



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Patrons mesoscalars de precipitació a Catalunya

Josep Ramon Miró Cubells



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- Compartigual 3.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - Compartigual 3.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0. Spain License.**

TESI DOCTORAL

Programa de doctorat:

Geografia, Planificació Territorial i Gestió Ambiental

Facultat de Geografia i Història

Patrons mesoscalars de precipitació a Catalunya

Memòria presentada per

JOSEP RAMON MIRÓ CUBELLS

Director de la tesi

Dr. Javier Martín-Vide

Catedràtic de Geografia Física



**UNIVERSITAT DE
BARCELONA**

Barcelona, Novembre de 2016

Índex

| | |
|---|-----------|
| Agraïments..... | 19 |
| 0. Introducció | 21 |
| 1. Antecedents i estat de la qüestió..... | 23 |
| 1.1 Estudis de precipitació a Catalunya..... | 23 |
| 1.2 Classificacions sinòptiques | 30 |
| 1.2.1. Evolució històrica de les classificacions sinòptiques | 32 |
| 1.2.2. Estudis sinòptics dins l'àmbit de la Península Ibèrica | 34 |
| 1.3 Downscaling | 35 |
| 2. Hipòtesis i objectius | 38 |
| 3. Àrea d'estudi i dades usades | 40 |
| 3.1 Àrea d'estudi | 40 |
| 3.2 Dades usades..... | 46 |
| 4. Modificació de JiC | 48 |
| 4.1. Introducció | 48 |
| 4.2. Descripció de les principals metodologies per determinar les classificacions sinòptiques | 49 |
| 4.2.1 Classificacions automàtiques | 49 |
| 4.2.2 Classificacions manuals per la Península Ibèrica..... | 65 |
| 4.3. Metodologia | 72 |
| 4.3.1. JiC al nivell de superfície..... | 74 |
| 4.3.2. JiC al nivell de 500 hPa | 74 |
| 4.3.2.1 Estructures bàsiques dels mapes de 500 hPa | 76 |
| 4.3.2.2 Llindars de la classificació de JiC a 500 hPa i relació amb les estructures abans definides | 78 |
| 4.3.3 Nova proposta de classificació sinòptica objectiva | 79 |
| 4.3.4 Relació de la nova classificació amb la classificació de Martín-Vide..... | 80 |
| 4.3.5. Validació de la nova classificació automàtica obtinguda amb la manual de Martín-Vide | 86 |
| 4.4. Discussió dels tipus obtinguts en la classificació de JiC modificada..... | 95 |
| 4.4.1 Classificació obtinguda vs manual Martín-Vide (1991)..... | 95 |
| 4.4.2 Comparació amb altres classificacions sinòptiques | 113 |

| | |
|--|------------|
| 4.5 Consideracions finals..... | 117 |
| 5. Patrons mesoscalars de precipitació | 120 |
| 5.1 Introducció | 120 |
| 5.2 Estudis de variabilitat de la precipitació | 121 |
| 5.2.1 Anàlisi de components principals..... | 121 |
| 5.2.2 Anàlisi de components principals + clústers | 122 |
| 5.2.3 Clústers..... | 131 |
| 5.3 Estudi de la variabilitat usant classificacions sinòptiques..... | 132 |
| 5.3.1 Altres treballs | 141 |
| 5.4 Metodologia | 143 |
| 5.4.1 Anàlisi factorial..... | 144 |
| 5.5 Resultats..... | 150 |
| 5.5.1 Scree-test | 150 |
| 5.5.2 Patrons de precipitació per cada tipus de temps..... | 154 |
| 5.6 Discussió..... | 209 |
| 5.7 Consideracions finals..... | 211 |
| 6. Conclusions | 214 |
| Referències | 217 |

Índex de figures

| | |
|--|----|
| Figura 1: Mapa d'estacions i mapa pluviomètric del 1908 elaborat per Rafel Patxot (Font: Meteorologia Catalana, Patxot, 1908) | 24 |
| Figura 2: Mapa d'estacions i mapa pluviomètric el·laborat per Joaquim Febrer el 1930 dins l'Atlas pluviomètric de Catalunya (Font: Atlas Pluviomètric, Joaquim Febrer, 1939)..... | 25 |
| Figura 3: Mapa pluviomètric del Atlas Climàtic de Catalunya (Font: Atlas Climàtic de Catalunya 1961-1990, Meteocat, 2008)..... | 28 |
| Figura 4: Diagrama d'embut on es mostra esquemàticament com fer les simulacions des de les escales més grans a les escales més petites (Font: Universitat de Georgia: http://atsc.uga.edu/wxanal/help/forecastfunnel.htm)..... | 31 |
| Figura 5: Lamb treballant amb les seves classificacions sinòptiques de l'any 1972 (Font: Climatic Research Unit (CRU): http://www.cru.uea.ac.uk/about-cru/hubert-lamb) | 33 |
| Figura 6: Lund amb un súpercomputador de l'època calculant una de les primeres classificacions bjectives amb computadora (aprox. 1963). | 33 |
| Figura 7: Mapa en el qual es mostra la distribució dels climes mundials (Font: Carana, 2007) . | 40 |
| Figura 8: Mapa de distribució dels climes d'Espanya elaborat per AEMET (Font: Web del Instituto Geográfico Nacional: http://www.ign.es) | 41 |
| Figura 9: Classificació que utilitza el Servei Meteorològic de Catalunya elaborada per Javier Martín-Vide el 1992. | 42 |
| Figura 10: Dibuix de Josep Maria Jansà Guardiola que mostra el Mediterrani Occidental com un "microcosmos" dins el mar Mediterrani pel fet d'estar envoltat de muntanyes tant pel que fa a les continentals con les illes de Còrsega i Sardenya (Jansà, 1961). | 43 |
| Figura 11: Mapa hipsomètric de Catalunya a escala 1:500.000 (Font: ICGC). Pluviometria mitjana anual que apareix en l'Atlas Climàtic de Catalunya. | 43 |
| Figura 12: Configuració isobàrica bàsica dels 27 tipus sinòptics de JiC sobre la Península Ibèrica. (Les fletxes representen isòbares). (Font: Martín-Vide, 2016). | 52 |
| Figura 13: Composites dels 7 primers clústers obtinguts amb el mètode de Serra et al. (1999)57 | |
| Figura 14: Tipus obtinguts per Esteban aplicant el mètode de puntuacions màximes | 59 |
| Figura 15: Pressió en superfície en el mapa inferior i topografia de 500 hPa en el mapa superior dels PSO per el bimestre setembre-octubre | 63 |
| Figura 16: Estructura xarxa neuronal que s'usa en les SOM..... | 65 |
| Figura 17: Graella de nou punts dels valors de pressió en superfície, els quals s'usen per calcular els paràmetres de JiC. | 74 |

| | |
|--|-----|
| Figura 18: Graella de nou punts dels valors d'altura geopotencial a 500 hPa, els quals s'usen per calcular els paràmetres de JiC..... | 75 |
| Figura 19: En aquesta gràfica es veu clarament com ambdues classificacions presenten un comportament molt semblant. | 87 |
| Figura 20: La primera figura és el composite de la pressió en superfície, la segona és el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa, i l'última figura representa l'histograma de la distribució mensual del Tipus I..... | 96 |
| Figura 21: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus II..... | 97 |
| Figura 22: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus III..... | 99 |
| Figura 23: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus IV. | 100 |
| Figura 24: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus V. | 102 |
| Figura 25: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus VI. | 103 |
| Figura 26: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus VII. | 104 |
| Figura 27: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus VIII. | 105 |
| Figura 28: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus IX..... | 107 |
| Figura 29: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus X..... | 108 |
| Figura 30: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus XI..... | 109 |
| Figura 31: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus XII..... | 110 |
| Figura 32: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus XIII..... | 110 |
| Figura 33: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus XIV. | 111 |
| Figura 34: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus XV. | 112 |
| Figura 35: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus XVI. | 113 |
| Figura 36: A l'esquerra es mostren els loadings (patons espacials) de la segona component principal, tant per la precipitació anual com per l'estacional. A la dreta hi hauria els loadings de la tercera component principal, tant per la precipitació anual com per l'estacional. | 121 |
| Figura 37: Loadings (variabilitat espacial) de les cinc primeres components principals. | 123 |
| Figura 38: Regionalització de la precipitació obtinguda aplicant clústers als loadings obtinguts en el càlcul de components principals | 124 |
| Figura 39: Variabilitat espacial de la precipitació diària donada pels scores de la PCA..... | 125 |
| Figura 40: Amb aquesta metodologia s'intueixen 4 zones: Litoral Nord, Litoral Central, Litoral Sud i Ponent. | 126 |
| Figura 41: Variabilitat espacial de la precipitació diària donada pel mètode de les PCA | 126 |

| | |
|---|-----|
| Figura 42: Grups que es formen després d'aplicar l'anàlisi de clústers jeràrquic. En aquest cas el que es marca sobretot és el gradient Nord-Sud i Est-Oest per les precipitacions del Nord de Catalunya..... | 127 |
| Figura 43: Grups obtinguts a partir dels composites dels 11 grups amb els dies obtinguts a l'aplicar anàlisi de clústers als loadings obtinguts a l'aplicar T-mode..... | 128 |
| Figura 44: Àrees amb 12 zones afins de precipitació obtingudes a l'aplicar clústers als loadings obtinguts | 130 |
| Figura 45: La precipitació mitjana mensuals (esquerra). Els histogrames de freqüències mensuals (dreta). | 131 |
| Figura 46: Loadings de quatre components principals per cada un dels tipus de temps advecció del Nord i del Nord-Est..... | 133 |
| Figura 47: Loadings de quatre components principals per cada un dels tipus de temps advecció de l'Est i del Sud-Est | 133 |
| Figura 48: Loadings de quatre components principals per cada un dels tipus de temps advecció del Sud-Oest i de l'Oest. | 134 |
| Figura 49: Loadings de quatre components principals per cada un dels tipus de temps advecció del Nord-Oest i cicló..... | 134 |
| Figura 50: Distribució de l'error de la regressió multilínia normalitzada per la precipitació mensual observada. Percentatges menors impliquen millor funcionament..... | 137 |
| Figura 51: Percentatge de contribució dels tipus sinòptics a la precipitació mensual | 138 |
| Figura 52: Contribució de cada tipus de temps a la precipitació mensual. | 139 |
| Figura 53: Precipitació mitjana, % de contribució, intensitat i eficiència per cada tipus de temps | 140 |
| Figura 54: Mapa d'isopletes de l'índex de concentració de precipitació diària calculat per Martín-Vide | 141 |
| Figura 55: Correlation decay distance calculada per la Península Ibèrica: a) Per tot l'any. b) Per l'hivern c) Per la primavera d) Per la tardor e) Per l'estiu..... | 142 |
| Figura 56: Els EOF agafen les direccions de màxima variabilitat. | 145 |
| Figura 57: En aquesta figura es mostra que fer una rotació equival a rotar les direccions principals per expressar les dades de manera diferent, en el cas de Varimax es tracta d'aconseguir un sistema de referència en el qual les dades tinguin més sentit físic. | 148 |
| Figura 58: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus I. | 155 |
| Figura 59: Pel primer PC del Tipus I: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació | 155 |

| | |
|---|-----|
| Figura 60: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus I. | 156 |
| Figura 61: Pel segon PC del Tipus I: ídem que en la figura 59..... | 156 |
| Figura 62: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus I. | 157 |
| Figura 63: Pel tercer PC del Tipus I: ídem que en la figura 59..... | 157 |
| Figura 64: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus II. | 158 |
| Figura 65: Pel primer PC del Tipus II: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació | 158 |
| Figura 66: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus II. | 159 |
| Figura 67: Pel segon PC del Tipus II: ídem que en la figura 65..... | 159 |
| Figura 68: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus II. | 160 |
| Figura 69: Pel tercer PC del Tipus II: ídem que en la figura 65..... | 160 |
| Figura 70: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus III. | 161 |
| Figura 71: Pel primer PC del Tipus III: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació | 162 |
| Figura 72: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus III. | 162 |
| Figura 73: Pel segon PC del Tipus III: ídem que en la figura 71..... | 163 |
| Figura 74: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus III | 163 |
| Figura 75: Pel tercer PC del Tipus III: ídem que en la figura 71..... | 163 |
| Figura 76: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus IV. | 164 |
| Figura 77: Pel primer PC del Tipus IV: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació | 165 |
| Figura 78: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus IV. | 165 |
| Figura 79: Pel segon PC del Tipus IV: ídem que a la figura 77..... | 166 |

| | |
|--|-----|
| Figura 80: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus IV. | 166 |
| Figura 81: Pel tercer PC del Tipus IV: ídem que a la figura 77. | 167 |
| Figura 82: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del quart PC del Tipus IV. | 167 |
| Figura 83: Pel quart PC del Tipus IV: ídem que a la figura 77. | 167 |
| Figura 84: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus V. | 168 |
| Figura 85: Pel primer PC del Tipus V: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació | 168 |
| Figura 86: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segona PC del Tipus V. | 169 |
| Figura 87: Pel segon PC del Tipus V: ídem que a la figura 85..... | 169 |
| Figura 88: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus V. | 170 |
| Figura 89: Pel tercer PC del Tipus V: ídem que a la figura 85 | 170 |
| Figura 90: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del quart PC del Tipus V | 171 |
| Figura 91: Pel quart PC del Tipus V: ídem que a la figura 85 | 171 |
| Figura 92: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus VI. | 172 |
| Figura 93: Pel primer PC del Tipus VI: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació | 172 |
| Figura 94: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus VI. | 173 |
| Figura 95: Pel segon PC del Tipus VI: ídem que a la figura 93..... | 173 |
| Figura 96: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus VI | 174 |
| Figura 97: Pel tercer PC del Tipus VI: ídem que a la figura 93 | 174 |
| Figura 98: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del quart PC del Tipus VI. | 175 |
| Figura 99: Pel quart PC del Tipus VI: ídem que a la figura 93 | 175 |
| Figura 100: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus VII. | 176 |

| | |
|---|-----|
| Figura 101: Pel primer PC del Tipus VII: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació. | 176 |
| Figura 102: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus VII | 177 |
| Figura 103: Pel segon PC del Tipus VII: ídem que a la figura 101..... | 177 |
| Figura 104: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus VII. | 178 |
| Figura 105: Pel tercer PC del Tipus VII: ídem que a la figura 101. | 178 |
| Figura 106: Composite de la precipitació associada als scores del primer PC del Tipus VIII. ... | 179 |
| Figura 107: Pel primer PC del Tipus VIII: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació. | 179 |
| Figura 108: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus VIII. | 180 |
| Figura 109: Pel segon PC del Tipus VIII: ídem que en figura 107. | 180 |
| Figura 110: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus VIII. | 181 |
| Figura 111: Pel tercer PC del Tipus VIII: ídem que en figura 107. | 181 |
| Figura 112: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del quart PC del Tipus VIII. | 182 |
| Figura 113: Pel quart PC del Tipus VIII: ídem que en figura 107. | 182 |
| Figura 114: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus IX..... | 183 |
| Figura 115: Pel primer PC del Tipus IX: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació. | 183 |
| Figura 116: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus IX..... | 184 |
| Figura 117: Pel segon PC del Tipus IX: ídem que a la figura 115. | 184 |
| Figura 118: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus IX..... | 185 |
| Figura 119: Pel tercer PC del Tipus IX: ídem que a la figura 115..... | 185 |
| Figura 120: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus X..... | 186 |

