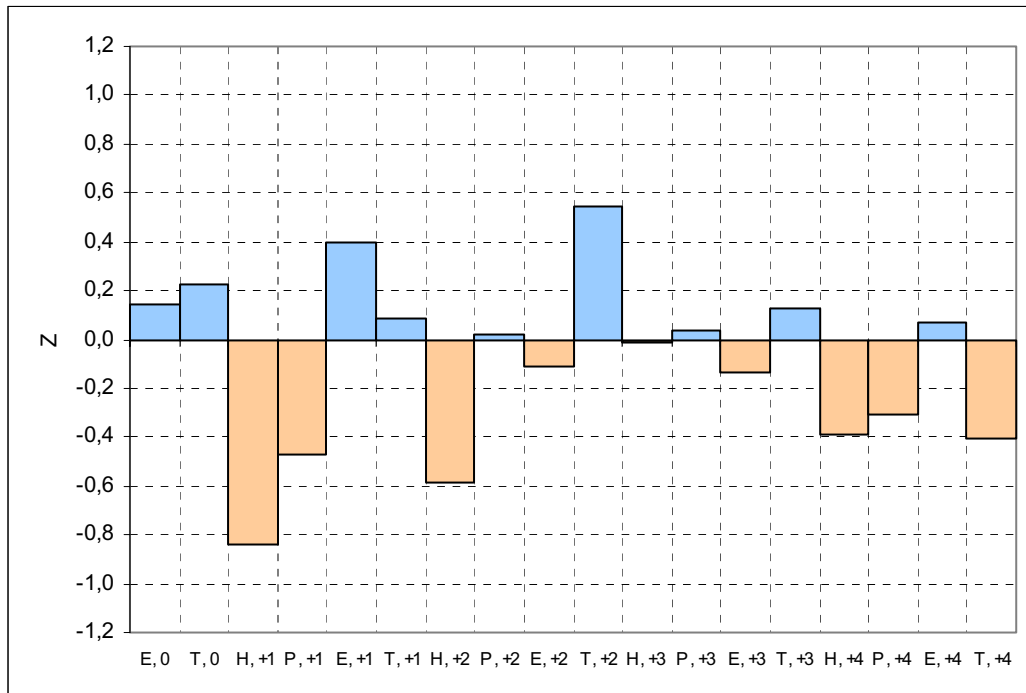


Figura 4.13. Com en la figura 4.9. però per a un punt localitzat al nord-est de la Península Ibèrica (43.25 / 1.75).

Per a finalitzar amb l’anàlisi de la resposta pluviomètrica de la Península Ibèrica al forçament volcànic d’origen tropical i donar major solidesa als resultats ja obtinguts, s’ha considerat oportú utilitzar una altra base de dades amb una major cobertura temporal (veure secció 4.2.). Com s’indicava en la referida secció, aquesta base de dades permet la inclusió de dues erupcions més, la del volcà Krakatau (1883) i la del Santa Maria (1902), aquesta darrera exclosa pels requeriments de la metodologia utilitzada. Al mateix temps, és possible esbrinar la resposta pluviomètrica en cadascuna de les erupcions tropicals considerades, aspecte que no resol del tot la metodologia AES aplicada a conjunts d’erupcions.

En aquest cas l’estudi ha consistit, exclusivament, en analitzar el senyal i magnitud de les anomalies estandarditzades de precipitació estacional per a dinou observatoris repartits per la Península Ibèrica i les Illes Balears, és a dir, sense l’aplicació prèvia del mètode AES. Les z s’han classificat en funció de la seva magnitud en cinc categories:

	< -0.5	anomalia negativa important
	-0.5 a -0.1	anomalia negativa moderada
	-0.1 a 0.1	sense anomalia evident
	0.1 a 0.5	anomalia positiva moderada
	> 0.5	anomalia positiva important

A partir dels resultats que s'han pogut extreure de les seccions prèvies, s'ha considerat oportú centrar l'anàlisi en les dues estacions que semblen mostrar una més gran sensibilitat al forçament volcànic: l'hivern i la tardor. Addicionalment són, en general, les que aporten una més gran quantitat de precipitació als totals anuals.

Les taules 4.2., 4.3. i 4.4. mostren el senyal de les anomalies estandarditzades de la precipitació per al primer, segon i tercer hiverns, respectivament. Les columnes indiquen les erupcions tropicals ordenades cronològicament i les files els observatoris agrupats en vuit regions climàtiques: 1. Atlàntic / 2. Meseta Nord / 3. Meseta Sud / 4. Sud-oest / 5. Vall de l'Ebre / 6. Est / 7. Balears / 8. Sud-est.

La inclusió de dues erupcions localitzades a finals del segle XIX i inicis del XX sembla corroborar els resultats obtinguts anteriorment. Així, el primer hivern post-volcànic es caracteritza per un domini de les anomalies negatives a gran part dels observatoris (taula 4.2.), però fent un anàlisi més detallat és possible detectar certs comportaments d'interès. De l'anàlisi de la resposta per observatoris o regions es pot comprovar com l'observatori d'A Coruña és l'únic que presenta dèficits pluviomètrics en la totalitat dels primers hiverns, i en gairebé tots ells, aquests són destacats. Igualment, l'altre observatori atlàntic, Donostia, i els observatoris de la Meseta Nord presenten mancances en sis dels set casos de vulcanisme explosiu tropical analitzats. Fora d'aquests dos àmbits geogràfics, comencen a aparèixer anomalies positives, essent els observatoris mediterranis els quals tendeixen a concentrar un major nombre d'anomalies positives, o simplement sense un senyal definit. Aquests són els casos de Murcia, Alacant, València o Barcelona. De l'anàlisi per erupcions s'aprecia clarament com una de les erupcions, la del volcà indonesi Agung, no es comporta igual que la resta. Es tracta de l'única erupció tropical que presenta anomalies positives en bona part dels observatoris tractats. Com s'havia comentat anteriorment hi ha certs aspectes en la naturalesa d'aquesta erupció que la fan especialment particular. Així, els aerosols emesos es varen dispersar majoritàriament (al menys dues terceres parts) a l'HS [Volz, 1970; Rampino & Self, 1982; Stothers, 2001] i podria ser un possible motiu que expliqués el seu comportament diferenciat de la resta. El primer hivern posterior a les erupcions dels volcans Fuego i El Chichón és clarament més sec a bona part dels observatoris, mentre que per les erupcions del Santa María i del Pinatubo, únicament els observatoris mediterranis es desmarquen dels dèficits pluviomètrics generals.

		Kra.	S. Mar.	Pal.	Agu.	Fue.	Chi.	Pin.
1	A Coruña Donostia							
2	Burgos Salamanca Soria							
3	Albacete Madrid		?					
4	Badajoz Cádiz-SF Sevilla							
5	Huesca Zaragoza		?					
6	Alacant Barcelona Tortosa València							
7	Maó P. Mallorca							
8	Murcia							

Taula 4.2. Senyal de les anomalies estandarditzades de precipitació corresponents al primer hivern (DGF) posterior a les set erupcions tropicals indicades i per a dinou observatoris repartits pel conjunt de l'Espanya peninsular i Balears.

?, sense dades

		Kra.	S. Mar.	Pal.	Agu.	Fue.	Chi.	Pin.
1	A Coruña Donostia							
2	Burgos Salamanca Soria							
3	Albacete Madrid							
4	Badajoz Cádiz-SF Sevilla							
5	Huesca Zaragoza		?					
6	Alacant Barcelona Tortosa València							
7	P. Mallorca Maó							
8	Murcia							

Taula 4.3. Com en la taula 4.2. però per al segon hivern (DGF) posterior a les set erupcions tropicals indicades.

?, sense dades

En el segon hivern (taula 4.3.) les anomalies negatives de precipitació es dilueixen a pràcticament tots els observatoris. Malgrat tot, són novament els observatoris del vessant mediterrani els més propicis per a concentrar les anomalies positives de més entitat, essent els casos més extrems els de València i Palma de Mallorca. A la resta d'observatoris no hi ha un senyal clar, doncs si bé en les dues erupcions més antigues

semblen perdurar les anomalies positives, en les dues més recents les negatives hi són pràcticament generals. A grans trets, els observatoris de la Meseta Sud i del sud-oest continuen enregistrant dèficits de precipitació en aquest segon hivern.

L'anàlisi per erupcions assenyala que després de l'erupció del volcà Pinatubo, les mancances de precipitació perduren, com a mínim, fins al segon hivern. Es podria fer en aquest cas un cert paral·lelisme entre la magnitud de l'erupció i la durada i entitat de les anomalies negatives observades, en tractar-se de l'erupció més important de la mostra. En el cas oposat hi ha l'erupció del Paluweh, la de menor magnitud i la quina enregistra un nombre d'anomalies positives considerables.

El tercer hivern post-volcànic es caracteritza per un cert gir en la distribució de les anomalies (taula 4.4.). Així, si el vessant mediterrani concentrava les anomalies positives en els dos primers hiverns, en aquest tercer passa a acumular els majors dèficits pluviomètrics, mentre que bona part del centre i nord-oest peninsulars tendeix a acumular excessos de precipitació. Si es recorda, aquesta distribució ja s'havia apuntat amb anterioritat i els resultats que aquí s'aporten amb una altra base de dades, semblen confirmar-los. Tanmateix, les erupcions del Krakatau i Santa Maria semblen desmarcar-se del comportament majoritari i tendeixen a concentrar anomalies negatives en tots els sectors, i el mateix succeeix amb el Pinatubo. Novament, el lligam entre magnitud de l'erupció i durada dels dèficits pluviomètrics es podria apuntar com a possible explicació. Per la seva part, el tercer hivern posterior a les erupcions de l'Agung i el Fuego es caracteritzen per les desviacions positives a bona part dels observatoris tractats.

		Kra.	S. Mar.	Pal.	Agu.	Fue.	Chi.	Pin.
1	A Coruña Donostia	Orange	Orange	Grey	Blue	Grey	Blue	Blue
2	Burgos Salamanca Soria	Orange	Orange	Grey	Blue	Blue	Blue	Blue
3	Albacete Madrid	Orange	Orange	Orange	Blue	Blue	Blue	Orange
4	Badajoz Cádiz-SF Sevilla	Grey	Orange	Orange	Blue	Blue	Blue	Orange
5	Huesca Zaragoza	Orange	Orange	Blue	Blue	Blue	Grey	Orange
6	Alacant Barcelona Tortosa València	Orange	Blue	Orange	Orange	Blue	Orange	Orange
7	P. Mallorca Maó	Blue	Grey	Blue	Orange	Orange	Orange	Orange
8	Murcia	Orange	Orange	Orange	Blue	Blue	Blue	Orange

Taula 4.4. Com en la taula 4.2. però per al tercer hivern (DGF) posterior a les set erupcions tropicals indicades.

?, sense dades

A diferència dels hiverns post-volcànics, en el conjunt de tardors post-volcàniques la resposta pluviomètrica no és tant fàcilment identificable. Les taules 4.5., 4.6. i 4.7. il·lustren el senyal de les anomalies estandarditzades de precipitació en les estacions de tardor corresponents al mateix any de les erupcions i als dos anys posteriors.

En el primer dels casos el possible patró de resposta és força indefinit. Possiblement la proximitat o fins i tot coincidència temporal d'algunes de les erupcions amb l'estació de tardor (casos del Santa María i Fuego) ajuden a la confusió. Aparentment però, les erupcions que es localitzen a la primera meitat de l'any, com són els casos de l'Agung, El Chichón i Pinatubo mostren una resposta força similar amb anomalies positives més freqüents al sector occidental peninsular. En canvi, les erupcions emplaçades temporalment a la segona meitat de l'any tendeixen a presentar anomalies negatives més generalitzades. Per àmbits geogràfics, també és difícil detectar les regions amb una resposta més o menys homogènia. Amb tot, l'àmbit de llevant o mediterrani (excloent les Illes Balears) presenta dèficits pluviomètrics força evidents en, com a mínim sis dels set casos considerats. De fet, l'única erupció que no compleix aquest criteri és l'Agung de la qual ja s'han assenyalat alguns aspectes polèmics.

		Kra.	S. Mar.	Pal.	Agu.	Fue.	Chi.	Pin.
1	A Coruña Donostia							
2	Burgos Salamanca Soria							
3	Albacete Madrid		?					
4	Badajoz Cádiz-SF Sevilla							
5	Huesca Zaragoza		?					
6	Alacant Barcelona Tortosa València							
7	P. Mallorca Maó							
8	Murcia							

Taula 4.5. Com en la taula 4.2. però per a la tardor (SON) de l'any en què es produeixen les set erupcions tropicals indicades.

?, sense dades

La primera tardor post-volcànica pròpiament dita (és a dir, afectada per la totalitat dels casos) mostra una resposta més uniforme (taula 4.6.). En general, les anomalies negatives són més extenses espacialment i bona part de les erupcions responen d'una manera similar. L'única erupció que es desmarca d'aquest comportament comú és la del Krakatau, enregistrant anomalies positives a bona part de la meitat oriental peninsular i Balears. En la resta de casos les acumulacions pluviomètriques d'entitat pràcticament desapareixen i són substituïdes per la situació contrària. Novament, la façana mediterrània peninsular tendeix a acumular els dèficits més continuats, afegint-s'hi però d'altres àmbits com la Vall de l'Ebre, el sud-oest i ambdues Mesetas. La façana cantàbrica però és l'únic sector amb anomalies positives de precipitació més extenses al llarg del període analitzat.

Finalment, la segona tardor post-volcànica mostra un comportament pràcticament contrari a l'assenyalat en la tardor prèvia (taula 4.7.). En aquest cas, les acumulacions pluviomètriques són evidents en bona part dels set casos considerats, essent la segona tardor posterior a l'erupció del Paluweh la que més es desmarca d'aquest patró (per altra banda la de menys magnitud). La meitat oest peninsular destaca per la presència d'anomalies positives de consideració en les darreres quatre erupcions considerades, mentre que de nou són les estacions de l'àmbit mediterrani les que tendeixen a mostrar una resposta contrària, és a dir, a presentar dèficits pluviomètrics més freqüents o, al menys, desapareixent les anomalies positives.

		Kra.	S. Mar.	Pal.	Agu.	Fue.	Chi.	Pin.
1	A Coruña Donostia	Orange	Orange	Light Blue	Orange	Light Blue	Orange	Light Blue
2	Burgos Salamanca Soria	Yellow	Orange	Blue	Orange	Grey	Orange	Yellow
3	Albacete Madrid	Blue	Orange	Light Blue	Orange	Yellow	Orange	Yellow
4	Badajoz Cádiz-SF Sevilla	Yellow	Light Blue	Orange	Orange	Orange	Light Blue	Grey
5	Huesca Zaragoza	Blue	Orange	Light Blue	Grey	Orange	Yellow	Light Blue
6	Alacant Barcelona Tortosa València	Blue	Orange	Light Blue	Orange	Orange	Light Blue	Orange
7	P. Mallorca Maó	Light Blue	Blue	Light Blue	Grey	Light Blue	Orange	Orange
8	Murcia	Blue	Light Blue	Yellow	Orange	Orange	Grey	Yellow

Taula 4.6. Com en la taula 4.2. però per a la primera tardor (SON) posterior a les set erupcions tropicals indicades.

		Kra.	S. Mar.	Pal.	Agu.	Fue.	Chi.	Pin.
1	A Coruña Donostia	Grey	Orange	Light Blue	Blue	Light Blue	Blue	Light Blue
2	Burgos Salamanca Soria	Yellow	Orange	Yellow	Blue	Light Blue	Blue	Blue
3	Albacete Madrid	Light Blue	Blue	Orange	Yellow	Blue	Light Blue	Blue
4	Badajoz Cádiz-SF Sevilla	Grey	Light Blue	Orange	Blue	Blue	Light Blue	Yellow
5	Huesca Zaragoza	Grey	Orange	Light Blue	Blue	Grey	Yellow	Light Blue
6	Alacant Barcelona Tortosa València	Yellow	Blue	Orange	Blue	Orange	Yellow	Blue
7	P. Mallorca Maó	Grey	Light Blue	Orange	Light Blue	Blue	Grey	Blue
8	Murcia	Blue	Grey	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Yellow

Taula 4.7. Com en la taula 4.2. però per a la segona tardor (SON) posterior a les set erupcions tropicals indicades.

4.2.5. Erupcions de latituds elevades de l'HN i precipitació mitjana. Resultats.

Un cop vista la resposta mitjana de la precipitació de la Península Ibèrica i les Illes Balears davant del forçament volcànic tropical, en aquest apartat s'analitza quin és el comportament d'aquest mateix paràmetre enfront de quatre erupcions de latituds elevades (veure taula 3.4.). Com en el cas anterior, es mostra en forma de mapes la distribució espacial de les anomalies estandarditzades de precipitació, un cop aplicat el mètode AES. Tenint en compte la ubicació temporal de les erupcions (primera meitat de l'any), s'ha iniciat l'estudi en l'estiu corresponent a l'any de les erupcions o també anomenat any 0 (figura 4.14.).

Després d'un mes de juny amb destacades anomalies negatives al voltant de la conca alta de la vall de l'Ebre i d'altres de signe contrari cap al litoral central mediterrani, en els mesos posteriors s'imposen les desviacions positives de precipitació, més o menys generals. Aquest fet és perceptible entre els mesos de juliol (0) i d'octubre (0) i, especialment apreciable al sud-oest peninsular. Així, el sector sud de Portugal i el més proper al cap de San Vicente presenta desviacions positives d'entitat, superant-se el nivell de significació del 95% fixat per Monte Carlo en els mesos de juliol (0) i de setembre (0). A la resta de la Península i Balears els dèficits pluviomètrics són escassos, de poca entitat i concentrats al nord-est. En el darrer dels mesos de tardor, novembre (0), les desviacions negatives tornen a aparèixer a l'oest i centre peninsular mentre que la façana mediterrània i Balears resten afectades per certes desviacions positives (figura 4.14-f).