| | |
|---|-----|
| Figura 121: Pel primer PC del Tipus X: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació. | 186 |
| Figura 122: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus X. | 187 |
| Figura 123: Pel segon PC del Tipus X: ídem que a la figura 121. | 187 |
| Figura 124: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus X. | 188 |
| Figura 125: Pel tercer PC del Tipus X: ídem que a la figura 121. | 188 |
| Figura 126: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus XI. | 189 |
| Figura 127: Pel primer PC del Tipus XI: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació. | 189 |
| Figura 128: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus XI. | 190 |
| Figura 129: Pel segon PC del Tipus XI: ídem que a la figura 127. | 190 |
| Figura 130: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus XI. | 191 |
| Figura 131: Pel tercer PC del Tipus XI: ídem que a la figura 127. | 191 |
| Figura 132: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus XII. | 192 |
| Figura 133: Pel primer PC del Tipus XII: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació. | 192 |
| Figura 134: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus XII. | 193 |
| Figura 135: Pel segon PC del Tipus XII: ídem que a la figura 133. | 193 |
| Figura 136: Composite de la precipitació associada als scores del tercer PC del Tipus XII. | 194 |
| Figura 137: Pel tercer PC del Tipus XII: ídem que a la figura 133. | 194 |
| Figura 138: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus XIII. | 195 |
| Figura 139: Pel primer PC del Tipus XIII: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació. | 195 |

| | |
|---|-----|
| Figura 140: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus XIII..... | 196 |
| Figura 141: Pel segon PC del Tipus XIII: ídem que a la figura 139..... | 196 |
| Figura 142: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus XIII..... | 197 |
| Figura 143: Pel tercer PC del Tipus XIII: ídem que a la figura 139..... | 197 |
| Figura 144: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus XIV..... | 198 |
| Figura 145: Pel primer PC del Tipus XIV: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació..... | 198 |
| Figura 146: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus XIV..... | 199 |
| Figura 147: Pel segon PC del Tipus XIV: ídem que a la figura 145..... | 199 |
| Figura 148: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus XIV..... | 200 |
| Figura 149: Pel tercer PC del Tipus XIV: ídem que a la figura 145..... | 200 |
| Figura 150: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del quart PC del Tipus XIV..... | 201 |
| Figura 151: Pel quart PC del Tipus XIV: ídem que a la figura 145..... | 201 |
| Figura 152: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del cinquè PC del Tipus XIV..... | 202 |
| Figura 153: Pel cinquè PC del Tipus XIV: ídem que a la figura 145..... | 202 |
| Figura 154: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del sisè PC del Tipus XIV..... | 202 |
| Figura 155: Pel sisè PC del Tipus XIV: ídem que a la figura 145..... | 203 |
| Figura 156: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus XV..... | 203 |
| Figura 157: Pel primer PC del Tipus XV: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació..... | 204 |
| Figura 158: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus XV..... | 204 |
| Figura 159: Pel segon PC del Tipus XV: ídem que a la figura 157..... | 205 |
| Figura 160: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus XV..... | 205 |

| | |
|--|-----|
| Figura 161: Pel tercer PC del Tipus XV: ídem que a la figura 157. | 206 |
| Figura 162: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del quart PC del Tipus XV. | 206 |
| Figura 163: Pel quart PC del Tipus XV: ídem que a la figura 157. | 206 |
| Figura 164: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del cinquè PC del Tipus XV. | 207 |
| Figura 165: Pel cinquè PC del Tipus XV: ídem que a la figura 157. | 207 |
| Figura 166: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del sisè PC del Tipus XV. | 208 |
| Figura 167: Pel sisè PC del Tipus XV: ídem que a la figura 157. | 208 |

Índex de taules

| | |
|---|-----|
| Taula 1: Relacions entre les classificacions automàtiques de JiC en superfície i a 500 hPa i la classificació manual de Martín-Vide. | 85 |
| Taula 2: Taula amb els percentatges de cada una de les classificacions sinòptiques, la manual de Martín-Vide i l'automàtica fruit de la combinació de JiC en superfície i a 500 hPa..... | 87 |
| Taula 3: Taula contingència on es mostra el nombre coincidències entre els tipus de la classificació automàtica (Eix X) i els tipus de la classificació manual (Eix Y). És el que s'anomena freqüències observades | 90 |
| Taula 4: Taula de contingència on es mostren les coincidències que caldria esperar entre els tipus automàtics (Eix X) i els tipus manuals (Eix Y) en el cas que les variables fossin independents. Serien les freqüències esperades..... | 91 |
| Taula 5: Coeficient de correlació de Pearson i nivell de significança. Nivells de significació menors que 0,01 indiquen que les dues mostres estan correlacionades amb una confiança del 99%... | 94 |
| Taula 6: Combinació de les situacions a 500hPa i en superfície que donen lloc al tipus I. | 95 |
| Taula 7: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus II. | 97 |
| Taula 8: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus III. | 98 |
| Taula 9: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus IV..... | 100 |
| Taula 10: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus V..... | 101 |
| Taula 11: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus VI..... | 102 |
| Taula 12: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus VII..... | 103 |
| Taula 13: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus VIII..... | 105 |
| Taula 14: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus IX..... | 106 |
| Taula 15: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus X..... | 107 |
| Taula 16: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus XI..... | 108 |
| Taula 17: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus XII..... | 109 |
| Taula 18: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus XIII..... | 110 |
| Taula 19: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus XIV..... | 111 |
| Taula 20: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus XV..... | 112 |
| Taula 21: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus XVI..... | 113 |
| Taula 22: En aquesta taula es mostra el número d'observacions per cada un dels tipus | 149 |
| Taula 23: En aquesta taula es mostra en la quarta columna, per cada tipus sinòptic, l'scree test que servirà per determinar el nombre de components principals que es retenen per tal d'explicar la variabilitat de precipitació (segona columna). En la tercera columna es mostra la | |

variància explicada per cada una de les components principals seleccionades i la suma total d'aquesta..... 154

Dedicada a la Meritxell Pagès Secall (1975-2014)

Agraïments

El primer agraïment que voldria fer és al planeta Terra i als espectacles que ens brinda cada dia amb el seu devenir natural. Aquest planeta que ens ho dóna tot i nosaltres encara li exigim més, amb una set que no té aturador. Tant de bo el plaer que dóna als científics quan es van descobrint els seus secrets, es transformi en respecte i estimació que li doni llarga vida.

Ja en un nivell més humà, vull agrair de tot cor la paciència i comprensió que ha sabut tenir la meva dona, l'Anna, en tot aquest procés que no ha estat mancat de molts alts i baixos tant físics com emocionals. Ella ha sabut estar al meu costat quan ho he necessitat i m'ha facilitat molt la feina a casa perquè jo tingués temps per dur a terme tantes hores d'estudi. Als meus fills: Martí i Ariadna que han sabut entendre'm quan necessitava concentració i que m'han ajudat a tenir un entorn de treball privilegiat.

Vull agrair als meus pares, Fernando i Neus, per haver cregut que era important donar formació als seus fills i haver-hi dedicat tants esforços. Per una banda la meva mare que sempre em va impulsar a descobrir nous horitzons, i per altra banda el meu pare amb qui vàrem construir un lloc màgic on ordenar les idees quan ja no saps per on sortir.

Vull agrair també al Salvador i la Sílvia (pares de la Txell) per fer-me un més de la seva família i permetre'm passar tantes tardes a casa seva escrivint la tesi. Fent-me costat quan les coses no em sortien o convidant-me a berenar quan veien que necessitava canviar una mica els aires.

Finalment, en l'àmbit acadèmic, voldria agrair al doctor Javier Martín-Vide la possibilitat d'escriure la tesi doctoral amb el seu equip de reconegut prestigi i la confiança que ha dipositat en mi que m'ha permès desenvolupar la tesi amb llibertat. També vull agrair de tot cor, la inestimable ajuda del Juan Carlos Peña, gràcies al qual he pogut afrontar la recta final de la tesi, en un moment difícil de la vida en que els ànims no estaven en el seu millor moment. Espero que sigui l'inici d'una fructífera col·laboració o almenys d'una bona amistat.

0. Introducció

La precipitació a la Mediterrània Occidental i concretament a Catalunya segueix uns patrons molt singulars i sovint difícils de determinar només tenint en compte la informació que prové dels patrons d'escala sinòptica.

Entre els principis del segle XX i la dècada dels 70, l'estudi de la meteorologia a escala sinòptica fou una eina molt útil de cara a l'estudi del temps present i també per fer pronòstics del temps. Durant la segona meitat del segle XX es van desenvolupar de manera notable les classificacions sinòptiques, que permetien reduir totes les configuracions d'isòbares i d'isohipses a un nombre relativament petit de situacions. Aquestes classificacions sinòptiques permeten treballar amb un nombre de casos més petit i d'aquesta manera poder fer deduccions de com els diferents patrons sinòptics es relacionen amb fenòmens meteorològics concrets que ens interessa estudiar. Així doncs, s'han anat creant classificacions i s'han relacionat amb pluja, nevades, temperatures, etc.

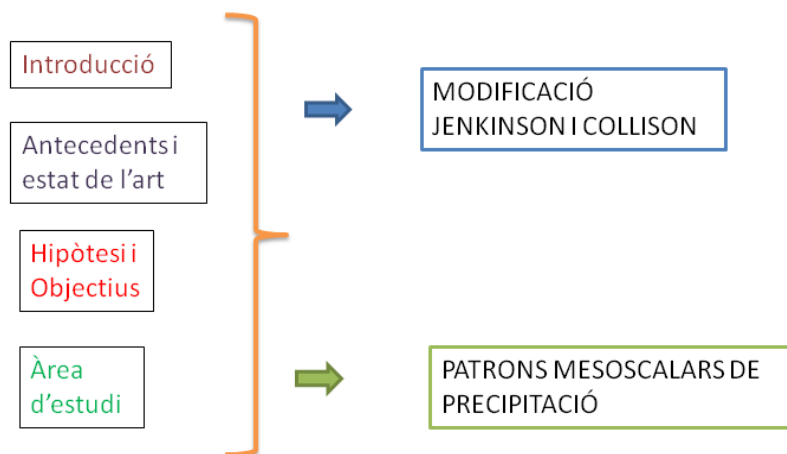
Aquests treballs han estat molt útils de cara a tenir una guia del que pot passar donada una situació sinòptica, però en aplicar-ho en zones d'orografia complexa pot donar sorpreses ja que un solc dèbil, que pot semblar inofensiu, interacciona amb l'orografia i l'escalfament diürn i pot donar lloc a precipitació intensa en zones de muntanya. La latitud també és un factor que influeix a l'hora de relacionar el temps present amb la situació sinòptica, així doncs una situació concreta de pressió en superfície en latituds altes sol donar un mateix tipus de temps ja que sol haver-hi correspondència entre el que passa en superfície i el que passa en altura. En canvi, en latituds mitjanes, aquest acoblament no sempre es dóna i una mateixa situació pot donar tipus de temps molt diferents (Martín-Vide, 2001).

La zona objecte d'aquest estudi, Catalunya, està situada per una banda en latituds mitjanes i a més a més presenta una orografia molt complexa amb la qual cosa, el problema que tenim és doble si volem relacionar l'escala sinòptica amb el tipus de temps present. D'una banda hem de tenir en compte que els nivells mitjans seran determinants i per altra banda la informació de l'escala sinòptica no ens proporcionarà un tipus de temps concret per tota la zona d'estudi sinó que apareixeran diversos tipus de temps per una mateixa situació sinòptica.

Aquesta tesi està composta per dues parts molt ben diferenciades que poden ser analitzades amb certa independència. La primera part es concentra en buscar una classificació sinòptica automàtica objectiva senzilla d'utilitzar i representativa dels tipus de temps que es donen a la Mediterrània Occidental. La segona part es basa en trobar els patrons mesoscalars de precipitació a Catalunya, associats a cada un dels tipus de temps que s'ha trobat a la primera part, aplicant bàsicament mètodes estadístics multivariants.

La tesi està ordenada en diferents apartats. En primer lloc, es troben els conceptes comuns a les dues parts principals d'aquest treball on es parla de manera general dels antecedents i de l'estat de la qüestió dels estudis de precipitació, de l'evolució de la climatologia sinòptica i dels diferents modes de downscaling. Una vegada feta aquesta pinzellada es plantegen les dues hipòtesis que es tractaran en aquesta tesi i els objectius a assolir. Seguidament, es presenten les característiques de l'àrea d'estudi, en aquest cas Catalunya, que serà comuna en les dues parts de la tesi.

Una vegada s'ha desenvolupat la part comuna, es duu a terme el desenvolupament de les dues hipòtesis en els dos capítols finals, que seran autoexplicatius, tindran la seves pròpies dades, els seus propis mètodes i les seves pròpies conclusions. En el primer es duu a terme el desenvolupament d'una classificació sinòptica objectiva i en el segon es fa un estudi dels patrons de precipitació mesoscalar associats a cada un dels tipus obtinguts en el capítol anterior.



1. Antecedents i estat de la qüestió

En aquest punt es presentaran els antecedents sobre els temes que seran objecte d'estudi en aquest tesi. En una primera part es parlarà sobre els antecedents dels estudis sobre precipitació a Catalunya i la seva variabilitat. Seguidament es farà un repàs sobre l'evolució de les classificacions sinòptiques objectives i subjectives, explicant les seves aplicacions sobretot en l'àmbit de la Península Ibèrica. Finalment, es farà un punt dedicat al downscaling, en el qual s'expliquen les diferents tècniques que s'utilitzen i es planteja l'estratègia que s'ha seguit en aquesta tesi, on es relaciona l'escala sinòptica amb la precipitació mesoscalar com un cas de downscaling estadístic.

1.1 Estudis de precipitació a Catalunya

El treball de la tesi doctoral versarà sobre precipitació i en aquest sentit no presentem cap originalitat. A Catalunya els treballs sobre precipitació tenen una llarga tradició: des de principis del segle XX s'ha estudiat força la precipitació tant per entendre el seu comportament al llarg del temps (climatologia) com els mecanismes que la generen (meteorologia).

Les primeres mesures de precipitació a Catalunya van començar a fer-se a la segona meitat del segle XVII, concretament fou el gener del 1786 quan el doctor Salvà Campillo començà a recollir de manera sistemàtica dades de precipitació al seu domicili del carrer Petritxol de Barcelona. Les motivacions per mesurar diferents paràmetres meteorològics per part del doctor Salvà Campillo no eren estrictament meteorològiques sinó que buscaven relacionar la salut amb el temps. Aquesta tasca la dugué a terme fins al 1827 i més endavant continuaren agafant dades de precipitació altres metges com el doctor Pere Vieta (1827-1854), el doctor Joan Ramon Campaner (1854-1876) o el matemàtic Llorenç Presas (1849-1874). Les observacions oficials, ja des de l'àmbit acadèmic, comencen el 1855 a la Universitat de Barcelona, a l'antiga seu del convent del Carme. L'any 1880 la seu de la Universitat es va traslladar a l'actual plaça de la Universitat des d'on es feien les mesures meteorològiques oficials per Barcelona fins l'any 1913 en que es creà l'observatori Fabra que ha esdevingut un centre de mesura de referència fins als nostres dies.

Pel que fa als treballs sobre precipitació, el 1895 es publiquen els treballs d'Angot sobre la precipitació a la Península Ibèrica fet amb molt poques estacions meteorològiques, però amb resultats força significatius.

El desenvolupament de l'estudi de la precipitació no es va produir però fins a finals del segle XIX i principis del XX. El 1895 hi va haver el primer intent de crear una Xarxa meteorològica de Catalunya i les Balears amb finalitats agrícoles, per part d'Hermenegild Gorria que fou director de la Granja-Escola Experimental de Barcelona. Aquesta xarxa va comptar amb 46 estacions, 40 de les quals estaven a Catalunya. Uns anys més tard, a partir del 1898, aquesta xarxa va passar a ser gestionada per Eduard Fontserè, encara dins l'àmbit de la Granja Experimental de Barcelona, el qual va donar un important impuls als estudis de meteorologia que es feien a la Granja Experimental. Tot i així, les dificultats econòmiques del moment, van frustrar totes les il·lusions i la xarxa no es va poder mantenir.

Sortosament però, un patrici i mecenes amb molta afició a la meteorologia i observador de Sant Feliu de Guíxols, en Rafel Patxot, va publicar al 1908 un treball molt complet sobre precipitació a Catalunya que millorava de manera evident el treball previ que havia fet Angot (Figura 1). Aquest treball va tenir continuïtat i gràcies als esforços d'en Rafel Patxot el 1910 ja existia una xarxa amb 63 estacions.

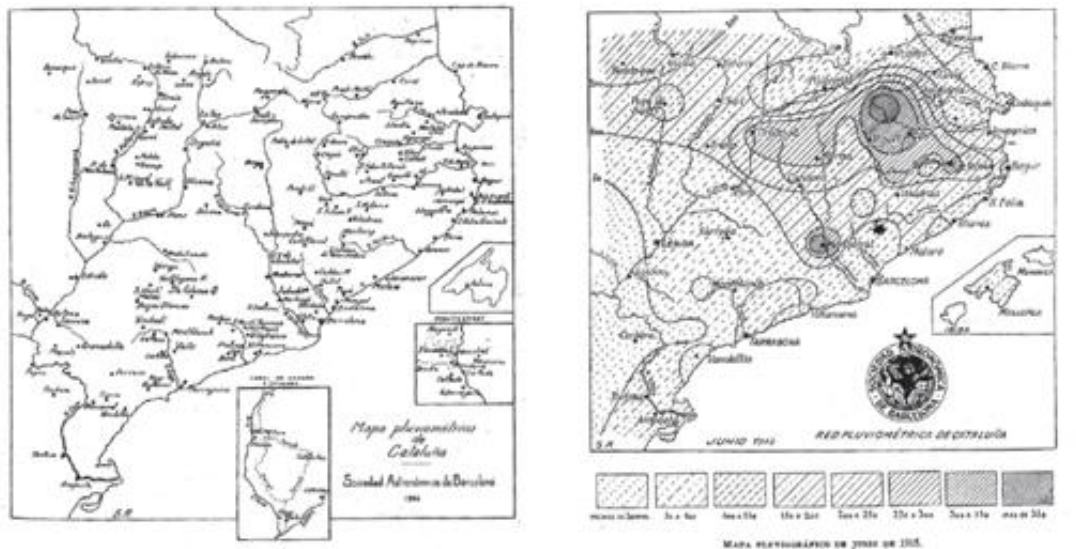


Figura 1: Mapa d'estacions i mapa pluviomètric del 1908 elaborat per Rafel Patxot (Font: Meteorologia Catalana, Patxot, 1908)

Paral·lelament al treball de Patxot, al País Valencià trobem a Manuel Iranzo Benedito que va crear el Servei Meteorològic de la Federació Agrària de Llevant, de caràcter eminentment agrícola. A part dels seus estudis en dinàmica atmosfèrica pioners en aquell temps, va dedicar també grans esforços en la creació d'una xarxa meteorològica al País Valencià.

El testimoni de Rafel Patxot, el va continuar Fontserè amb l'auspici de la Societat Astronòmica de Barcelona, que va comptar el 1921 amb una xarxa de 224 estacions que passarien a ser gestionades pel Servei Meteorològic de Catalunya recent creat aquell mateix any, sota la direcció de Fontserè. Dins el Servei Meteorològic de Catalunya, J. Febrer va realitzar nombrosos treballs en pluviometria que van culminar amb l'Atlas Pluviomètric de Catalunya, publicat el 1930 (Figura 2). A part dels estudis de distribució geogràfica de la precipitació també es varen fer estudis sobre intensitat de precipitació, gràcies a la invenció del pluviògraf per part de R. Jardí (1927) que va funcionar a l'Observatori Fabra de Barcelona del 1927 al 1981, així apareixen investigacions en aquesta línia de Campo (1936) i Vidal i Potau (1951). La guerra civil (1936 - 1939) però va truncar tots aquests estudis de precipitació i va suposar la clausura del Servei Meteorològic de Catalunya, perdent-se abundant informació dels treballs d'aquella època.

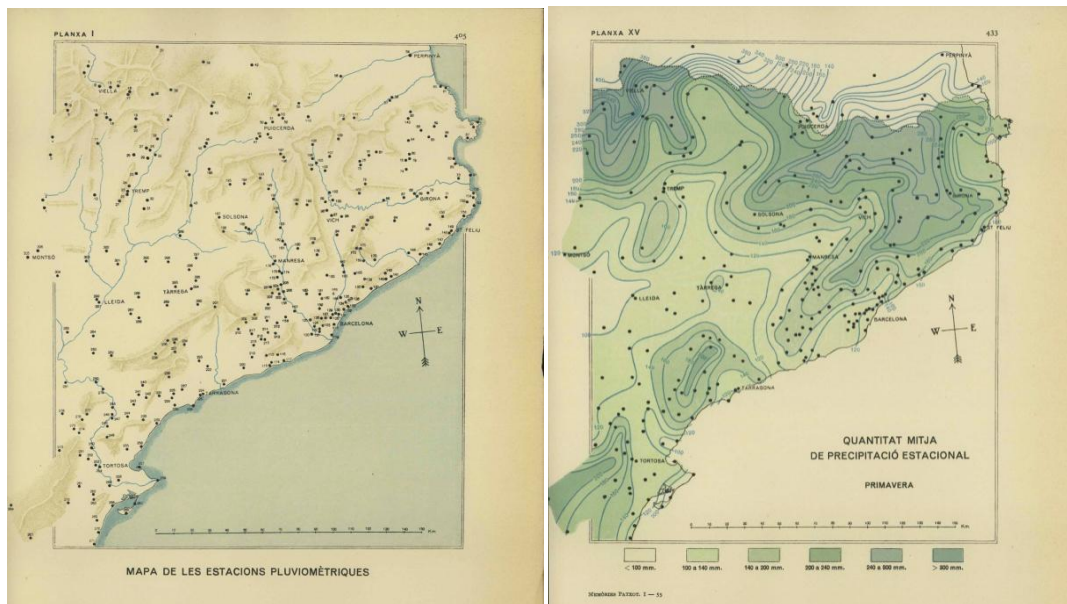


Figura 2: Mapa d'estacions i mapa pluviomètric el-laborat per Joaquim Febrer el 1930 dins l'Atlas pluviomètric de Catalunya (Font: Atlas Pluviomètric, Joaquim Febrer, 1939)

Durant el franquisme (1939 - 1975) el Instituto Nacional de Meteorología (INM) va crear també la seva xarxa d'observadors meteorològics creant algunes sèries força interessants que ens han arribat fins als nostres dies. La Confederació Hidrogràfica de l'Ebre i altres entitats com les empreses hidroelèctriques, també van crear sèries de precipitació sobretot a les conques i les capçaleres del riu. Els treballs en precipitació durant franquisme es van reduir a la publicació de resums climatològics o la continuació de la cartografia pluviomètrica de la Península.

Amb l'arribada de la democràcia es van tornar a intensificar els estudis de precipitació, principalment des de la Universitat de Barcelona i de la mà de Javier Martín-Vide que dona un caire nou a la investigació sobre la precipitació. En el seu treball de tesi de llicenciatura de l'any 1978 (publicat el 1980), Javier Martín-Vide estudia la persistència de la precipitació i la seva relació amb la quantitat de precipitació; aquest treball culminarà amb la publicació de la seva tesi doctoral a l'any 1983, en la qual se'ns mostra un detallat estudi sobre precipitació de la costa mediterrània de la Península, que inclou la primera relació entre situacions sinòptiques i precipitació feta a l'Estat espanyol. El doctor Martín-Vide s'ha dedicat al llarg de tota la carrera a l'estudi exhaustiu de la precipitació des de tots els seus angles: la precipitació de fang (Martín-Vide i Llasat, 1991), la caracterització de la precipitació diària (Martín-Vide, 1981), les precipitacions torrencials (Martín-Vide, 1989), la relació dels tipus sinòptics amb les precipitacions intenses (Martín-Vide et al, 2008a; Martín-Vide, 2002b), la irregularitat de la precipitació al Mediterrani (Martín-Vide, 1984). Es destaquen també els seus treballs on estudia les teleconnexions a gran escala i la seva relació amb la precipitació (Martín-Vide, 2002a; Martín-Vide i Fernández-Belmonte, 2001; Martín-Vide et al, 2008b; Martín-Vide i López-Bustins, 2006) sobretot amb l'oscilació del Mediterrani Occidental (WeMO) i la North Atlantic Oscillation (NAO). També ha escrit articles de referència sobre la gestió dels recursos hídrics davant del canvi climàtic en la precipitació (Martín-Vide, 1990; Martín-Vide i Plana, 2005).

L'arribada de la democràcia va suposar també a mitjans dels anys 90, la restauració del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), clausurat durant la guerra civil. El SMC, entre altres funcions, té la de construir i gestionar una xarxa d'estacions meteorològiques que cobreixi l'àmbit de Catalunya. Per tant, a la xarxa existent de pluviòmetres operats per altres entitats, cal afegir-hi la xarxa d'estacions que més recentment ha creat el SMC.

Des de la seva creació, el SMC va veure com a primordial dotar Catalunya d'una xarxa d'observació de qualitat i per aquest motiu es va dissenyar una xarxa densa d'estacions que

cobris tot Catalunya, i a aquesta xarxa cal afegir-hi els quatre radars meteorològics que cobreixen de manera exhaustiva tot Catalunya. La xarxa de radar ha permès molts estudis de precipitació, principalment sobre l'estimació de la precipitació a partir del radar (Bech et al., 2004) que va culminar amb l'aparició de l'eina de de previsió hidrometeorològica EHIMI (Bech et al., 2005) que converteix la senyal de radar en precipitació, desenvolupada conjuntament amb el grup de recerca en hidrometeorologia de la Universitat Politècnica de Catalunya (Sánchez-Diezma et al., 2002). Posteriorment, en Joan Bech ja desde la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona continua la seva tasca de recerca en radar i precipitació en general i a la vegada dirigint tesis doctorals molt relacionades amb la precipitació entre les que destaca la de la Laura Trapero (2014) en la qual s'analitzen diferents episodis de precipitació al Pirineu amb models numèrics mesoscalars.

Des del SMC es va finançar l'any 1997 l'edició de l'Atlas Climàtic de Catalunya (Clavero et al, 1996), elaborat per científics de diferents entitats. Per fer el mapa es van utilitzar estacions amb sèries de dades de més de 20 anys (entre el període que va del 1940 fins al 1980) sense forats considerables. En total, es van tenir en compte, dades de 300 estacions. Per fer els mapes de precipitació es van construir les isopletes de manera manual combinant la informació dels pluviòmetres i l'experiència dels científics que van formar part en l'edició de l'Atlas Climàtic (Figura 3). Per altra banda l'any 2001, el Departament de Geografia i el Departament de Biologia Animal, Vegetal i Ecologia de la Universitat de Barcelona va crear un Atlas Climàtic de Catalunya, que millora la versió anterior pel fet de ser més acurada que l'edició anterior i està disponible amb format digital. El nou Atlas conté més de 70 mapes de temperatures mitjanes, mitjanes de les màximes i de les mínimes, pluviometria i radiació solar mensuals i anuals interpolades en una malla de 180 x 180 metres. Per l'obtenció d'aquest atlas s'han usat tècniques GIS per fer les interpolacions tenint en compte l'alçada del punt, la distància al mar i altres paràmetres geogràfics (Ninyerola et al, 2000).

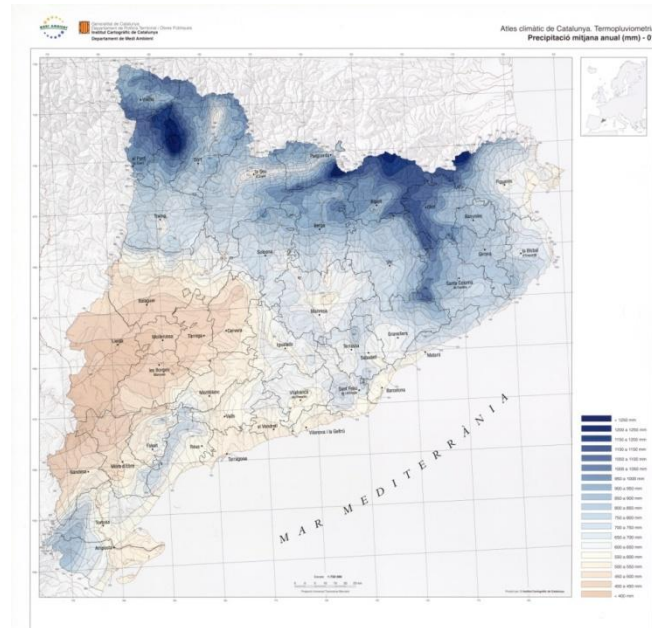


Figura 3: Mapa pluviomètric del Atlas Climàtic de Catalunya (Font: Atlas Climàtic de Catalunya 1961-1990, Meteocat, 2008)

En l'àmbit del Departament d'Astronomia i Meteorologia de la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona es destaquen els treballs en precipitació fets per Carme Llasat dedicats sobretot a precipitacions intenses (Llasat, 1987). La mateixa Carme Llasat lidera el Grup d'Anàlisi de Situacions Meteorològiques Adverses (GAMA) que des de finals dels 90 fins ara, es dediquen sobretot a la precipitació intensa associada a gotes fredes, a la convecció profunda i en els efectes de les precipitacions intenses sobre el territori, sobretot en les inundacions i el seu impacte social.

Continuant dins el Departament d'Astronomia i Meteorologia de la Universitat de Barcelona es destaquen també els treballs d'Àngel Redaño i el seus col·laboradors dedicats sobretot a les precipitacions intenses i la seva anàlisi a partir de les dades dels pluviòmetres (Redaño, 1990; Redaño, 1993; Casas, 2009; Pérez-Zanón et al, 2016). Al mateix departament, en Bernat Codina va treballar en la millora de la precipitació donada pels models meteorològics mesoscalars, tant a partir de l'assimilació de dades (Miró, 2003; Bebbington, 2007) com en l'estudi de les parametritzacions (Mercader, 2009).

Un altre grup molt actiu en treballs sobre precipitació, força vinculat també amb el Departament d'Astronomia i Meteorologia de la UB, és el format per Xavier Lana, Carina Serra i August Burgueño entre d'altres, la majoria pertanyents a al Departament de Física i Enginyeria Nuclear de la Universitat Politècnica de Catalunya. Els treballs en precipitació

d'aquest grup són molt variats: han treballat amb precipitacions extremes, seques, variabilitat temporal i espacial sempre des del vessant estadístic i climatològic (Fernández-Mills et al,1994; Serra et al, 1999; Lana et al, 2004; Lana et al, 2009).

També, a la UPC es destaquen els treballs en el camp de la meteorologia duts a terme per Juan José Egozcue, José Gibergans i Maria Isabel Ortego, sovint fets conjuntament amb el grup de Carme Llasat, treballant sobretot en l'estructura probabilística de les precipitació diària (Egozcue, 2001; Ortego et al., 2010; Gibergans, 2011; Ortego et al., 2014).