En els mesos pròpiament hivernals, la morfologia de les anomalies recorda a la que es podia apreciar durant el primer hivern posterior a grans erupcions tropicals (figura 4.15., mapes superiors). Així, en el mes de gener (+1) l'únic sector amb anomalies negatives, per bé que de poca entitat, es localitza al nord-oest peninsular, mentre que les acumulacions pluviomètriques, aquestes sí més destacades, es tornen a concentrar al voltant del golf de València. Un patró similar es manté en el mes de febrer (+1) assolint els dèficits de precipitació uns valors més considerables, mentre que al nord-est peninsular es localitzen les anomalies de signe contrari. Igualment, el mes de desembre (0) es caracteritza per la presència de dèficits pluviomètrics generalitzats, aspecte que també s'havia apreciat en el mes de gener (+1) posterior a les erupcions de localització tropical.

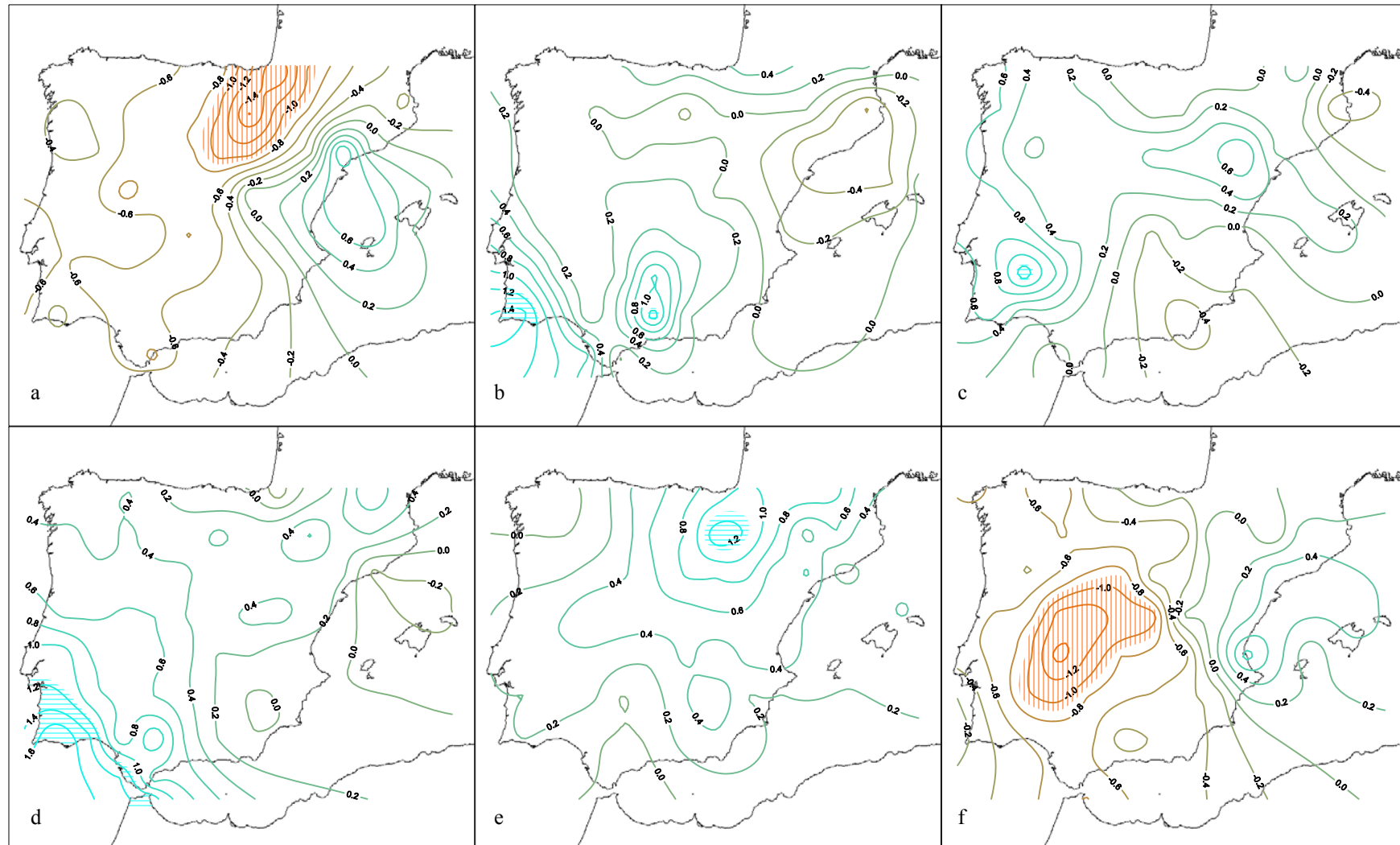


Figura 4.14. Distribució espacial de les anomalies estandarditzades de precipitació després de l'aplicació del mètode AES per al conjunt de les quatre erupcions de latituds elevades considerades, prenent el mes de gener de l'erupció com a la data clau. Jun. 0 (a), Jul. 0 (b), Ago. 0 (c), Set. 0 (d), Oct. 0 (e) i Nov. 0 (f). Els ratllats indiquen els sectors que superen el llindar del nivell de significació del 5% (ratllat horitzontal) i del 95% (ratllat vertical), després d'aplicar la tècnica Monte Carlo.

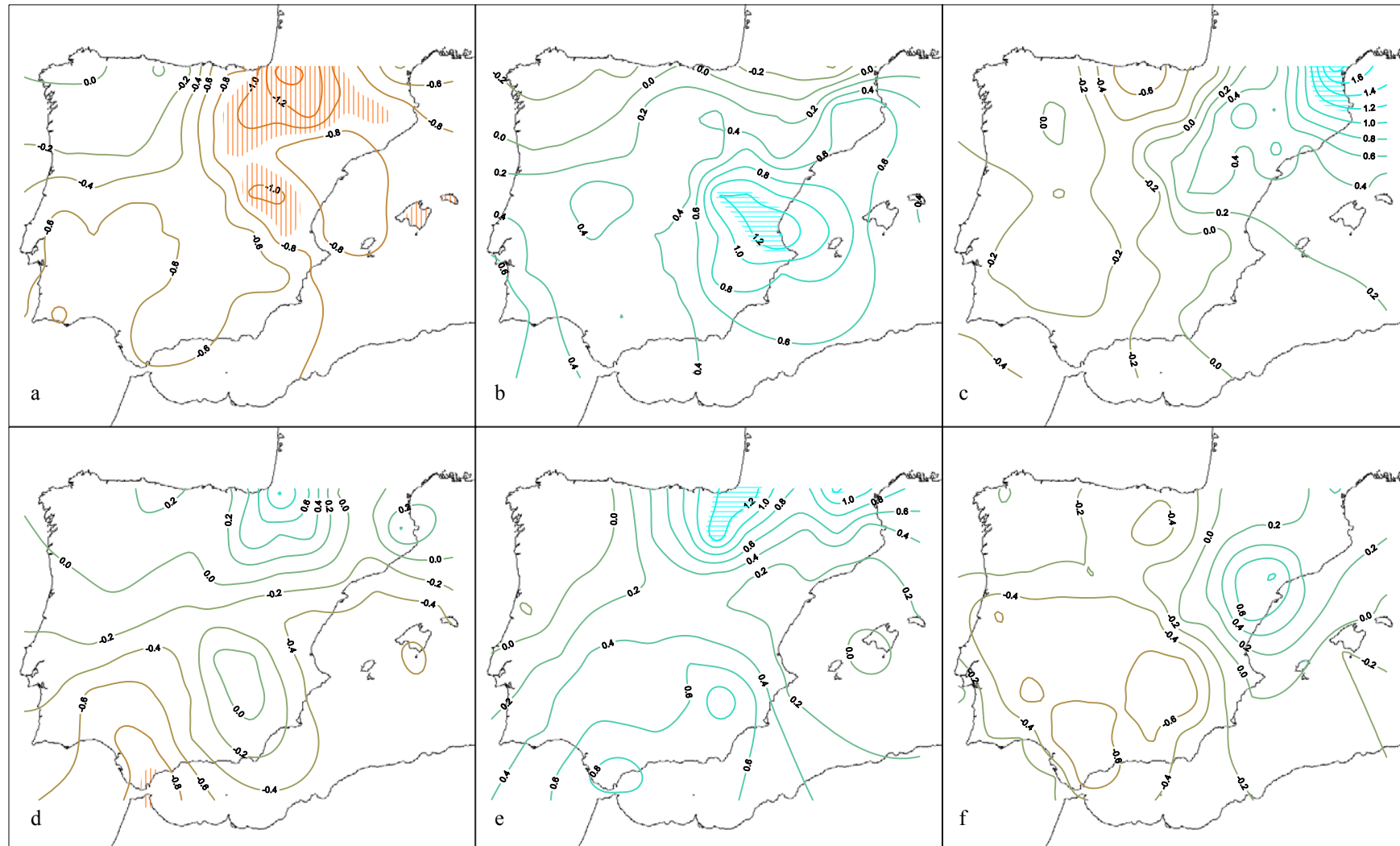


Figura 4.15. Com en la figura 4.14. però per als mesos Des. 0 (a), Gen. +1 (b), Feb. +1 (c), Mar. +1 (d), Abr. +1 (e) i Mai. +1 (f). Els ratllats indiquen els sectors que superen el llindar del nivell de significació del 5% (ratllat horitzontal) i del 95% (ratllat vertical), després d'aplicar la tècnica Monte Carlo.