Els principals estudis de precipitació de la mediterrània occidental, s'han dut a terme per part del Grup de Meteorologia de la Universitat de les Illes Balears, amb investigadors com R. Romero, V. Homar i C. Ramis que des de finals dels 90 fins ara, han dedicat gran part de la seva activitat investigadora a l'estudi de la precipitació des de tots els seus angles. Han estudiat la precipitació tant des de l'òptica climàtica, estudiant la seva distribució espacial en la zona de la Mediterrània occidental (Romero et al., 1999a,b), han usat classificacions sinòptiques per caracteritzar els fenòmens de precipitació intensa, però també han fet treballs valuosos en l'estudi de la precipitació a partir de models meteorològics mesoscalars, treballant en la caracterització de la dinàmica de les baixes mediterrànies (Romero et al., 1998), (Ramis et al., 1999), (Ramis et al., 2013), (Homar et al., 1999).

En el camp de la variabilitat de la precipitació, que és el tema central del treball que ara es presenta, a la Península Ibèrica s'han aplicat diferents metodologies per afrontar el problema tot i que generalment no s'apliquen a precipitació diària. Entre aquestes destaquem els treballs de Martín-Vide que aplica cadenes de Markov per estudiar l'estructura diària de la precipitació donant patrons espacials de persistència (Martín-Vide, 1981). Tenim també els treballs de De Luis que apliquen la tècnica no paramètrica de Crámer-von Mises a diferents paràmetres, bàsicament la precipitació anual i al Índex de Concentració de Precipitació (PCI), per estudiar la variabilitat espacial de la precipitació anual de la comunitat valenciana (De Luis et al., 1998). L'índex PCI també va ser usat posteriorment per Martín-Vide (2004) per estudiar la distribució de la precipitació a la Península Ibèrica. Més recentment, Martín-Vide (2012) ha aplicat aquest índex per a l'estudi de la variabilitat de la precipitació a partir de l'aplicació Anàlisi de Components Principals (PCA) a l'índex PCI. Finalment, un treball molt recent de Meseguer-Ruiz et al. (2016) estudia la dimensió fractal de la precipitació i la relaciona amb diferents índex de variabilitat per Espanya i les Illes Balears.

Pel que fa al ús de les PCA o les Funcions Ortogonals Empíriques (EOF) tenim a Rodríguez-Puebla et al. (1998) que usen les PCA i les EOF per estudiar la variabilitat de la precipitació a la Península Ibèrica. En la mateixa línia se situen els treballs d'Esteban-Parra (1998) que usen també PCA i EOF per estudiar la precipitació a Espanya per al període entre 1890 i 1992. Altres com Fernández-Mills et al. (1994), Fernández-Mills (1995) i Romero et al. (1998), van combinar la tècnica de les PCA amb la tècnica de clusters, per determinar la variabilitat espacial de la precipitació diària.

El grup de recerca format al voltant de Xavier Lana calcula un índex d'irregularitat temporal, per tal de donar un mapa sobre la variabilitat de la precipitació diària entre 1950 i el 2000 a la zona de Catalunya (Lana et al, 2004). Més endavant, el 2009 va fer un treball de revisió de les anàlisi estadístiques de la precipitació mensual i diària a Catalunya, on es fa un repàs als diferents estudis sobre la precipitació i la seva variabilitat (Lana et al, 2009).

Interessant també és la tècnica aplicada per Morata et al (2006) en el qual s'estudia la variabilitat de la precipitació mitjançant wavelets i xarxes neuronals. En aquesta tècnica, per una banda les wavelets s'usen per separar precipitacions pertanyents a escales temporals diferents i posteriorment aquestes precipitacions s'agrupen espacialment usant una xarxa neuronal. Aquesta tècnica es coneix com l'aproximació dels Self-Organizing Maps (SOM).

1.2 Classificacions sinòptiques

La invenció del telègraf a mitjans del segle XIX va propiciar la disseminació de dades meteorològiques i la creació dels primers mapes isobàrics. Els científics de l'època varen veure que hi havia certs patrons que es repetien i que es podia establir una relació entre els mapes de pressió en superfície i el tipus de temps. El primer en treballar els mapes del temps fou Köppen el 1870, però foren Teisserenc de Bort als anys vuitanta del segle XIX i van Bebbler als anys 90 els que van posar els ciments de la climatologia sinòptica. Però el seu màxim impulsor fou Arnold Court els anys 50 del segle XX desde la Universitat de Berkley.

La importància de la meteorologia sinòptica encara es fa patent als nostres dies, malgrat que els grans avenços computacionals ens permeten fer simulacions a escales de pocs quilòmetres. Tenir a l'abast una bona anàlisi sinòptica és molt important de cara a la previsió meteorològica del temps, ja que ens dóna una primera visió dels temps que està fent. De fet, per fer un bon

pronòstic del temps, es recomana que partir de l'escala sinòptica es vagin fent pronòstics afinant l'escala fins arribar a l'escala local (el que es coneix com el diagrama de l'embut) (Figura 4).

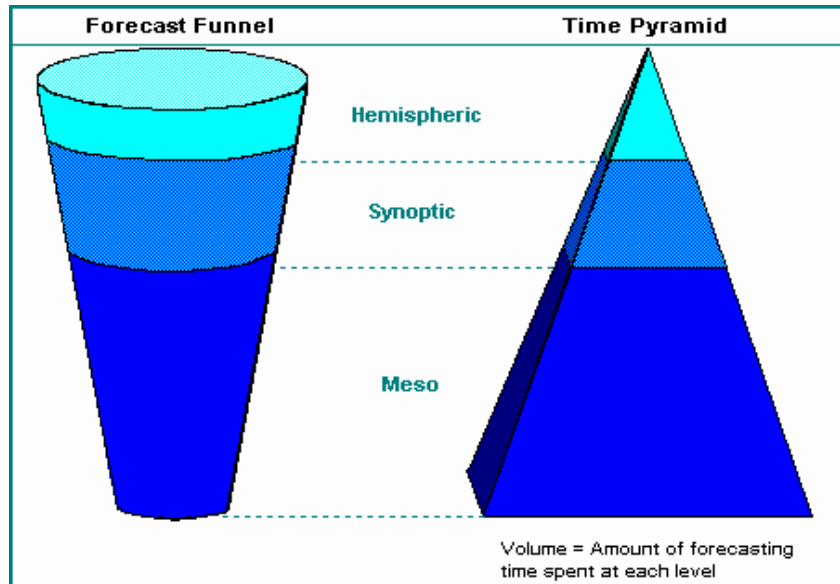


Figura 4: Diagrama d'embut on es mostra esquemàticament com fer les simulacions des de les escales més grans a les escales més petites (Font: Unversitat de Georgia: <http://atsc.uga.edu/wxanal/help/forecastfunnel.htm>)

Prova de la importància de les classificacions sinòptiques és l'acció COST que es va dur a terme entre el 2005 i el 2010, anomenada COST-733CAT, en la qual es va fer un estudi detallat sobre classificacions sinòptiques (Philipp et al, 2010) i que representa un document de referència en el tema (Tveito et al, 2016).

Els estudis climatològics d'una determinada regió a partir de l'escala sinòptica es basen en tres tècniques:

- "Tipus de temps". Es tracta d'obtenir patrons homogenis a partir d'una combinació de variables de superfície (temperatura, precipitació, vent, núvulositat, etc.), de manera que siguin representatius del temps que està fent. Els desavantatges principals d'aquesta tècnica són que està molt lligada al lloc on s'aplica i presenta molta complexitat.
- "Classificacions sinòptiques". Es basa en els fluxos en superfície i en altura (a 500 hPa) i en saber si el caràcter del flux es ciclònic o anticiclònic. Aquestes característiques es dedueixen dels mapes de pressió en superfície i d'altura geopotencial a 500 hPa.

- Un sistema entremig del tipus de temps i les classificacions sinòptiques. Molt lligat amb les teories de Pedelaborde, calcula les curvatures dels fluxos i les direccions però també té en compte l'advecció de la massa d'aire i les seves característiques.

L'última tècnica és poc utilitzada i només s'ha nombrat de manera informativa. Per tant, les tècniques més usades són les classificacions sinòptiques i els tipus de temps.

Una segona distinció que caldria fer entre les diferents classificacions sinòptiques seria el de diferenciar-les segons el grau d'interactivitat que requereixen. Així es diferenciarà entre les classificacions subjectives i objectives:

- Classificacions sinòptiques subjectives. Aquestes classificacions es duen a terme a partir de l'experiència d'haver observat molts mapes sinòptics i veure els patrons comuns que es donen. A partir dels patrons comuns observats es fan agrupaments de mapes sinòptics i així s'obté la classificació sinòptica. El més complicat d'aquestes classificacions subjectives es escollir els criteris a partir dels quals es considera que un determinat dia sinòptic pertany a un patró o un altre (Clavero i Raso, 1979; Martín-Vide, 1987).
- Classificacions sinòptiques objectives. L'aparició d'aquestes classificacions va molt lligada amb el desenvolupament dels computadors i de la seva capacitat de càlcul ja que són mètodes que requereixen molts càlculs. Entre aquests mètodes es diferencia entre els que es basen en l'aplicació de mètodes estadístics i multivariants (p.e. Clústers, Anàlisi de Components Principals) i els mètodes que es basen en l'ús de certs llistats en diferents paràmetres sinòptics per diferenciar els diferents tipus (p.e. Jenkinson i Collison). Tot i que els mètodes automàtics s'anomenem objectius, aquesta objectivitat no sempre és total ja que el fet d'haver d'elegir certs factors (criteris) o grups implica sempre subjectivitat.

1.2.1. Evolució històrica de les classificacions sinòptiques

Un primer intent de fer un catàleg de classificacions sinòptiques subjectives ens apareix a Alemanya als anys 40 de la mà de F. Baur i està focalitzat sobre l'Europa Central (Baur, 1944). Posteriorment el 1952 aquesta classificació és perfeccionada per Hess and Brezowsky (1952). Més endavant, Pedelaborde (1957) va crear una classificació subjectiva dels tipus de temps per

la zona de la conca de París. Uns anys més tard, Lamb (1972) dissenya una classificació subjectiva per les Illes Britàniques.



Figura 5: Lamb treballant amb les seves classificacions sinòptiques de l'any 1972 (Font: Climatic Research Unit (CRU): <http://www.cru.uea.ac.uk/about-cru/hubert-lamb>)

Pel que fa a les classificacions objectives, una de les primeres que va aparèixer va ser la de Lund (1963) que es basava en el càlcul de correlacions i va ser formulada per córrer en un dels primers súpercomputadors de l'època (Figura 6). Més endavant, Jenkinson i Collison (1977), van crear una classificació objectiva basada en l'ús de llindars per discriminar els diferents casos. La classificació de Jenkinson i Collison (d'ara en endavant JiC) és una objectivització de la classificació subjectiva de Lamb de l'any 1972. Molt més tard, l'any 2007 va aparèixer la objectivització del mètode de Hess-Brezowsky (James, 2007).



Figura 6: Lund amb un súpercomputador de l'època calculant una de les primeres classificacions objectives amb computadora (aprox. 1963).

Amb l'evolució de la informàtica, cada vegada es podien fer càlculs més complexos, i es van poder aplicar tècniques estadístiques més sofisticades com l'anàlisi de clusters, o les PCA i les EOF. Von Storch i Zwiers (1999), van aplicar PCA per obtenir una classificació sinòptica, i uns anys abans Yarnal (1993) va aplicar clústers, al igual que ho farien uns anys més tard Barry i Carleton (2001).

Una altra tècnica recent és el mètode dels Processos Sinòptics Objectius (PSO) (Fernández et al, 2003; Soriano et al, 2006), tècnica semblant a la d'anàlisi de clusters en tant que relaciona grups semblants.

Recentment també s'estan utilitzant les xarxes neuronals per determinar classificacions sinòptiques (Michaelides, 2001; Michaelides et al, 2007; Tymvios et al, 2007). En particular usen l'algoritme Self Organizing Maps (SOM) ideat per Kohonen (1990). Aquest mètode deixa que les dades s'organitzin automàticament a partir de la competència de les neurones de la xarxa neuronal que van canviant segons el conjunt de dades d'entrada.

1.2.2. Estudis sinòptics dins l'àmbit de le Península Ibèrica

Dins l'àmbit de la Península Ibèrica, la primera classificació no fou una classificació sinòptica pròpiament dita sinó una classificació de tipus de temps i es va dur a terme als anys 40 pel científic alemany Zimmerschied (1949) fruit de la bona relació que havia tingut el règim de Franco amb el nazisme alemany. No cal dir que fou una classificació totalment subjectiva.

Més endavant, el 1973, Albentosa, en la seva tesi ens presenta una classificació subjectiva restringida a l'àmbit de Catalunya (Albentosa, 1973) i més tard es presenta la també classificació sinòptica subjectiva de Clavero i Raso (1979) que intentava donar certs patrons sinòptics vàlids per la Península i les Balears. Seguint en la línia de les classificacions subjectives destaquem la que es va presentar l'any 1987 en la tesi de Javier Martín-Vide per la Península i les Balears (Martín-Vide, 1987). D'aquesta època també és la classificació sinòptica subjectiva de Font Tullot (1983). Finalment, Capel-Molina (2000) proposa una classificació sinòptica subjectiva per a la Península Ibèrica basant-se en els mapes de pressió en superfície i els mapes d'altura geopotencial a 500 mb.

Pel que fa a les classificacions sinòptiques objectives a la Península Ibèrica, aquestes han estat fetes d'una banda mitjançant tècniques estadístiques, com l'anàlisi de clústers, les PCA i per altra banda, mitjançant l'aplicació de tècniques basades en llinars com el mètode de JiC.

Pel que fa als mètodes multivariants, en general s'aplica una combinació de components principals i clústers, entre les que destaquem la de Romero et al. (1999c), que fa una classificació de patrons sinòptics i després estudia els patrons que tenen relació amb precipitacions importants a la zona mediterrània usant topografies de 950 hPa i 500 hPa.

Un altre exemple d'aplicació de clusters és el treball de Serra et al (1999) en el qual es troben diferents tipus per Catalunya que posteriorment es relacionen amb la temperatura mínima. Per altra banda, Pere Esteban et al. (2006) també usa la combinació d'aquestes dues tècniques multivariants (PCA i clusters), desenvolupant una classificació sinòptica per l'Oest d'Europa usant les dades de pressió en superfície i d'altura geopotencial a 500 hPa. Les classificacions objectives basades en tècniques multivariants són les més usades avui en dia ja que permeten treballar amb tot tipus de dades tant en superfície com en altura. Malgrat això, aquestes tècniques requereixen un cert grau de subjectivitat en el fet d'escollir diferents paràmetres (Grimalt et al., 2013).

Per altra banda i en l'àmbit de les classificacions amb llinars, Spellman va aplicar JiC a l'àmbit de la Península Ibèrica (Spellman, 2000).

1.3 Downscaling

Tot i que l'escala sinòptica ens fa un retrat molt útil de la situació actual i ens permet una molt bona primera aproximació de l'estat del temps, es queda força curta a l'hora de representar fenòmens locals, de manera que donada una situació sinòptica concreta els tipus de temps puguin arribar a ser molt diferents. En l'escala sinòptica ens perdem molts detalls, per exemple la interacció dels fluxos amb l'orografia o bé els processos que tenen lloc a escales més petites i que en latituds com les nostres, tenen una importància cabdal (Wilby i Wigley, 1997).

Així doncs, serà necessari fer un downscaling de l'escala sinòptica per tal de poder entendre els mecanismes reals que generen un determinat tipus de temps a escala regional, donada una situació sinòptica concreta (Benestad et al, 2008). Les tècniques per fer downscaling a partir d'un model de circulació general són nombroses, i es classifiquen en dos tipus ben diferenciats (Hewitson i Crane, 1996):

- **Downscaling dinàmic o basat en models.** Aquesta tècnica es basa en l'ús de models d'escala regional o models mesoscalars per fer el downscaling. El punt fort d'aquest mètode és la possibilitat de tenir valors de diferents variables meteorològiques a alta

resolució temporal i espacial consistents físicament (ja que són solucions de models meteorològics). A part del problema computacional cada vegada menor degut a l'augment de la potència de càlcul dels ordinadors, el principal problema serien les limitacions de representativitat que té el propi model regional que juntament amb els errors d'inicialització fa que el downscaling tingui un cert error en termes absoluts.

- **Downscaling estadístic o empíric.** L'objectiu és relacionar els paràmetres de la circulació de gran escala amb les variables locals. Aquestes relacions es calculen a partir de les observacions mitjançant eines matemàtiques i estadístiques. Un dels principals avantatges d'aquest mètode és la eficiència computacional. Un desavantatge de la tècnica seria que no ens permet fer downscaling en un domini de manera "continua", sinó que només ho fa per punts concrets. Degut a la poca potència de càlcul necessària i a la poca complexitat que presenta, aquest mètode ha estat el que fins ara s'hi han aplicat més esforços.

Exemples d'aplicació de tècniques estadístiques de downscaling es troben en els treballs de Losleben et al. (2000) en els quals s'aplica JiC per tal de relacionar els patrons sinòptics amb la química de la precipitació; altres exemples: la relació entre patrons sinòptics amb la mortalitat diària (Kassomenos et al 2001), la relació entre les situacions sinòptiques amb el vent (Soriano et al, 2006), amb l'anomalia de les temperatures mínimes (Serra et al., 1999), a estudis sobre pics de vent diaris a Espanya i Portugal (Azorin-Molina et al, 2016), amb les mitjanes mensuals de les temperatures màximes i mínimes per la Península Ibèrica (Peña-Angulo et al., 2016) o fins i tot amb la microfísica de la precipitació a la zona de Lleó (Fernández-Raga et al, 2016)

Tot i això, la majoria d'aplicacions de les tècniques de downscaling van dirigides a la precipitació, entre aquestes es destaca un treball on s'aplica JiC per estudiar les precipitacions intenses a la franja litoral catalana i les balears (Llop i Alomar, 2012). També aplicada a precipitació però aplicant una tècnica molt diferent, Romero et al. (1999c) fa una classificació sinòptica aplicant el mètode de les PCA que posteriorment relaciona amb les pluges de la zona de llevant. Continuant amb l'anàlisi multivariant, més recentment Peña et al. (2015) ha treballat les situacions sinòptiques associades a episodis de precipitacions severes a Barcelona. Goodess i Palutikov (1998) usen JiC per fer downscaling de la precipitació a la zona del Sud-Est d'Espanya. En l'àmbit de la precipitació a la Península Ibèrica, Trigo i Dacamara (2000) van usar JiC per estudiar el règim de precipitació a Portugal. Nuissier (2011) va usar downscaling estadístic per les precipitacions extremes del Sud de França.

El downscaling estadístic no només fa referència a la relació directa amb variables meteorològiques concretes, sinó que també s'usa per relacionar els patrons sinòptics amb tipus de temps regional, com varen fer Conway i Jones (1998).

2. Hipòtesis i objectius

Hipòtesi

Diferents estudis han determinat la naturalesa mesoscalar de les precipitacions a l'àrea Mediterrània, però en general sempre s'ha treballat amb la precipitació sense separar-la en diferents tipus sinòptics. Normalment, donada una situació sinòptica es molt difícil tenir un episodi de precipitació que cobreixi tot Catalunya a la vegada, ja que, la seva situació latitudinal, la posició dins la Península Ibèrica i la mateixa orografia impliquen molta irregularitat en la seva distribució espacial. De fet, el que s'observa és que sovint, donada una mateixa situació sinòptica, es poden presentar patrons molt diferents. Així doncs, la hipòtesi principal d'aquesta tesi doctoral es la possibilitat d'obtenir una classificació sinòptica automàtica que discrimini bé la precipitació de la zona Mediterrània i que permeti estudiar de manera satisfactòria els patrons mesoscalars de precipitació per cada un dels tipus sinòptics.

Objectius generals

1. Un primer objectiu d'aquesta tesi és generar una classificació sinòptica que sigui totalment objectiva, senzilla d'aplicar i que estigui ben correlacionada amb els tipus de temps que es donen a les latituds mitjanes, sobretot en l'àmbit de la Mediterrània occidental.
2. Un segon objectiu és trobar els patrons mesoscalars de precipitació a Catalunya associats a cada un dels tipus trobats en la classificació sinòptica del punt anterior. Es podria dir que es pretén fer un downscaling estadístic, relacionant els patrons sinòptics amb precipitació mesoscalar.

Objectius específics

1. Construir una classificació objectiva que discrimini bé la precipitació per la zona de la Mediterrània Occidental i sigui senzilla d'utilitzar. Aquesta classificació ha de contenir, d'una banda, la pressió en superfície per conèixer la naturalesa dels fluxos i per altra

banda, la topografia a 500 hPa per tenir en compte situacions d'inestabilitat en altura que no es reflecteix en els mapes de pressió en superfície.

2. Buscar una correspondència entre els tipus automàtics d'aquesta classificació i els d'una classificació manual per la Península Ibèrica sencilla, per tal de tenir una correspondència directa entre els tipus de temps i la classificació sinòptica automàtica.
3. Redefinir els tipus automàtics obtinguts a partir de la classificació manual per tenir els casos sinòptics resumits en el mínim nombre de patrons.
4. Obtenir un conjunt prou llarg de sèries de precipitació a Catalunya, de qualitat, per poder aplicar EOF amb rigor. És important que hi hagi prou densitat de dades perquè s'hi representin els patrons mesoscalars.
5. Calcular per cada patró sinòptic obtingut la variabilitat de la precipitació diària per la zona de Catalunya aplicant EOF. Aquests patrons representaran la variabilitat mesoscalar de la precipitació.
6. A partir de l'anàlisi de les EOF es pretén obtenir uns patrons de precipitació que resumeixin les característiques de la precipitació per cada tipus de temps. Aquests patrons de precipitació seran mesoscalars i representatius de cada un dels tipus sinòptics ja que són els de màxima variabilitat.

3. Àrea d'estudi i dades usades

3.1 Àrea d'estudi

El clima d'una zona està influït per molts aspectes geogràfics. La influència de la latitud, l'altitud, la continentalitat o l'orografia i factors aerològics sobre el clima és important, tant a nivell local com a nivell planetari. Catalunya és un exemple molt clar de la confluència de tots aquests fenòmens i tot plegat es dóna en distàncies molt petites.

Tota aquesta variabilitat no es podria explicar sense tenir en compte la posició geogràfica de Catalunya. Catalunya es troba a la Península Ibèrica, la qual està entre els paral·lels de latitud 35 i 43. En aquestes latituds es dóna la transició del clima subtropical al temperat amb influències de l'Atlàntic i del Mediterrani (Figura 7). Aquest fet implica que tot i que els sistemes predominants són els corresponents a la zona temperada, sovint es donen fenòmens de naturalesa tropical i subtropical, degut a que l'anticicló de les Açores sovint desvia els corrents polars més cap al Nord.

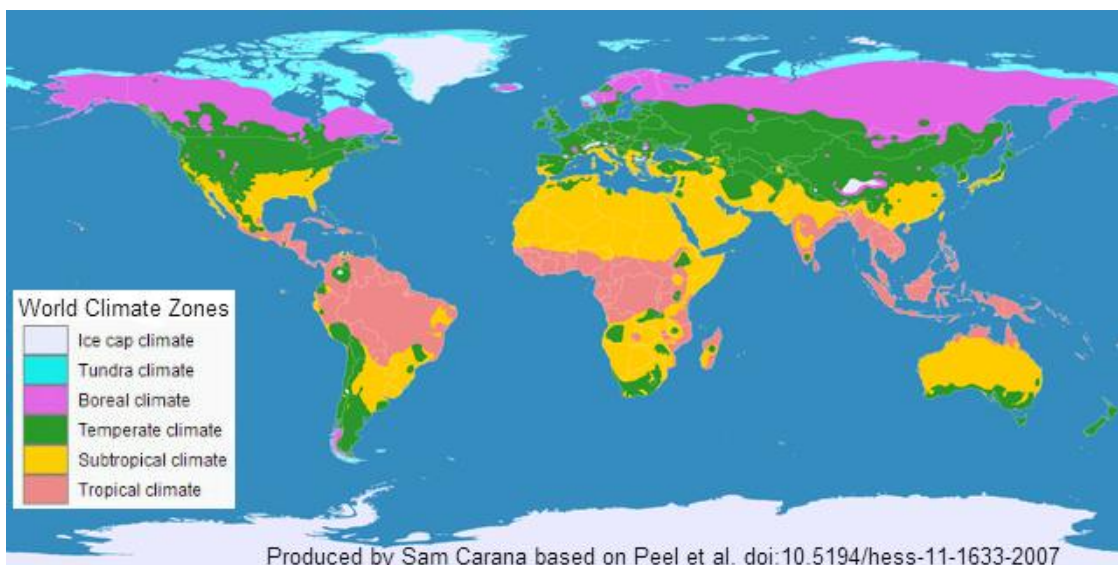


Figura 7: Mapa en el qual es mostra la distribució dels climes mundials (Font: Carana, 2007)

Baixant a una escala més regional, podem observar que Catalunya està al Nord-Est de la Península Ibèrica (Figura 8). La major part de masses d'aire que afecten Catalunya tenen el seu origen en l'Oceà Atlàntic i per arribar a Catalunya han de remuntar la Meseta i altres sistemes muntanyosos peninsulars, el que suposa un desgast molt gran pel que fa al contingut

d'humitat de les masses d'aire (efecte Föhn), la qual cosa fa que la geografia catalana difícilment rebi la influència humida atlàntica excepte en el cas de la Val d'Aran, que per la seva localització, a la cara Nord del Pirineu, rep aquesta influència de manera plena.



Figura 8: Mapa de distribució dels climes d'Espanya elaborat per AEMET (Font: Web del Instituto Geográfico Nacional: <http://www.ign.es>)

A part de la influència de la Meseta sobre la circulació general, Catalunya té tres relleus molt importants que en determinen la seva climatologia: d'una banda la serralada dels Pirineus i de l'altra les serralades Litoral i Prelitoral. Pel que fa als Pirineus, aquests sovint impedeixen que les masses d'aire polars puguin travessar la carena o ho facin amb dificultats, el que provoca que les entrades d'aire fred siguin menys intenses que a França. Pel que fa a les serralades Litoral i Prelitoral, fan una separació clara entre la regió marítima i la zona interior. De fet aquestes serralades actuen de barrera de les precipitacions d'origen mediterrani i les debilita, la qual cosa fa augmentar de manera considerable el gradient de continentalitat. La influència del relleu en el clima no es redueix a l'efecte del factor altitudinal, sinó la incidència de la disposició o orientació de les alineacions muntanyoses, la seva amplada i els seus pendents. Alguns altiplans notablement elevats (com els del Lluçanès, Moianès i Solsonès, entre altres) es confonen amb serralades muntanyoses.

Tenint en compte tots aquests factors, el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) ens proposa la següent classificació climàtica per Catalunya elaborada per Martín-Vide (1992):



Figura 9: Classificació que utilitza el Servei Meteorològic de Catalunya elaborada per Javier Martín-Vide el 1992.

Pel que fa a la precipitació a la zona de la Mediterrània occidental i a Catalunya en particular, es destaca l'elevat nombre de règims pluviomètrics estacionals, que responen bàsicament als següents motius:

1. El primer és bàsicament climàtic i és el fet que Catalunya està situada al límit entre la massa d'aire subtropical i l'extratropical d'una banda, i l'africana i la l'euroasiàtica, de l'altra.
2. La mateixa complexitat orogràfica de Catalunya, fa que les pluges no es reparteixin homogèniament per tot el territori sinó que apareixen patrons molt locals de precipitació. La presència d'un sistema muntanyós doble (serralada Litoral i Prelitoral), limita la influència marítima directa a una franja reduïda. Per altra banda, algunes depressions tenen funcionaments totalment autònoms, on la precipitació és bàsicament convectiva.
3. El Pirineu representa una frontera Nord del clima subtropical. La Val d'Aran a la cara Nord ja segueix un règim totalment diferent.
4. Finalment, la Mediterrània Occidental la podem concebre com un espai tancat rodejat de muntanyes (Figura 10) que dona lloc, d'una banda a un cert estancament de l'aigua que fa que assoleixi temperatures força càlides al final de l'estiu i principis de tardor, i

d'altra banda afavoreix la formació de mesobaixes que són molt determinants a l'hora de descriure molts casos de precipitacions en la mediterrània occidental, sobretot els casos més severs (Jansà, 1995).

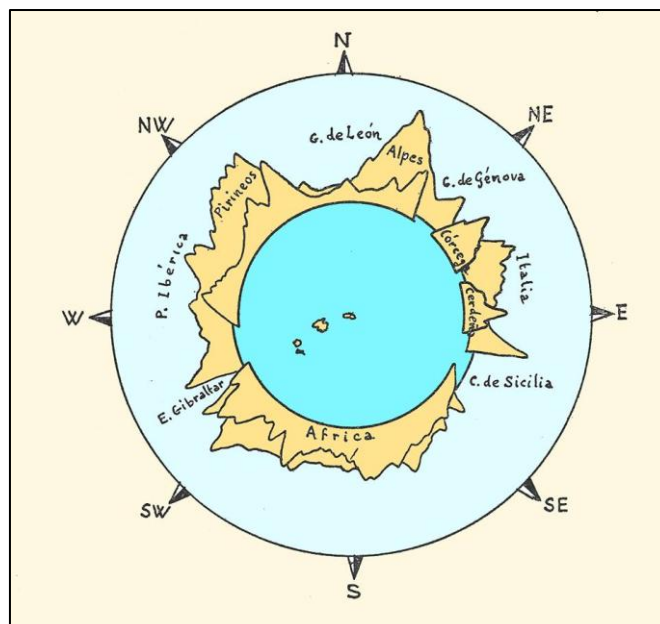


Figura 10: Dibuix de Josep Maria Jansà Guardiola que mostra el Mediterrani Occidental com un "microcosmos" dins el mar Mediterrani pel fet d'estar envoltat de muntanyes tant pel que fa a les continentals com les illes de Còrsega i Sardenya (Jansà, 1961).

Aquesta complexitat orogràfica i geogràfica fa que es donin gradients de precipitació molt acusats, marcats principalment per la singularitat geogràfica de Catalunya (Figura 11).

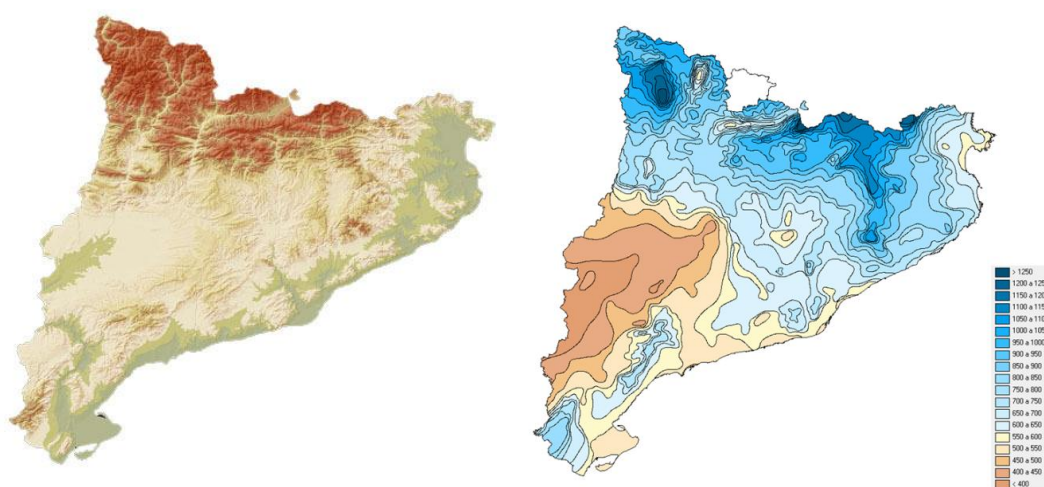


Figura 11: Mapa hipsomètric de Catalunya a escala 1:500.000 (Font: ICGC). Pluviometria mitjana anual que apareix en l'Atles Climàtic de Catalunya.