La primera primavera post-eruptiva no mostra, a grans trets, cap comportament espacial definit, és a dir, les anomalies de qualsevol dels dos signes es distribueixen de manera anàrquica sobre l'àrea d'estudi (figura 4.15. – mapes inferiors). Aquest fet només es trenca en el mes d'abril (+1) on les desviacions positives s'imposen en tot l'àmbit d'estudi (figura 4.15-e) i, fins i tot, l'àrea propera al golf de Vizcaya mostra valors per damunt del nivell de significació del 95%. Per contra, al sud peninsular, els dèficits de precipitació assoleixen nivells apreciables en els mesos de març (+1) i maig (+1), i més importants en l'àrea propera a l'estret de Gibraltar.

De la resposta pluviomètrica corresponent a l'estiu +1 destaquen les anomalies positives que es presenten en el mes de juny en tot el sector (figura 4.16-a). El llindar de significació es supera àmpliament en una regió al voltant d'un eix imaginari que aniria dels Pirineus a l'estret de Gibraltar, essent precisament en aquest darrer sector on els valors assolits són realment espectaculars. Si el juny (+1) és un mes amb totals pluviomètrics per damunt de la mitjana, en els mesos de juliol (+1) i agost (+1) les carències de precipitació hi són dominants. Al juliol (+1), per exemple, el sector a cavall de la Península i el nord d'Àfrica que havia concentrat les acumulacions pluviomètriques més destacades en el mes precedent, en aquest passa a l'extrem oposat (figura 4.16-b). Tenint en compte que la pluviometria estival en aquest sector ja és de per si molt escassa, es podria concloure que la precipitació és en aquest mes post-volcànic concret gairebé nul·la.

La durada de la incidència de les erupcions de latituds elevades sobre la temperatura peninsular s'havia fixat en aproximadament un any i mig. És d'esperar doncs que el senyal sobre el paràmetre precipitació es faci, també, menys apreciable a mida que ens allunyem de la data de l'erupció. Tenint aquest fet en consideració, la tardor (+1), a diferència de la tardor precedent, no mostra un comportament definit. Així, si durant el setembre (+1) i el novembre (+1) les anomalies negatives hi són dominants, en el mes d'octubre (+1) bona part de l'àrea d'estudi resta sota anomalies positives (figura 4.16., quadres inferiors). Malgrat tot, hi ha un cert patró espacial que es repeteix, caracteritzat per la perpetuació de dèficits de precipitació al sud-est peninsular. Curiosament, aquesta mateixa distribució de les anomalies ja s'havia apreciat en la primera tardor posterior a grans erupcions tropicals (veure figura 4.4. – mapes superiors).

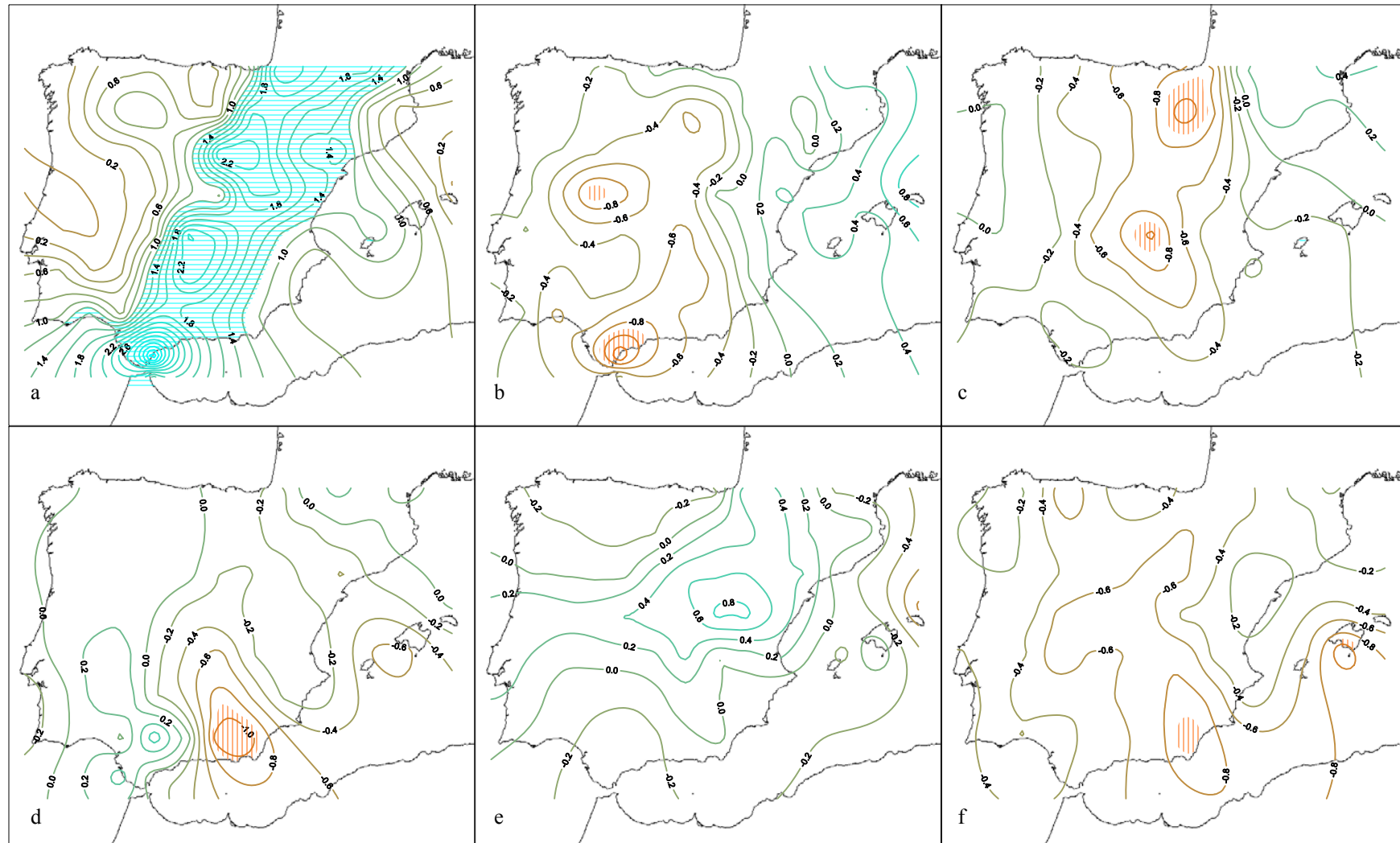


Figura 4.16. Com en la figura 4.14, però per als mesos de Jun. +1 (a), Jul. +1 (b), Ago. +1 (c), Set. +1 (d), Oct. +1 (e) i Nov. +1 (f). Els ratllats indiquen els sectors que superen el llindar del nivell de significació del 5% (ratllat horitzontal) i del 95% (ratllat vertical), després d'aplicar la tècnica Monte Carlo.

Finalment, la figura 4.17. mostra la resposta de les z de precipitació per a l'hivern (+2) i la primavera (+2), un cop aplicat el mètode AES. En ambdós casos, novament es fa difícil apreciar un comportament fàcilment identificable, però sembla que les anomalies negatives hi són més freqüents. Aquest fet és especialment evident al mes de febrer (+2) on la totalitat de la Península i Balears es troba afectada per dèficits pluviomètrics, amb dos nuclis clarament identificables al sud-est i al sector pirinenc més occidental (figura 4.17-c). A excepció d'aquest dos casos, la magnitud de les anomalies és relativament modesta, tant en aquest mes com en la resta de mesos hivernals. Per la seva part, la segona primavera post-eruptiva segueix el mateix patró que el mostrat en les dues estacions que la precedeixen, és a dir, la presència d'un patró sense definició. Així, si per al mes de març (+2), bona part dels Pirineus mostren excessos de precipitació per damunt del llindar de significació, en el mes d'abril (+2), pràcticament la mateixa àrea està sota el domini d'anomalies negatives. Com s'havia indicat prèviament, la localització de les erupcions a les latituds més elevades de l'HN fa que el possible senyal d'aquest tipus d'impacte sigui d'una durada més breu, en comparació amb el de les erupcions tropicals. Per aquest motiu, el possible senyal observable sobre el paràmetre precipitació s'hauria d'esmoreir a mida que ens allunyem de la data de l'erupció i podria explicar la dificultat per a reconèixer una resposta clara i que, de fet, s'ha detectat en aquest estudi. Adduint al comentari anterior, s'ha considerat oportú no continuar l'anàlisi més enllà del segon any post-eruptiu.