En el mapa de precipitació mitjana anual (Figura 11) s'observa el contrast marcat entre una zona àrida situada dins la Depressió Central i les zones més plujoses situades a la zona de l'Alta Ribagorça i la zona de la Garrotxa i el Ripollès. Es podria pensar en que és una influència únicament de l'orografia però zones amb unes característiques orogràfiques semblants, com són la conca del Bages i la Plan de Vic presenten registres pluviomètrics molt diferents. També es curiós observar l'ombra pluviomètrica de la vall de la Cerdanya apareix com una llengua seca rodejada per zones amb més precipitació que es corresponen a les muntanyes que la voregen. S'aprecia també un clar contrast de precipitacions entre el Litoral Nord i el Litoral Sud: al Litoral Sud s'observa un fort gradient de precipitació entre el màxim de les muntanyes del Prelitoral més properes al mar i el mínim de la zona de la Depressió Central, degut sobretot a la complexitat orogràfica de la zona. Aquest pes de la geografia en la climatologia de Catalunya fa difícil generalitzar trets climàtics vàlids per la totalitat del territori.

Una variable molt interessant és el règim pluviomètric estacional, que representaria el repartiment mitjà de la precipitació per estacions:

- Tres règims amb màxim a la tardor (tardor-primavera- hivern-estiu, o TPHE, TPEH i THPE), que es donen sobretot al Litoral i Prelitoral.
- Tres règims amb màxim a la primavera (PTEH, PTHE i PETH), sol donar-se al sector més occidental de la Depressió Central.
- Dos règims amb màxim estival (EPTH i ETPH), a bona part del Pirineu i Prepirineu, prolongant-se fins la plana de Vic. Els règims amb màxim estival, que es combinen amb un mínim hivernal, representen el contrari del que caldria esperar amb un clima mediterrani típic, que no coincideix amb el clima de la mediterrània occidental, on els mesos més plujosos són els equinoccials. La Vall d'Aran seria però una excepció, ja que en aquesta comarca es dona un règim de precipitació més regular durant totes les estacions de l'any.

Una de les estructures sinòptiques que té més influència en el clima de la Península Ibèrica és l'Anticicló de les Açores. Aquest anticicló és un dels grans anticiclons que conformen l'anomenat cinturó subtropical o tropical d'anticiclons de l'hemisferi Nord. La seva posició constitueix un obstacle per a les perturbacions atlàntiques que es desvien de la seva trajectòria inicial cap a latituds més altes. A l'estiu, l'anticicló de les Açores sol dominar gran part de la Península Ibèrica produint un ambient sec i assolellat que afavoreix la presència de baixes

pressions d'origen tèrmic sobre la Península Ibèrica i el Nord d'Àfrica. Aquestes baixes no solen donar precipitació degut a que van acompanyades d'estabilitat als nivells mitjos de l'atmosfera.

En el cas de Catalunya, durant l'estiu sol tenir molta influència una situació que es coneix com a pantà baromètric: caracteritzada per un gradient bàric superficial molt dèbil, però en el cas que en altura passi alguna línia d'inestabilitat, pot desencadenar tempestes en zones de muntanya. Fora de l'estiu, l'afebliment o la retirada de les altes pressions de les Açores permet l'entrada de sistemes depressionaris en direcció a la Península Ibèrica. El Mediterrani proporciona un ambient propici perquè es generi inestabilitat atmosfèrica, especialment a la tardor (Martín-Vide i Olcina, 2001).

Assenyalar que, Catalunya està situada a l'Est de la Península Ibèrica i per tant no rep la influència humida de l'Atlàntic ja que el vent de ponent associat a la circulació general arriba ressecat, degut a l'efecte Föhn, en haver de creuar tota la Península Ibèrica, rebent només aire humit quan aquest arriba desde llevant. Malgrat que de dies amb vent de component marítim sol haver-ne força, aquests relativament poques vegades van associats amb inestabilitat en altura i per tant solen donar poca precipitació.

A aquest fet cal afegir-hi que les alineacions muntanyoses del Pirineu i Prepirineu solen estar orientades d'Oest a Est, perpendiculars als fluxos provinents del Nord o del Sud els quals es troben amb un seriós obstacle, fet que reforça la diferència entre el clima del Nord i del Sud de Catalunya. Per altra banda, les comarques de la depressió Central catalana mostren uns trets d'acusada continentalitat, sorprenent si es té en compte la relativa proximitat al Mediterrani. Aquesta complexitat fa que sovint es mesurin precipitació molt diferent entre observatoris relativament propers entre si i, per tant, per entendre el comportament de la precipitació a Catalunya, és necessari treballar en escales prou fines.

En la zona mediterrània de la Península Ibèrica, coincideixen situacions meteorològiques molt variables al llarg de l'any, la qual cosa implica tenir un ampli ventall de situacions sinòptiques i uns tipus de temps molt diversos i contrastats. L'objecte d'aquest treball és donar una mica més de llum a tota aquesta complexitat, i estudiar els mecanismes de la precipitació vinculats a cada una de les situacions sinòptiques que definirem.

3.2 Dades usades

Les dades usades per treballar amb les classificacions sinòptiques han estat els mapes de pressió en superfície i les topografies a 500 hPa, obtinguts a partir del reanàlisi ERA-40 del Centre Europeu de Predicció a Mig Termini (ECMWF) (Uppala et al, 2006) que estan disponibles gratuïtament per la web. Aquest conjunt de dades cobreix un període que va des del setembre del 1957 fins al Agost del 2002, en total 45 anys de dades. Aquestes reanàlisi estan obtinguts a partir de les sortides d'un model meteorològic després d'assimilar-hi totes les dades observacionals disponibles i representa la millor representació de l'estat de l'atmosfera que es pot disposar en la resolució del model corresponent. En particular, l'ERA-40 té una resolució espacial de $1.125^{\circ} \times 1.125^{\circ}$ (~126 km) i cobreix tot el planeta.

Per l'estudi de la variabilitat de la precipitació és indispensable disposar de sèries prou llargues de precipitació perquè després apareguin prou casos per cada tipus sinòptic de manera que es pugui aplicar una de components principals amb significació suficient. El conjunt de dades de precipitació amb un abast temporal més llarg seria la base de precipitacions mensuals MOPREDAS (González-Hidalgo et al., 2011) que abarcaria el període 1945-2005, però té la limitació que és que les precipitacions són mensuals, la qual cosa no s'ajusta a les necessitats d'aquesta tesi, en què es vol treballar amb dades de precipitació diària, ja que interessa una escala temporal que no suavitzí les particularitats mesoscalars de la precipitació.

Aquest fet es va solucionar amb l'aparició del conjunt de dades de precipitació Spain02 (Herrera et al., 2016). Aquests dades són proporcionades per la Universitat de Cantàbria de manera gratuïta a través de la seva pàgina web amb el nom Spain02:

<http://www.meteo.unican.es/es/datasets/spain02>

Aquestes són dades de graella a alta resolució de precipitació i de temperatura màxima i mínima diàries per tota la Espanya peninsular i les Illes Balears. En una primera versió, aquest conjunt de dades tenia una resolució de 0.2 graus per tota Espanya i cobrien el període de 1950 fins al 2007, construït a partir de 2500 estacions d'AEMET. En una versió posterior s'han fet anàlisi de precipitació diaris de fins a 0.11 graus (~11 km) que cobreix el període de 1971 fins al 2007. Aquesta nova interpolació està disponible aplicant diferents metodologies tot i que s'ha agafat el conjunt obtingut amb el mètode de Kriging Ordinari (Herrera et al, 2016). El fet de treballar amb aquesta base de dades de precipitació dóna rigor al treball, ja que usa una metodologia que ha estat sotmesa a revisió científica en una revista internacional.

Agafar un mètode kriging ordinari per donar una anàlisi de precipitació en un país tan complex orogràficament com el nostre, pot donar lloc a anàlisi de precipitació poc realistes sobretot pel que fa a les precipitacions orogràfiques més locals. Però l'objectiu d'aquest treball no és tan en trobar patrons molt locals sinó estructures mesoscalars que es corresponguin a l'escala d'interpolació i per tant, preferim no introduir més informació que la proporcionada pel Kriging a 0.11 graus. La precipitació diària d'un dia d qualsevol es correspon amb la precipitació que es donaria entre les 0700 UTC del dia d i les 0700 UTC del dia $d+1$ i s'ha relacionat amb el tipus sinòptic del dia d a les 0000 UTC, aquest criteri s'ha seguit pel fet que per una banda l'anàlisi de les 0000 UTC és la millor anàlisi del dia i per altra banda que el fet de que la variable independent (tipus sinòptic) és preferible que sigui prèvia en el temps amb la variable dependent (precipitació acumulada en 24 hores) .

Seguint el consell de Romero et al. (1999a,b), pel fet de tenir en la zona mediterrània molts dies secs, i amb precipitació de vegades excessivament locals, la qual cosa pot provocar problemes en la normalització de les dades, caldria aplicar un filtratge de dades de manera que s'agafin només els dies en els quals la precipitació és més gran de 5 mm almenys en el 5% dels punts que s'estan treballant. A l'hora d'aplicar una anàlisi de components principals, és desitjable que les dades d'entrada tinguin una distribució gaussiana, però la distribució de la precipitació diària té una naturalesa aproximadament Lognormal o Gamma, per la qual cosa és aconsellable aplicar un \log_{10} a la precipitació per tal de reduir l'asimetria de la distribució i que s'assembli més a una distribució Normal. Com que el logaritme de zero no existeix és substitueix el valor de precipitació zero per 0.01.

4. Modificació de JiC

4.1. Introducció

El primer objectiu de la tesi, com ja s'ha comentat, és trobar una classificació sinòptica per la zona del Mediterrani occidental que sigui el màxim objectiva possible i a la vegada senzilla i intuïtiva per tal de poder interpretar els tipus.

Les classificacions sinòptiques amb què es treballarà seran les basades en la Classificació del Tipus de Circulació (CTC), en les quals es tracta de trobar una sèrie de patrons de la circulació atmosfèrica que resumeixin satisfactòriament la circulació atmosfèrica contínua. Aquestes classificacions, com ja s'ha descrit anteriorment poden ser manuals o automàtiques i serà d'aquest últim tipus la que es desenvoluparà en aquest treball. La classificació automàtica escollida haurà de complir una sèrie de requisits que posteriorment s'exposaran.

En aquest capítol, en primer lloc es presentaran les classificacions sinòptiques, tant automàtiques com manuals, més representatives i que s'han usat en la zona de la Península Ibèrica. Seguidament, s'establiran una sèrie de requeriments que haurà de complir la classificació sinòptica que s'està buscant per tal que representi bé la variabilitat de la precipitació que és el principal tema d'aquesta tesi. Amb aquests requeriments, es veurà que la millor opció serà construir una classificació basada en mètode de JiC que a més, contingui el nivell de 500 hPa. Així doncs es construirà aquesta nova classificació automàtica. Ara bé, aquesta classificació automàtica tindrà molts tipus, la qual cosa dificultarà enormement l'estudi de la variabilitat de la precipitació. Per reduir el nombre de tipus, s'establirà una correspondència entre els tipus automàtics i els tipus d'una classificació manual senzilla, que en aquest cas serà la classificació amb 16 tipus desenvolupada per Javier Martin-Vide i dissenyada especialment per la Península Ibèrica. Una vegada comprovat que la classificació automàtica dóna uns resultats comparables amb els que dóna la classificació manual, es procedirà a fer una discussió sobre els tipus obtinguts amb la nova classificació sinòptica i es compararà amb les altres classificacions descrites en la primera part del capítol.

4.2. Descripció de les principals metodologies per determinar les classificacions sinòptiques

4.2.1 Classificacions automàtiques

Entre els mètodes automàtics, es destaquen: Jenkinson i Collison (1977), L'objectivització de la classificació manual de Hess-Brezowsky (1952), Classificació per prototipus, Mètodes basats en correlacions, Mètodes basats en components principals, Mètodes basats en clusters, Mètodes mixtos que usen simultàniament clusters i PCA, Processos sinòptics objectius i Mètodes basats en xarxes neuronals (SOM). En aquest punt es farà una descripció de cada un d'aquests mètodes:

- **Jenkinson i Collison (1977).**

És una classificació que es basa en la classificació manual de Lamb (1972), que estableix una sèrie de tipus bàsics basats en la presència de baixes, anticiclons i la direcció dels fluxos de vent, que es pot deduir a partir dels mapes de pressió en superfície. Aquesta classificació es va aplicar en una primera prova pilot al Nord d'Àfrica per El Dessouky i Jenkinson (1975), i posteriorment va ser aplicat a les Illes Britàniques per Jenkinson i Collison (1977), autors que han acabat donant el nom a la classificació sinòptica per ser els autors intel·lectuals d'aquest.

Aquesta classificació s'obté a partir del càlcul d'una sèrie de paràmetres a partir de les dades de pressió en superfície relacionats amb la direcció del vent i la vorticitat. Al llarg dels anys s'ha mostrat com una eina molt versàtil i fàcilment aplicable. De fet, ha estat usada per fer classificacions sinòptiques a latituds molt disperses: el Nord d'Àfrica (El Dessouky i Jenkinson, 1975), les Illes Britàniques (Jenkinson i Collison, 1977), Suècia (Chen, 2000), Holanda (Buishand i Brandsma, 1997), Finlàndia (Pepin et al, 2009), Rússia (Spellman, 2016), els Estats Units (Losleben et al, 2000; Pepin i Losleben, 2002),...

Malgrat que aquesta classificació ha estat aplicada en l'àmbit de la Península Ibèrica en diverses ocasions (Goodees i Palutikov, 1998; Spellman, 2000; Trigo i DaCamara, 2000; Grimalt et al, 2013; Ramos et al., 2015; Pepin i Kidd, 2006; Martín-Vide, 2016), aquesta presenta força mancances perquè es basa només en les dades de pressió en superfície i en molts casos aquesta resulta insuficient per determinar el tipus de temps que s'està donant (Martín-Vide, 2001). En la zona mediterrània, els nivells mitjans de la troposfera (al voltant de

500 hPa) són molt importants i tenen una gran influència sobre els tipus de temps, i per tant una classificació sinòptica que vulgui ser representativa d'aquesta zona, ha de contenir la informació del nivell de 500 hPa.

El mètode original de JiC es basa en el càlcul del flux d'aire, de la direcció del flux i de la seva vorticitat, a partir de les dades de pressió en superfície en punts d'una graella centrada en la zona d'interès, separats 10 graus en la direcció Oest-Est i 5 graus en la direcció Nord-Sud.

A partir d'aquests punts calculem els següents paràmetres:

Pressió mitjana en superfície:

$$P = 0.625[(P1 + P3 + P7 + P9) + 2(P2 + P4 + P6 + P8) + 4P5]$$

Component zonal del vent:

$$W = 0.25[(P7 + 2P8 + P9) - (P1 + 2P2 + P3)]$$

Component meridional del vent:

$$S = 0.653[0.25(P3 + 2P6 + P9) - 0.25(P1 + 2P4 + P7)]$$

$$D = \arctan(W/S)$$

$$F = (W^2 + S^2)^{1/2}$$

Vorticitat zonal:

$$ZW = 1.056[(P7 + 2P8 + P9) - (P4 + 2P5 + P6)] \\ - 0.951[(P4 + 2P5 + P6) - (P1 + 2P2 + P3)]$$

Vorticitat meridional:

$$ZS = 1.305[0.25(P3 + 2P6 + P9) - 0.25(P2 + 2P5 + P8) - 0.25(P2 + 2P5 + P8) \\ + 0.25(P1 + 2P4 + P7)]$$

$$Z = ZW + ZS$$

Els paràmetres més importants són, d'una banda el que està relacionat amb la força del vent: el flux (F); el que està relacionat amb la direcció del flux (D); i el que ens parla sobre la curvatura d'aquest: la vorticitat (Z). Aquests paràmetres depenen de la latitud en la que està

situada la graella. Per tal de simplificar la notació, a l'hora d'anomenar la procedència dels fluxos amb classificació de JiC usarem els acrònims originals en anglès.

Basant-se en aquestes variables Jenkinson i Collison (1977) van establir una classificació sinòptica on els tipus es definien de la següent manera:

1.- Per calcular la direcció del flux usem la D, però com l'arctangent és una funció que només cobreix de $-\pi/2$ fins a $\pi/2$ haurem de tenir en compte els signes de les components del flux (W i S) per calcular la direcció exacta.

2.- Si $|Z| < F$ llavors estarem parlant d'un tipus advection pur, i es definirà a partir de la direcció que li correspongui, que haurem calculat al punt 1. Els possibles valors seran: N, NE, E, SE, S, SW, W, NW.

3.- Si $|Z| > 2F$ llavors estarem parlant d'un tipus ciclònic (C) si $Z > 0$ o anticiclònic (A) si $Z < 0$.

4.- Si $F < |Z| < 2F$ llavors estarem parlant d'un tipus híbrid. En aquest cas el punt 3 ens dirà si és anticiclònic o ciclònic i el punt 1 ens dirà quina direcció porta el flux. En aquest cas les possibilitats seran: CN, CNE, CE, CSE, CS, CSW, CW, CNW, AN, ANE, AE, ASE, AS, ASW, AW, ANW.

5.- Si $F < 6$ i $|Z| < 6$ llavors es parla d'un tipus que s'anomena indeterminat.

Els tipus de JiC els podem diferenciar en els següents grups segons la curvatura de les isòbares sobre la Península Ibèrica (Figura 12):

- Advection pures: Es corresponen amb les adveccions sense cap mena de curvatura, bàsicament són isòbares que creuaran rectilíniament la Península Ibèrica. Normalment es referencien per l'origen del flux: N, NE, E, SE, S, SW, W i NW.
- Advection anticiclònics: En aquest cas es fa referència a les adveccions que no presentarien curvatura zero sinó que tindrien curvatura amb circulació de caràcter anticiclònic. La nomenclatura també aniria relacionada amb l'origen del flux: AN, ANE, AE, ASE, AS, ASW, AW i ANW.
- Advection ciclònics: Al igual que en el cas anterior es fa referència a adveccions amb curvatura diferent de zero, però en aquest cas la circulació seria ciclònica. La nomenclatura, com en els casos advection anteriors, està lligada amb l'origen del flux: CN, CNE, CE, CSE, CS, CSW, CW i CNW.

- **Anticicló:** Seria el cas en què el mapa de pressió en superfície marca clarament la presència d'un anticicló. Es representa amb una A.
- **Cicló:** Seria el cas en què el mapa de pressió en superfície marca clarament la presència d'un cicló. Es representa amb una C.
- **Indeterminat:** En aquest cas, el camp de pressió en superfície apareix poc definit, gairebé sense gradient bàric (pantà baromètric). Es representa amb una U.

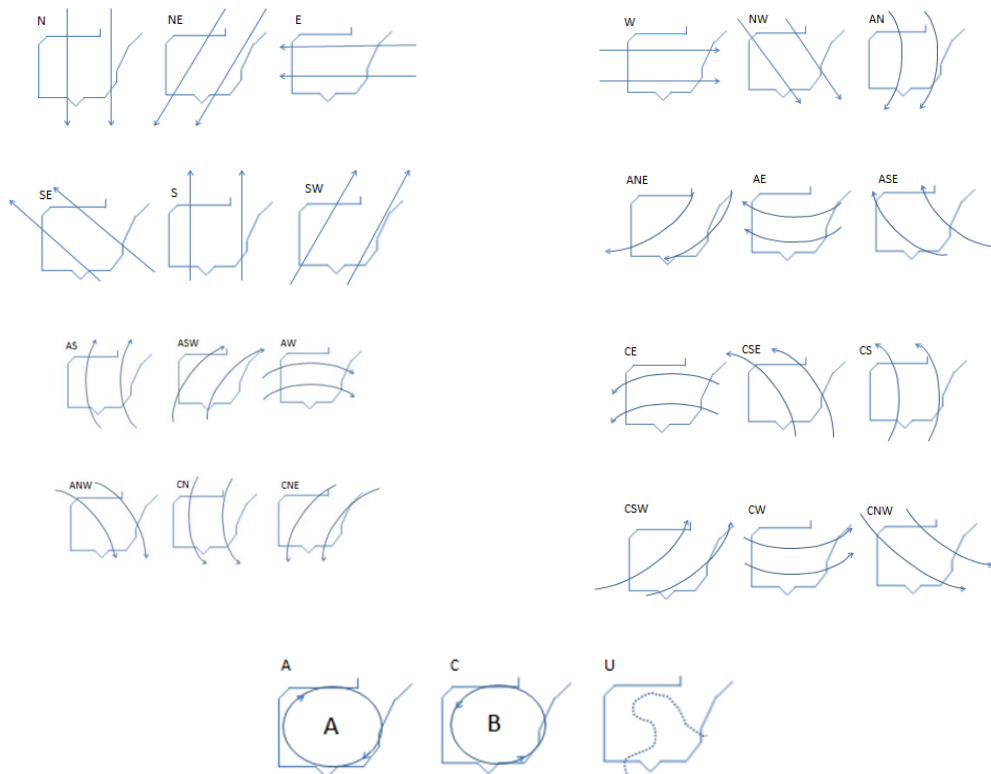


Figura 12: Configuració isobàrica bàsica dels 27 tipus sinòptics de JiC sobre la Península Ibèrica. (Les fletxes representen isòbares). (Font: Martin-Vide, 2016).

- **Objectivització de la classificació de Hess-Brezowsky (James, 2007).**

Aquest mètode està totalment inspirat en la classificació manual de Hess-Brezowsky (1952), que com ja s'ha dit, va ser dissenyada per Europa Central i el sector Nord-Est de l'Atlàntic Nord. Aquesta classificació es basa en la circulació i el moviment dels centres d'acció i no en la situació d'un dia concreta, tal com passa amb la classificació manual de Lamb (1972).

La objectivització de Hess-Brezowsky va ser duta a terme per James (2007) i treballa amb la pressió en superfície i amb l'altura geopotencial a 500 hPa. Aquesta classificació dona patrons

de circulació diaris, a diferència de la classificació de JiC a partir de la qual s'obté una situació sinòptica concreta per cada un dels dies.

En general, és una classificació poc usada i amb poques referències i que no s'acaba d'ajustar al objecte d'estudi d'aquesta tesi.

- **Classificació per prototipus.**

Aquesta és una metodologia creada per Beck (2000) i és una fusió entre del mètode de JiC i el mètode Hess-Brezowsky en el sentit que considera els tipus de Hess-Brezowsky com a tipus de referència però usa els valors de les correlacions entre aquests tipus i la zonalitat, meridionalitat i vorticitat de cada dia per establir uns nous tipus, en un sentit semblant al de la classificació de JiC. És una classificació que ha estat poc usada.

- **Mètodes basats en correlacions.**

Un primer mètode seria el de Lund (1963). Aquest es basa en les correlacions entre els diferents punts de grid dels mapes que es vulguin classificar. És un mètode poc usat i que presenta algunes deficiències segons alguns autors (Barry i Carleton, 2001), degut a la poca capacitat de classificació la qual està entre el 60 i el 80% dels casos.

Una altre mètode basat en les correlacions seria el de Kirchhofer (1973) que en comptes de basar-se en correlacions entre grids, treballa amb una mètrica que representa la suma al quadrat de la diferència entre els diferents punts de malla. Amb aquest canvi de mètrica Kirchhofer millora substancialment el mètode de Lund obtenint una capacitat de representació de fins al 90% dels casos (Yarnal, 1984).

- **Mètodes basats en l'anàlisi de components principals (PCA).**

Les components principals són una tècnica estadística que s'usa sobretot per reduir conjunts grans de dades i per trobar patrons de variabilitat de determinades variables. Més endavant es farà una descripció més detallada d'aquesta metodologia ja que s'usarà per estudiar la variabilitat de la precipitació i seria interessant fer-hi una lectura prèvia si es volen entendre tots els conceptes que s'expliquen en aquest punt.

En el cas de les classificacions sinòptiques, les PCA s'apliquen per tal de reduir un conjunt de dades, per exemple en mapes sinòptics de pressió en superfície, conservant la màxima informació i a la vegada complint que les dades resultants estiguin descorrelacionades, és a dir, que els mapes obtinguts siguin independents entre ells. Ara bé, aquestes noves estructures que s'obtenen, no tenen un sentit físic directe i sovint s'han de fer algunes operacions complementàries, com per exemple, fer rotacions per poder donar-li un sentit físic.

Per tant, malgrat ser una eina molt versàtil i força objectiva, el seu major punt dèbil rau en el fet de no tenir un sentit físic directe, sinó que pot ser sotmès a interpretació.

Aquests mètodes han estat emprats per diferents autors sobretot per relacionar determinades variables meteorològiques amb el tipus sinòptic associat (Corte-Real et al., 1998; Romero et al., 1999c; García-Sellés et al., 2009).

- **Mètodes basats en clústers.**

El mètode basats en clústers usen tècniques d'agrupament de dades, on s'obtenen grups de manera que les dades dins de cada grup siguin homogènies entre elles i en canvi mostrin heterogeneïtat entre dades de grups diferents (Hair, 1999). Hi ha diferents tècniques que s'apliquen segons el tipus de problema que es vulgui classificar. En el cas de les classificacions sinòptiques el més usat és el mètode anomenat K-means (Corte-Real et al., 1998; Esteban et al., 2006).

En el mètode de K-means s'ha de definir el número de grups a priori amb que es volen dividir les dades escollint el número de centroides, al voltant dels quals s'organitzaran les dades seguint el criteri de proximitat donat per una distància escollida (en general la distància euclidiana). Com es poc probable escollir els centroides de manera correcta el que es fa és fer iteracions de manera per tal d'aconseguir la mínima variabilitat entre els elements de cada grup i la màxima variabilitat entre els grups. L'algoritme més emprat en les ciències atmosfèriques per calcular clústers és el mètode Quick Cluster (Hartigan, 1975).

El problema amb la tria dels centroides inicials que portin a una sol·lució òptima es resol parcialment amb l'ús d'una nova tècnica basada en clústers no-jeràrquics anomenada SANDRA (Simulated Annealing and Diversified Randomization) (Philipp et al., 2007) que fa convergir els

centroïdes iterativament cap a una solució òptima. El desavantatge està en el temps de càlcul que necessita aquesta tècnica.

- **Mètodes mixtos (clústers i PCA).**

Els primers en usar clústers i PCA per construir classificacions en l'àmbit de la Península Ibèrica foren Lana et al. (1994), que ho aplicaren al càlcul del número mínim de tipus de temps que hauria de tenir una classificació per ser significativa a la zona de Catalunya. És important remarcar que estudiaven tipus de temps i no situacions sinòptiques. Seguint una metodologia molt semblant, Serra et al. (1999), van aplicar clústers i PCA per obtenir una primera classificació dels tipus de temps per tot Catalunya (Figura 13). La metodologia d'aquesta última classificació es basa en què, partint de diferents variables meteorològiques mesurades per diferents observatoris i representatives del tipus de temps (temperatura de l'aire, temperatura del termòmetre humit, component meridional del vent, component zonal del vent, cobertura nuvolosa i pressió en superfície), s'apliquen components principals per triar els valors més representatius (simplificar les dades), una vegada triats aquests valors s'aplica una anàlisi de clústers amb K-Means per obtenir els grups i d'aquesta manera s'obtenen 14 tipus de temps.

A partir dels tipus de temps obtinguts i mirant els mapes sinòptics per a cada un d'aquests dies es pot relacionar els tipus de temps amb les situacions sinòptiques la qual cosa es pot entendre com una classificació sinòptica. Els 14 tipus de temps obtinguts són:

1. Altes pressions amb vents fluixos, inversions tèrmiques, estratificació estable i boires a l'interior. Que es correspondria amb una situació anticiclònica en superfície amb dorsal en alçada.
2. Baixes pressions amb núvols, ambient càlid i precipitacions dèbils. Es correspondria amb el pas d'un front càlid.
3. Altes pressions amb estratificació estable moderada. Situació en que les altes pressions es desplaçarien cap a la Nord.
4. Baixes pressions amb situació de vents del Nord dèbils amb la pressió en superfície amb tendència a pujar, les temperatures fredes i nuvolositat. Representaria una situació postfrontal.
5. Situació de baixes pressions amb vents del Nord Oest forts. Seria una altra situació postfrontal però ara amb presència de vents forts.

6. Situació de baixes pressions amb vent fort del Nord-Est amb precipitacions a la zona del Montseny. Es correspondria amb una situació advectional del Mediterrani amb precipitacions orogràfiques associades per la zona del Montseny.
7. Situació d'altres pressions amb vent dèbil de l'Est sobre Catalunya. Seria el cas en que un anticicló se situa més cap al Nord d'Europa implicant un flux de l'Est sobre la costa mediterrània.
8. Situació amb baixes pressions en què la probabilitat de precipitació i de nuvolositat és més alta que en el cas 4. La situació sinòptica seria la mateixa que al cas 4.
9. Situació de baixes pressions amb temperatures més fredes al Nord de Catalunya, sobretot als cims de les muntanyes. Es correspondria amb una situació de Nord amb una advecció d'aire fred.
10. Situació de baixes pressions amb vent de l'Est i precipitacions abundants. Seria el cas en què es té una baixa mediterrània.
11. Altres pressions amb precipitacions al Sud de Catalunya amb vents de l'Est. Seria la situació en que es genera una circulació d'Est a la costa catalana generat per la presència d'altres pressions al centre d'Europa i una baixa al Sud-Est de la Península Ibèrica.
12. Situació d'altres pressions amb vents del Nord-Est al Nord i vents de l'Oest al Sud. Amb precipitacions fortes a qualsevol lloc. Sinòpticament es podria correspondre amb una situació en que hi ha una petita baixa al Mediterrani.
13. Situació de baixes pressions amb cels clars. Seria una situació de Nord-Oest.
14. Situació de baixes pressions amb calmes i vents dèbils. Seria el cas en que una situació de baixes pressions va seguida d'una situació de calmes.