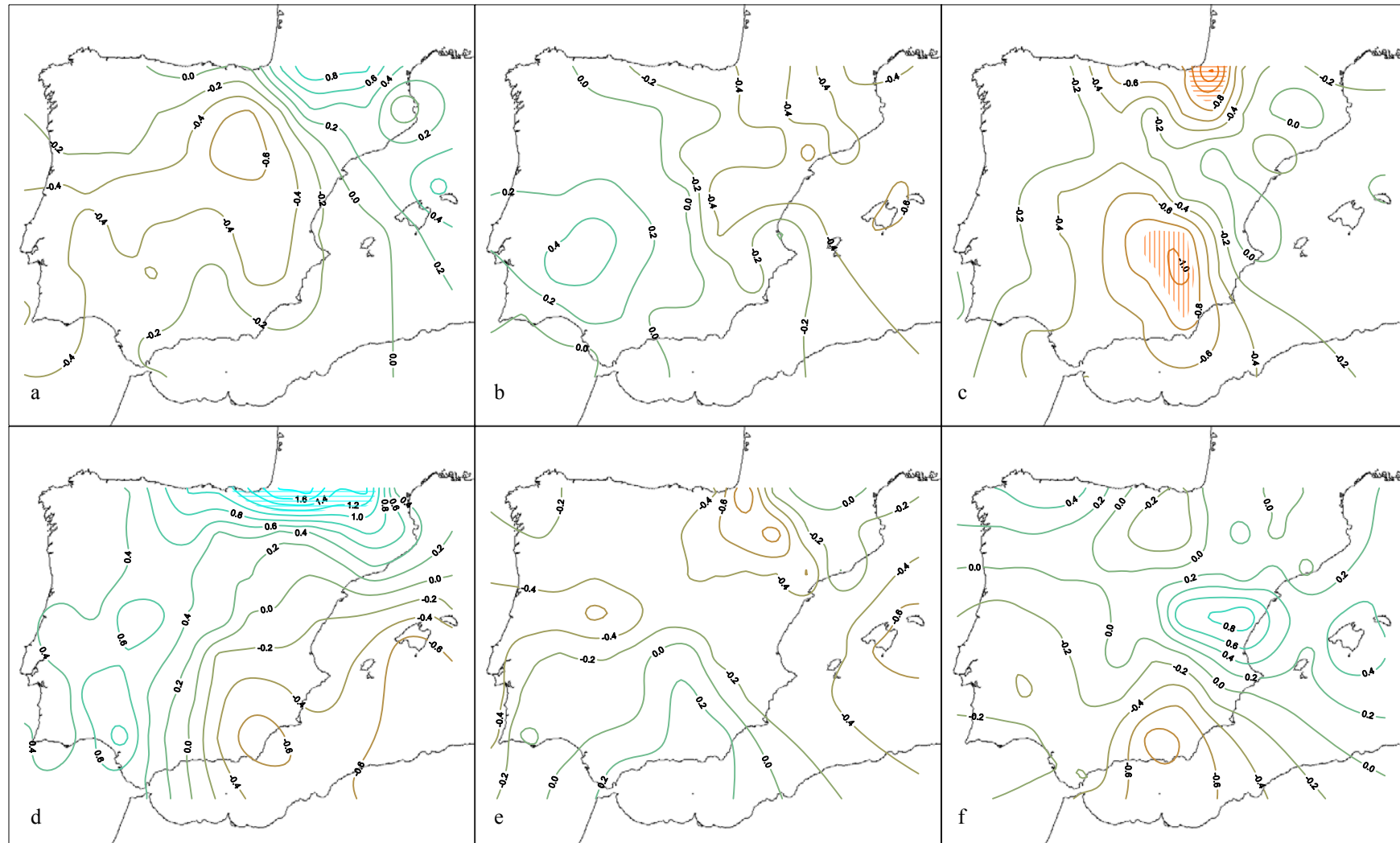


Figura 4.17. Com en la figura 4.14. però per als mesos Des. +1(a), Gen. +2(b), Feb. +2(c), Mar. +2(d), Abr. +2(e) i Mai. +2(f). Els ratllats indiquen els sectors que superen el llindar del nivell de significació del 5% (ratllat horitzontal) i del 95% (ratllat vertical), després d'aplicar la tècnica Monte Carlo.

Per tal de detectar característiques comunes o diferenciades en la resposta pluviomètrica de l'àrea d'estudi davant dels dos conjunts d'erupcions (tropicals i de latituds elevades), s'ha considerat oportú seguir un anàlisi paral·lel. En aquest sentit, tot seguit s'analitza la resposta estacional de la pluviometria en els mateixos cinc punts indicats en l'apartat anterior.

La figura 4.18. mostra les anomalies estandarditzades de precipitació després de l'aplicació del mètode AES i a nivell estacional en un punt localitzat a l'extrem sud-est. Majoritàriament s'imposen els dèficits pluviomètrics en els dos anys posteriors a les dates clau i són especialment evidents durant la primera i la segona tardors post-volcàniques. Malgrat tot, i tal i com s'havia indicat prèviament, la durada del senyal en els casos d'erupcions de latituds elevades tendeix a ser més curt pel que podria ser problemàtic o, com a mínim, agosarat atribuir aquest perllongat període amb anomalies negatives al forçament volcànic. Amb tot, sí que és significativa l'absència de períodes amb acumulacions pluviomètriques d'entitat.

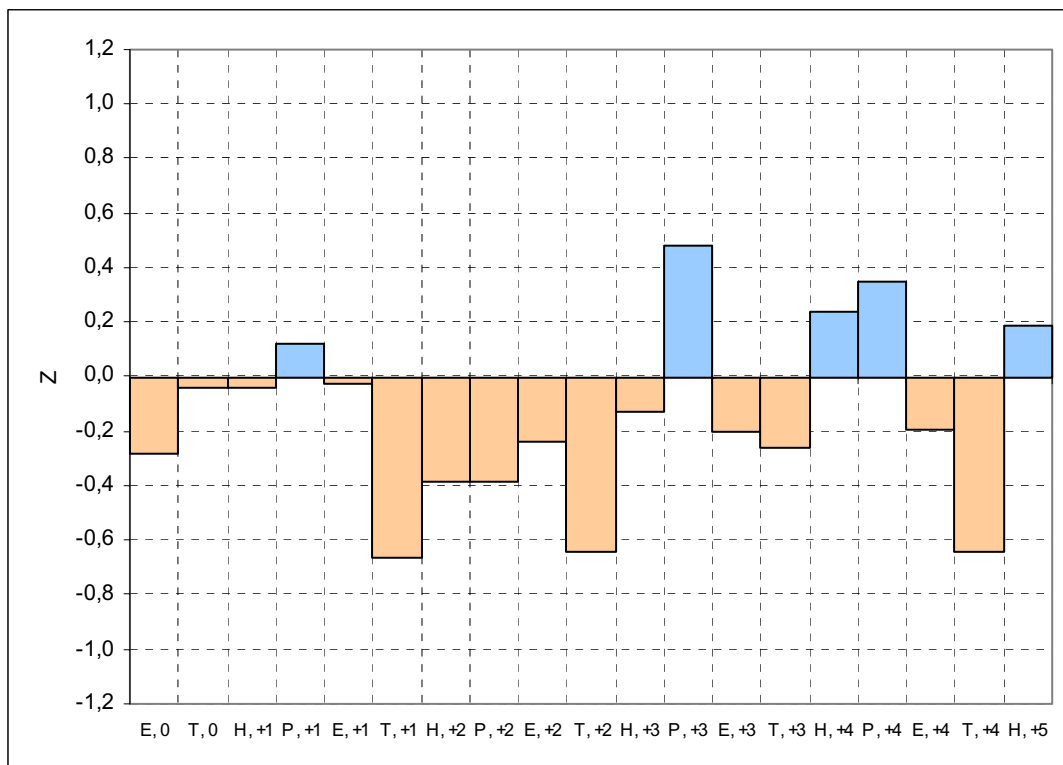


Figura 4.18. Resultat de l'aplicació del mètode AES a la precipitació estacional corresponent a un punt localitzat al sud-est de la Península Ibèrica (37.25 / -2.25). Les erupcions són un conjunt de quatre erupcions de latituds elevades i les dates claus són els geners dels anys de les erupcions.

E=Estiu (JJA), T=Tardor (SON), H=Hivern (DJF) i P=Primavera (MAM).

En el mateix nivell latitudinal, però desplaçant-se cap a l'oest la situació canvia de manera clara (figura 4.19.). Les dues estacions més properes a les dates de les erupcions, estiu i tardor dels anys de les erupcions, presenten acumulacions de precipitació clarament visibles i posteriorment es succeeixen les estacions amb desviacions negatives i positives, essent però de magnitud molt modesta. És apreciable el fet que una estació tradicionalment molt seca, l'estiu és l'única amb acumulacions de precipitació en els tres anys post-eruptius, mentre que a l'hivern es dona un fenomen invers.

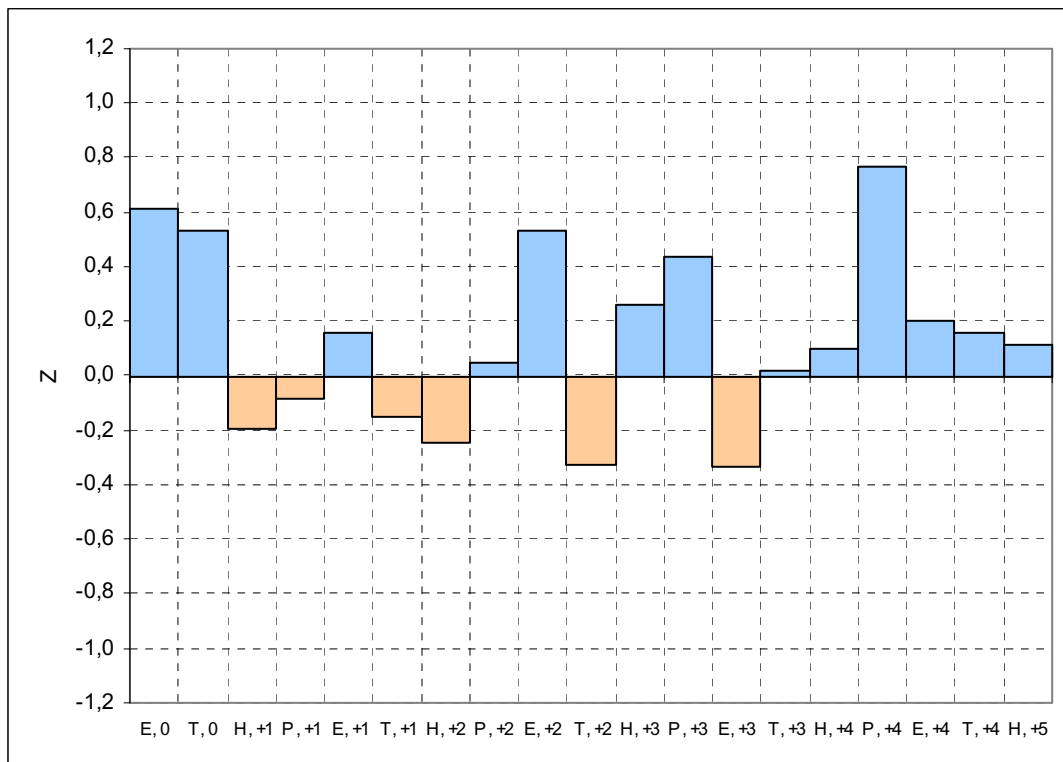


Figura 4.19. Com en la figura 4.18. però per a un punt localitzat al sud-oest de la Península Ibèrica (37.25 / -8.25).

En el centre peninsular es fa difícil apreciar una resposta pluviomètrica clara (figura 4.20.) per bé que tendeix a repetir-se un patró similar al detectat a l'extrem sud-est, és a dir, la presència de dèficits pluviomètrics especialment en el segon any, tot tenint en compte el que s'havia indicat en aquell cas. En el primer any, estacions amb anomalies positives es succeeixen amb estacions amb anomalies de signe oposat, tot i que de nou els dos primers hiverns tendeixen a mostrar dèficits pluviomètrics.

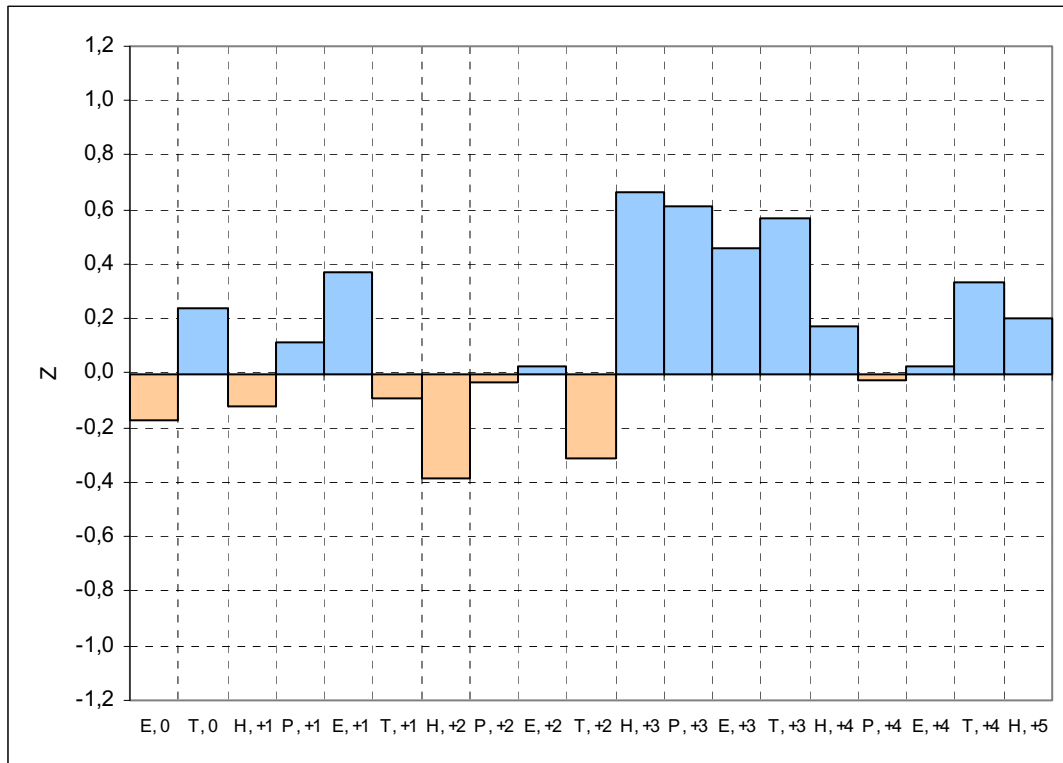


Figura 4.20. Com en la figura 4.18. però per a un punt localitzat al centre de la Península Ibèrica (41.25 / -3.25).

La meitat septentrional de la Península Ibèrica presenta un comportament força diferenciat en funció de la longitud. Així, si l'extrem nord-oest no mostra anomalies significatives de cap dels dos signes, l'extrem nord-est presenta acumulacions pluviomètriques destacades en pràcticament totes les estacions post-eruptives (figures 4.21. i 4.22.). Com es recorda, el nord-oest peninsular es caracteritzava per uns hiverns amb anomalies evidents en el període posterior a erupcions volcàniques tropicals. Per a les erupcions de latituds elevades de l'HN, la resposta és molt menys evident però, en tot cas, els hiverns també experimenten lleugeres desviacions pluviomètriques negatives, i hi són absents les anomalies positives en pràcticament els dos anys posteriors a les dates claus. Per la seva part, i com s'havia indicat, el nord-est peninsular és el sector en el que les acumulacions de precipitació es fan més extenses temporalment i assoleixen nivells realment destacades. Aquest darrer fet és especialment apreciable durant la tardor de l'any de l'erupció i a l'estiu +1. Finalment també és sorprenent l'extens període limitat entre l'hivern +2 i l'hivern +4, amb anomalies positives destacades, malgrat que l'associació d'aquest fet amb el forçament volcànic podria resultar excessivament determinista.

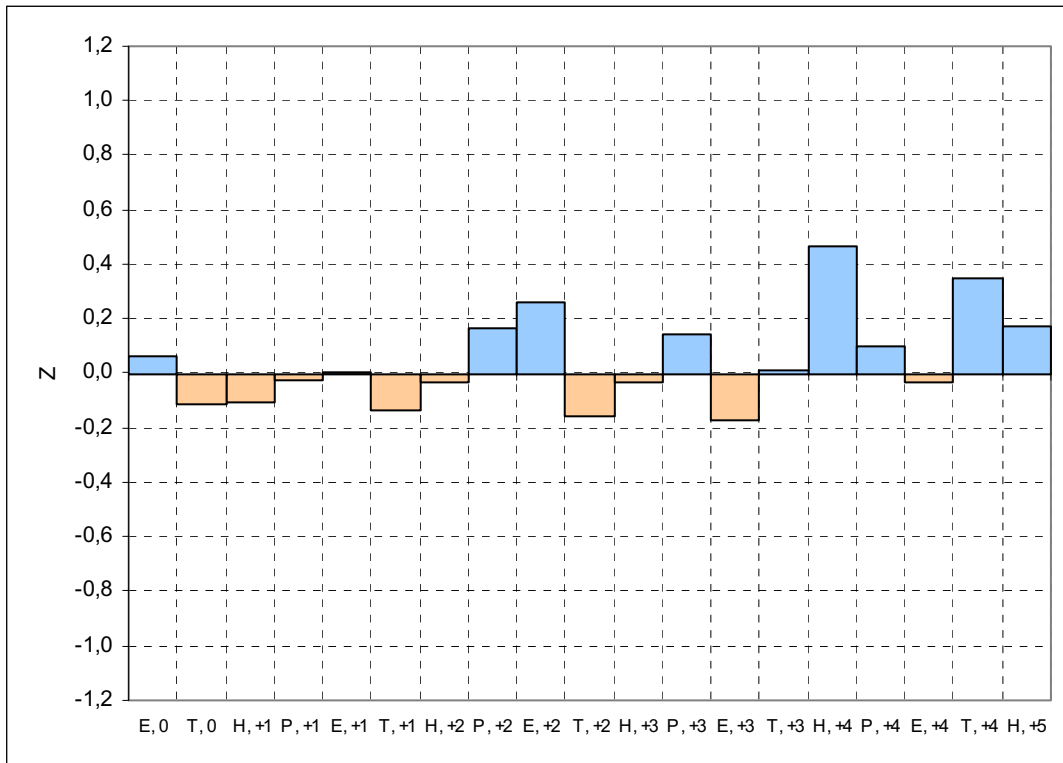


Figura 4.21. Com en la figura 4.18. però per a un punt localitzat al nord-oest de la Península Ibèrica (43.25 / -8.25).

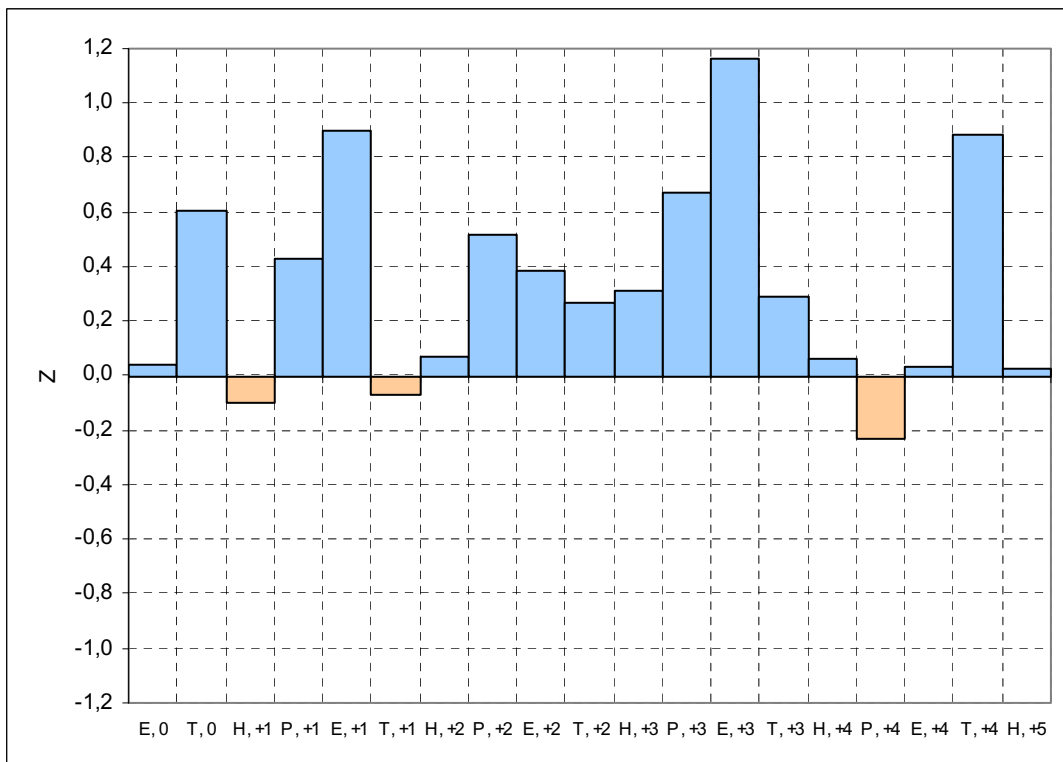


Figura 4.22. Com en la figura 4.18. però per a un punt localitzat al nord-est de la Península Ibèrica (43.25 / 1.75).

A grans trets doncs, es pot concloure que en els dos anys posteriors a grans erupcions de latituds elevades s'aprecien dèficits pluviomètrics d'entitat a l'extrem sud-est, mentre que l'oposat succeeix al nord-est. Igualment, el primer hivern post-volcànic és l'única estació amb anomalies negatives a la totalitat dels cinc punts tractats, mentre que el primer estiu de l'any posterior a les erupcions tendeix a ser més plujós.

En aquesta darrera secció s'utilitza novament la base de dades procedent dels dinou observatoris de primer ordre de l'INM i que ja es mostraven a la secció 4.2. A diferència de les erupcions tropicals, en aquest cas la major cobertura temporal de les dades no permet incloure d'altres erupcions, però per altra banda sí que és possible analitzar la resposta individual del paràmetre precipitació per a cadascuna de les quatre erupcions. Seguint el mateix anàlisi plantejat anteriorment, s'ha estudiat simplement el senyal i magnitud de les anomalies estandarditzades de precipitació estacional sense l'aplicació del mètode AES. Les z s'han classificat en funció de la seva magnitud en les mateixes cinc categories:

	< -0.5	anomalia negativa important
	-0.5 a -0.1	anomalia negativa moderada
	-0.1 a 0.1	sense anomalia evident
	0.1 a 0.5	anomalia positiva moderada
	> 0.5	anomalia positiva important

S'ha considerat l'estiu de l'any de les erupcions com a la primera estació afectada per la totalitat de la mostra d'erupcions (taula 4.8.). Aparentment, les anomalies negatives tenen una presència temporal i espacial més àmplia, essent especialment perceptibles en l'estiu post-eruptiu de les erupcions del Ksudach i Bezymianny. Aquest aspecte es podria explicar pel fet que aquestes són les dues erupcions que es localitzen al mes de març, mentre que les altres dues ho fan al mes de juny, és a dir, ja dins de l'estació objecte d'anàlisi. Es fa difícil detectar un àmbit geogràfic amb una resposta més o menys definida, tot i que potser les àrees nord-occidental peninsular i la vall de l'Ebre tendeixen a concentrar un major nombre d'anomalies negatives.

		Ksudach	Katmai	Komagatake	Bezymianny
1	A Coruña Donostia	Yellow	Blue	Yellow	Blue
2	Burgos Salamanca Soria	Orange	Light Blue	Yellow	Orange
3	Albacete Madrid	Grey	Orange	Blue	Grey
4	Badajoz Cádiz-SF Sevilla	Yellow	Orange	Yellow	Yellow
5	Huesca Zaragoza	Orange	Yellow	Light Blue	Grey
6	Alacant Barcelona Tortosa València	Orange	Light Blue	Blue	Orange
7	Maó P. Mallorca	Blue	Yellow	Blue	Yellow
8	Murcia	Orange	Orange	Blue	Orange

Taula 4.8. Senyal de les anomalies estandarditzades de precipitació corresponents a l'estiu (JJA) en què es produeixen les quatre erupcions de latituds elevades de l'HN indicades, i per a dinou observatoris repartits pel conjunt de l'Espanya peninsular i Balears.

La resposta pluviomètrica durant la tardor tampoc presenta una resposta clara, és a dir, en funció de l'erupció les anomalies poden resultar indistintament positives o bé negatives (taula 4.9.). Així, en la tardor posterior a l'erupció del volcà Ksudach, bona part de la Península i Balears presenten acumulacions de precipitació evidents, mentre que el comportament oposat s'imposa en la tardor posterior a l'erupció del Katmai. L'anàlisi per àmbits o regions geogràfiques tampoc permet detectar aquelles regions amb una resposta més unitària. Un bon exemple d'aquesta conducta, que es podria qualificar d'anàrquica és la resposta de dos observatoris relativament propers: Murcia i Alacant. Si en el primer cas, les desviacions positives no es presenten en cap de les quatre estacions de tardor considerades, a Alacant les anomalies de signe oposat s'imposen.

A diferència dels dos casos precedents, en el primer hivern post-eruptiu sí que s'imposa una resposta general fàcilment identificable (taula 4.10.). Bona part de l'àrea d'estudi resta afectada per dèficits de precipitació, fet que s'aprecia en la totalitat de les quatre erupcions considerades. Les úniques regions que es desmarquen d'aquest patró són la façana mediterrània i les Illes Balears, on no hi són estranyes les anomalies positives destacades.

		Ksudach	Katmai	Komagatake	Bezymianny
1	A Coruña Donostia	Yellow	Orange	Light Blue	Yellow
2	Burgos Salamanca Soria	Light Blue	Orange	Dark Blue	Yellow
3	Albacete Madrid	Light Blue	Orange	Yellow	Orange
4	Badajoz Cádiz-SF Sevilla	Dark Blue	Orange	Light Blue	Yellow
5	Huesca Zaragoza	Dark Blue	Orange	Light Blue	Yellow
6	Alacant Barcelona Tortosa València	Light Blue	Orange	Yellow	Yellow
7	Maó P. Mallorca	Dark Blue	Yellow	Light Blue	Dark Blue
8	Murcia	Grey	Grey	Yellow	Yellow

Taula 4.9. Com en la taula 4.8. però per a la tardor (SON) dels anys en què es produeixen les quatre erupcions de latituds elevades de l'HN indicades.

		Ksudach	Katmai	Komagatake	Bezymianny
1	A Coruña Donostia	Orange	Orange	Light Blue	Yellow
2	Burgos Salamanca Soria	Yellow	Grey	Light Blue	Orange
3	Albacete Madrid	Orange	Yellow	Yellow	Orange
4	Badajoz Cádiz-SF Sevilla	Grey	Orange	Yellow	Orange
5	Huesca Zaragoza	Orange	Grey	Light Blue	Orange
6	Alacant Barcelona Tortosa València	Dark Blue	Orange	Light Blue	Yellow
7	Maó P. Mallorca	Yellow	Yellow	Light Blue	Orange
8	Murcia	Light Blue	Yellow	Yellow	Light Blue

Taula 4.10. Com en la taula 4.8. però per al primer hivern (DGF) posterior a les quatre erupcions de latituds elevades de l'HN indicades.

Aquest mateix patró amb un predomini de les anomalies negatives (fins i tot essent el nord-oest peninsular el sector més afectat) ja s'havia apreciat de manera pràcticament idèntica en el primer hivern posterior a les erupcions volcàniques tropicals, indicant potser una similar resposta dinàmica del sistema climàtic davant del forçament volcànic, indiferent de la seva localització latitudinal.

		Ksudach	Katmai	Komagatake	Bezymianny
1	A Coruña Donostia	Orange	Orange	Light Blue	Orange
2	Burgos Salamanca Soria	Orange	Orange	Light Blue	Orange
3	Albacete Madrid	Blue	Grey	Orange	Grey
4	Badajoz Cádiz-SF Sevilla	Orange	Orange	Orange	Grey
5	Huesca Zaragoza	Light Blue	Blue	Orange	Light Blue
6	Alacant Barcelona Tortosa València	Light Blue	Orange	Grey	Light Blue
7	Maó P. Mallorca	Blue	Orange	Orange	Orange
8	Murcia	Grey	Orange	Blue	Orange

Taula 4.11. Com en la taula 4.8, però per a la primera primavera (MAM) posterior a les quatre erupcions de latituds elevades de l'HN indicades.

La primera primavera post-volcànica torna a presentar una resposta erràtica, sense definir-se un patró d'anomalies negatives o positives (taula 4.11.). Malgrat tot, sembla ser que en el sector més proper al Cantàbric tendeixen a perpetuar-se els dèficits pluviomètrics ja detectats en l'estació precedent. Per contra en les regions més properes a la Mediterrània l'oposada sembla ser la resposta més generalitzada. Pel que fa a l'anàlisi per erupcions, no es detecta un comportament diferenciat fet que no es dona per exemple en l'estació posterior.

Efectivament, durant el primer estiu hi ha dues erupcions, les del Ksudach i Komagatake en les que s'imposen les anomalies positives d'entitat i força generalitzades en tots els observatoris (4.12.). En canvi els estius posteriors a les erupcions del Bezymianny i, sobretot del Katmai la resposta és la contrària. Per àmbits geogràfics, probablement l'àrea mediterrània central i septentrional (excloent les Balears) i la vall de l'Ebre són les que experimenten uns dèficits pluviomètrics més importants.

		Ksudach	Katmai	Komagatake	Bezymianny
1	A Coruña Donostia	Orange	Orange	Blue	Light Blue
2	Burgos Salamanca Soria	Blue	Yellow	Blue	Yellow
3	Albacete Madrid	Yellow	Orange	Grey	Blue
4	Badajoz Cádiz-SF Sevilla	Light Blue	Yellow	Light Blue	Yellow
5	Huesca Zaragoza	Yellow	Yellow	Grey	Light Blue
6	Alacant Barcelona Tortosa València	Orange	Light Blue	Orange	Light Blue
7	Maó P. Mallorca	Blue	Orange	Blue	Grey
8	Murcia	Yellow	Orange	Blue	Orange

Taula 4.12. Com en la taula 4.8. però per al primer estiu (JJA) posterior a les quatre erupcions de latituds elevades de l'HN indicades.

Durant la primera tardor post-volcànica es torna a imposar el mateix comportament anàrquic que també s'havia apreciat en la tardor precedent (taula 4.13.). Si aleshores era el cas del Ksudach l'erupció que generava més i més extenses anomalies positives, en aquest cas és la del Katmai i a l'extrem més septentrional. En l'extrem oposat, l'erupció del Komagatake generaria desviacions negatives apreciables a tota l'àrea d'estudi. A grans trets, el sector mediterrani sembla ser l'àmbit on les anomalies negatives són més freqüents.

Finalment, el segon hivern post-volcànic torna a ser l'estació on la resposta és més unitària (taula 4.14.). Així, i seguint la mateixa resposta detectada en l'hivern precedent, les anomalies negatives tornen a ser pràcticament generals i, fins i tot, essent en aquest cas més destacades. Aquest fet té cert paral·lelisme amb estudis realitzats sobre la resposta de la temperatura hivernal posterior a grans erupcions de latituds elevades. Així, *Robock & Mao [1992]* ja havien indicat que per a aquest tipus d'erupcions, el màxim escalfament hivernal es donava precisament en el segon hivern, és a dir, la mateixa estació que enregistra els dèficits pluviomètrics més destacats en el nostre àmbit d'estudi. Per sectors, l'oest i centre peninsular són els més afectats assolint-se anomalies de magnituds considerables. Com succeïa en l'hivern anterior, el sud-est i les Balears són les úniques regions que queden

lleugerament al marge d'aquest comportament, doncs hi apareixen alguns casos amb anomalies positives.

Malgrat els resultats indicats, cal alertar que la resposta pluviomètrica peninsular i balear davant de les erupcions de latituds elevades està probablement afectada pel limitat nombre d'erupcions considerades.

		Ksudach	Katmai	Komagatake	Bezymianny
1	A Coruña Donostia	Orange	Light Blue	Grey	Yellow
2	Burgos Salamanca Soria	Grey Orange	Blue	Yellow Grey	Orange Yellow
3	Albacete Madrid	Light Blue Orange	Light Blue	Orange	Blue
4	Badajoz Cádiz-SF Sevilla	Blue Yellow	Blue	Orange	Light Blue Yellow Grey
5	Huesca Zaragoza	Yellow Blue	Light Blue	Orange Grey	Orange Yellow
6	Alacant Barcelona Tortosa València	Blue Yellow	Orange	Orange	Light Blue Yellow Blue
7	Maó P. Mallorca	Grey Yellow	Orange	Orange	Blue
8	Murcia	Blue	Orange	Yellow	Light Blue

Taula 4.13. Com en la taula 4.8. però per a la primera tardor (SON) posterior a les quatre erupcions de latituds elevades de l'HN indicades.

		Ksudach	Katmai	Komagatake	Bezymianny
1	A Coruña Donostia	Orange	Orange	Grey Blue	Orange
2	Burgos Salamanca Soria	Orange	Yellow	Yellow	Light Blue Yellow
3	Albacete Madrid	Yellow Orange	Yellow	Orange	Orange
4	Badajoz Cádiz-SF Sevilla	Yellow Orange	Orange	Yellow	Orange
5	Huesca Zaragoza	Orange	Orange	Light Blue	Orange Yellow
6	Alacant Barcelona Tortosa València	Yellow Light Blue Yellow	Orange	Orange	Yellow Grey
7	Maó P. Mallorca	Blue	Orange	Light Blue	Yellow
8	Murcia	Grey	Grey	Orange	Yellow

Taula 4.14. Com en la figura 4.8. però per al segon hivern (DGF) posterior a les quatre erupcions de latituds elevades de l'HN indicades.

CONCLUSIONS CAPÍTOL 4

Paral·lelament a la incidència del vulcanisme sobre la temperatura global, hemisfèrica i, com s'ha pogut comprovar en aquest estudi, regional, d'altres variables en poden restar afectades, com és el cas de la precipitació. En aquest sentit, durant els períodes post-volcànics, la precipitació a la Península Ibèrica i Balears pateix certes alteracions.

- Les erupcions tropicals són les que provoquen unes modificacions més evidents i perllongades en el temps. Per contra, les erupcions de latituds elevades de l'HN comporten canvis de menys entitat, més difícils de detectar i, en tot cas, de durada més breu.
- Els primers dos hiverns posteriors als dos conjunts d'erupcions considerades mostren una resposta pluviomètrica pràcticament idèntica: presència generalitzada d'anomalies negatives. L'extrem nord-oest peninsular és el sector més sensible, essent els dèficits de precipitació molt més evidents en els hiverns posteriors a grans erupcions tropicals. Per contra, el sector mediterrani central peninsular tendeix a concentrar anomalies positives en alguns dels mesos post-eruptius hivernals.
- En general, les dues estacions de tardor immediatament posteriors a ambdues agrupacions d'erupcions solen ser més seques a bona part del litoral mediterrani, essent l'extrem sud-est el més afectat pels dèficits pluviomètrics.
- Com succeïa amb les temperatures és possible realitzar una certa associació entre les magnituds de les erupcions i la durada de les anomalies negatives de precipitació. En el mateix sentit, a major proximitat amb la data de l'erupció més evidents i perdurables són els dèficits de precipitació (especialment a l'hivern).
- L'estiu és l'única estació que es desmarcaria de la tendència cap a una major freqüència de dèficits pluviomètrics.

A la vista dels resultats, tot sembla indicar que les erupcions volcàniques de gran magnitud a part de generar un forçament sobre la radiació, també generen un forçament dinàmic que tindria, en les anomalies de precipitació detectades, la seva principal resposta.