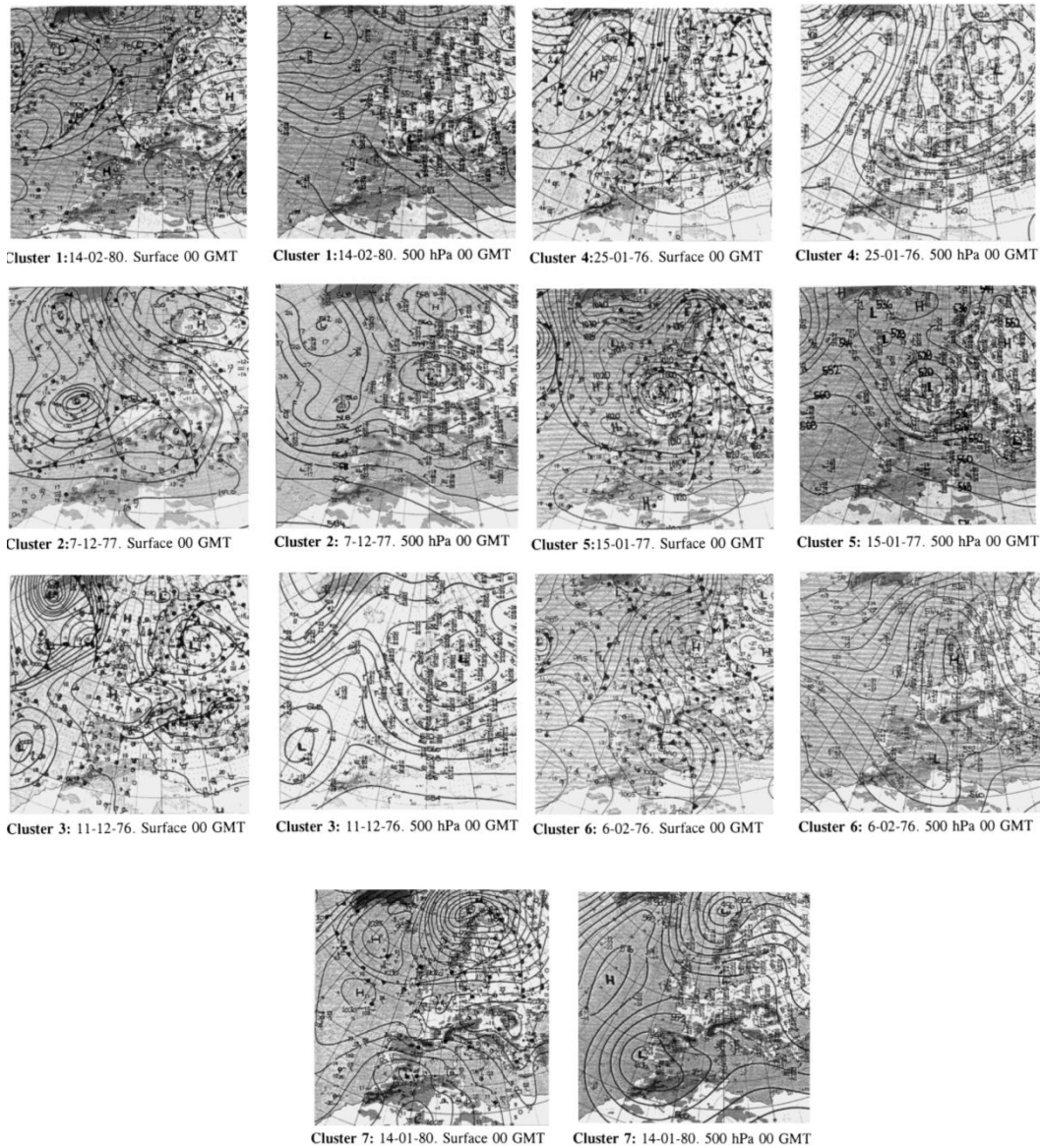


Figura 13: Composites dels 7 primers clústers obtinguts amb el mètode de Serra et al. (1999)

De manera gairebé simultània als treballs de Serra et al (1999), a les Illes Balears, Romero et al (1999c) aplica també aquests dos mètodes per obtenir una classificació sinòptica per dies amb precipitacions intenses, però a diferència de la metodologia aplicada per Serra et al (1999), en aquest cas no usa les PCA per simplificar el conjunt de dades sinó per obtenir els principals patrons de variació dels mapes d'altura geopotencial a 925 i 500 hPa usant T-mode. Una vegada obtinguts aquests patrons se'ls aplicarà un K-means perquè s'agrupin entre ells i d'aquesta manera s'obté una classificació amb 19 tipus. La tècnica aplicada per Romero, evita

el principal escull a l'hora de fer K-means que és el de triar uns centroides inicials amb consistència climàtica, ja que en aquest cas vindran donats per les PCA.

Seguint en la línia de Romero, Esteban et al. (2006) i Esteban (2012) proposen també una metodologia de classificació sinòptica barrejant PCA i l'anàlisi de clústers però usant S-mode en comptes de T-mode ja que aquest darrer és molt més car computacionalment. Pere Esteban, va desenvolupar una variant de Romero, en la qual s'emula el T-mode a partir del S-mode que anomena: "mètode de les puntuacions extremes". Quan es treballa amb S-mode no és senzill establir els centroides inicials per treballar amb K-means. Amb la metodologia d'Esteban no s'agafen els scores directament com a centroides del K-means, sinó que, en aquest cas els scores informen del grau de representativitat que tenen cada un dels modes de variació espacial associats a les components principals (cartografia dels loadings) en relació als nostres casos originals. En aquest sentit s'usaran els scores per tal d'establir els tipus de circulació i els seus centroides: per cada fase (positiva o negativa) de la component principal (score) es crea un tipus de circulació associant-hi només aquells casos del total de la mostra que presenten valors alts absoluts dels scores per aquella component principal i fase.



Figura 14: Tipus obtinguts per Esteban aplicant el mètode de puntuacions màximes

Els tipus de temps obtinguts per Esteban et al. (2006) són els següents (Figura 14):

1. Patrons de l'Oest

- a. Oest hivernal (CL1). Oest fort tant en superfície com en altura. Baixes pressions al Nord-Oest de les Illes Britàniques. Aquest patró no sol donar-se a l'hivern.

- b. Oest estival la façana atlàntica (CL3). Vent d'Oest moderat a la façana atlàntica amb poc gradient bàric a la zona mediterrània.
- c. Alta mediterrània (CL5). Zona d'altres pressions sobre el Mediterrani que juntament amb una baixa a la zona d'Islàndia implicaria un flux del Sud-Oest sobre l'Est d'Europa. És una situació poc freqüent a l'estiu.
- d. Advecció del Oest-Nord-Oest (CL7). Un anticicló sobre les Azores i baixes pressions sobre Escandinàvia produeix un flux del Oest-Nord-Oest sobre la major part d'Europa. El mateix flux del Oest-Nord-Oest passaria a 500 hPa.
- e. Advecció del Nord-Oest sobre la façana atlàntica (CL10). Situació semblant a l'anterior (CL7).
- f. Anticicló de les Azores I (CL11). L'anticicló de les Azores s'allarga cap a Centre-Europa. Situació poc freqüent a l'hivern.
- g. Anticicló de les Azores II (CL20). Molt semblant al tipus anterior (CL11).

2. Patrons Meridionals

- a. Anticicló Nord Atlàntic (CL2). Situació en la qual un anticicló afecta les Illes Britàniques, produint un flux del Nord-Est sobre la major part de l'Europa de l'Est. Situació típicament estiuenca.
- b. Baixa mediterrània produint advecció del Nord (CL6). Entre l'anticicló de les Azores i una baixa Mediterrània situada sobre Itàlia s'instaura un flux de Nord-Est sobre Europa.
- c. Baixa Centre Europa produint advecció del Nord (CL16). En aquest cas entre l'anticicló de les Azores i una baixa Centreuropea se'ns formaria un flux del Nord-Oest. Sol donar-se a la primavera.
- d. Solc (CL18). Zona amb isòbares poc definides a l'Est d'Espanya i Oest de França entre les altes pressions de l'Atlàntic i les baixes pressions del Mediterrani amb un profund solc a 500 hPa.

3. Patrons amb gradients dèbils en superfície

- a. Baixa a l'Atlàntic Nord (CL9). Baixa molt profunda sobre Atlàntic Nord amb una zona de dèbil gradient sobre Europa.
- b. Dorsal de les Azores (CL13). Situació en que l'anticicló de les Azores penetra fins al Nord d'Europa, amb una situació de poc gradient bàric per la zona del Mediterrani.
- c. Baixa tèrmica Ibèrica (CL17). Es marcaria la baixa tèrmica que es produeix al Sud-Oest de la Península Ibèrica.

- d. Pont Anticiclònic (CL19). Anticicló amb poc gradient bàric que abraçaria desde el centre d'Europa fins al Sud-Oest de la Península Ibèrica.

4. Patrons de bloqueig

- a. Anticicló a les Illes Britàniques (CL4). Patró de bloqueig amb anticicló sobre les Illes Britàniques i amb una configuració en omega a 500 hPa.
- b. Flux de Sud (CL8). Situació en que una baixa a Islàndia i un anticicló a Escandinàvia provoquen un flux de Sud sobre Europa.
- c. Anticicló centreeuropeu (CL15). Anticicló centreeuropeu connectat amb anticicló de les Azores. Situació que sol donar-se principalment a l'hivern.

5. Patrons ciclònics

- a. Baixa al Nord-Oest de la Península Ibèrica (CL12). Baixa potent en superfície amb reflex en altura situada sobre el Nord-Oest de la Península Ibèrica.
- b. Baixa britànica (CL14). Vent de component Sud sobre Europa i Escandinàvia.

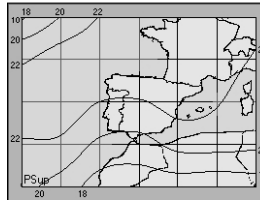
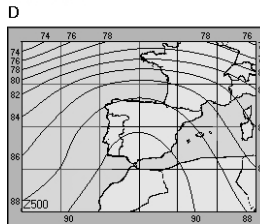
- **Processos Sinòptics Objectius (PSO) (Fernández et al, 2003)**

Aquest mètode utilitza una metodologia semblant a l'anàlisi de clústers ara bé, té en compte els camps de superfície i de 500 hPa. Es basa en: donats tres grups que representen les dades de pressió en superfície i geopotencial a 500 hPa per tres dies consecutius (D-1, D, D+1) es vol minimitzar la distància entre aquests a partir d'un mètode iteratiu. D'aquesta manera, s'obté una sèrie de mapes promitjos de la pressió en superfície i de l'altura geopotencial a 500 hPa que representen els diferents tipus de la classificació sinòptica. Per tant, tot i ser un mètode molt enginyós pel fet de basar-se en la circulació (mitjana de 3 dies) que no pas en el mapa sinòptic diari fa que sigui complex d'aplicar.

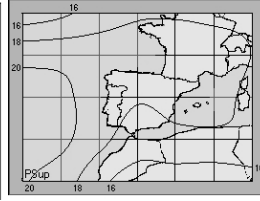
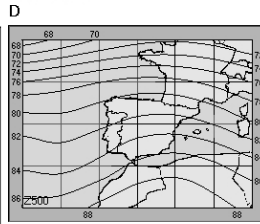
Amb aquesta classificació s'obtenen 20 tipus, ara bé, cal tenir en compte la important limitació que per zones com la Península Ibèrica, situada en latituds amb molta variabilitat en la circulació atmosfèrica general, només pot ser aplicat de dos mesos en dos mesos. Així les aplicacions que ha tingut aquest mètode han estat en general només per la tardor o l'estiu.

Tot i aquestes limitacions aquesta classificació ha estat usada per fer estudis sobre regionalització de vent (Soriano et al , 2006) i sobre contaminació atmosfèrica a escala regional (Remón, 2005)

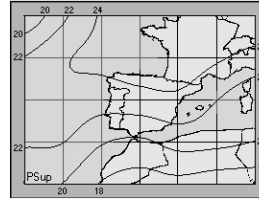
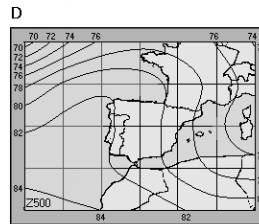
Proceso: 1



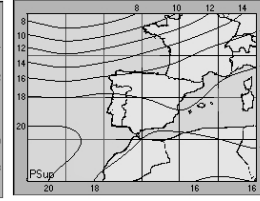
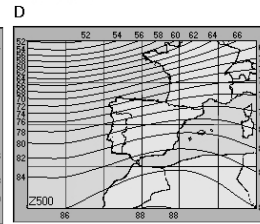
Proceso: 2



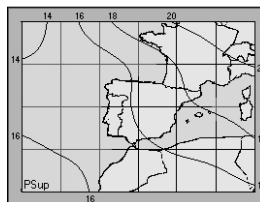
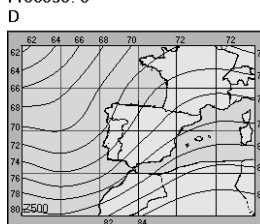
Proceso: 3



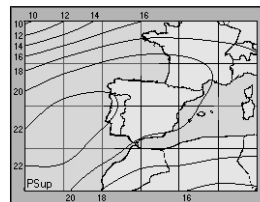
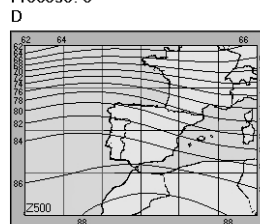
Proceso: 4



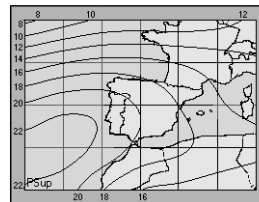
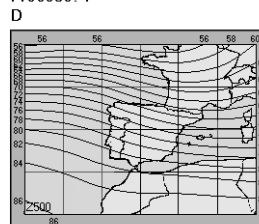
Proceso: 5



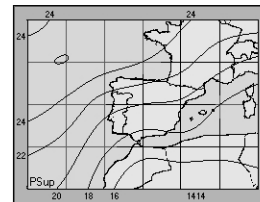
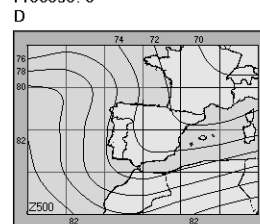
Proceso: 6



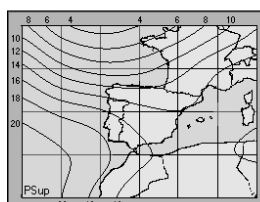
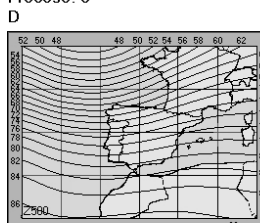
Proceso: 7



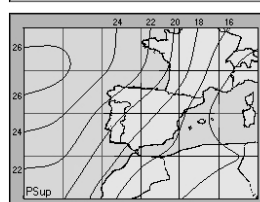
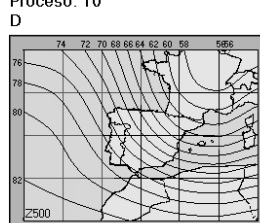
Proceso: 8



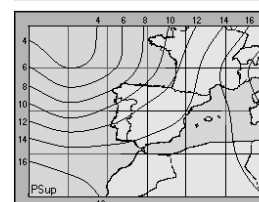
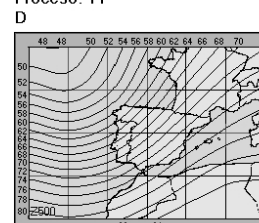
Proceso: 9



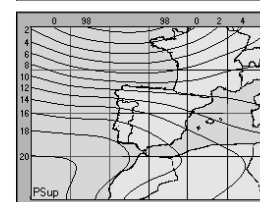
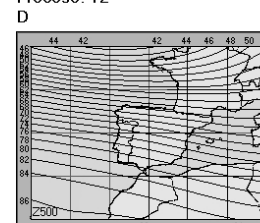
Proceso: 10



Proceso: 11



Proceso: 12



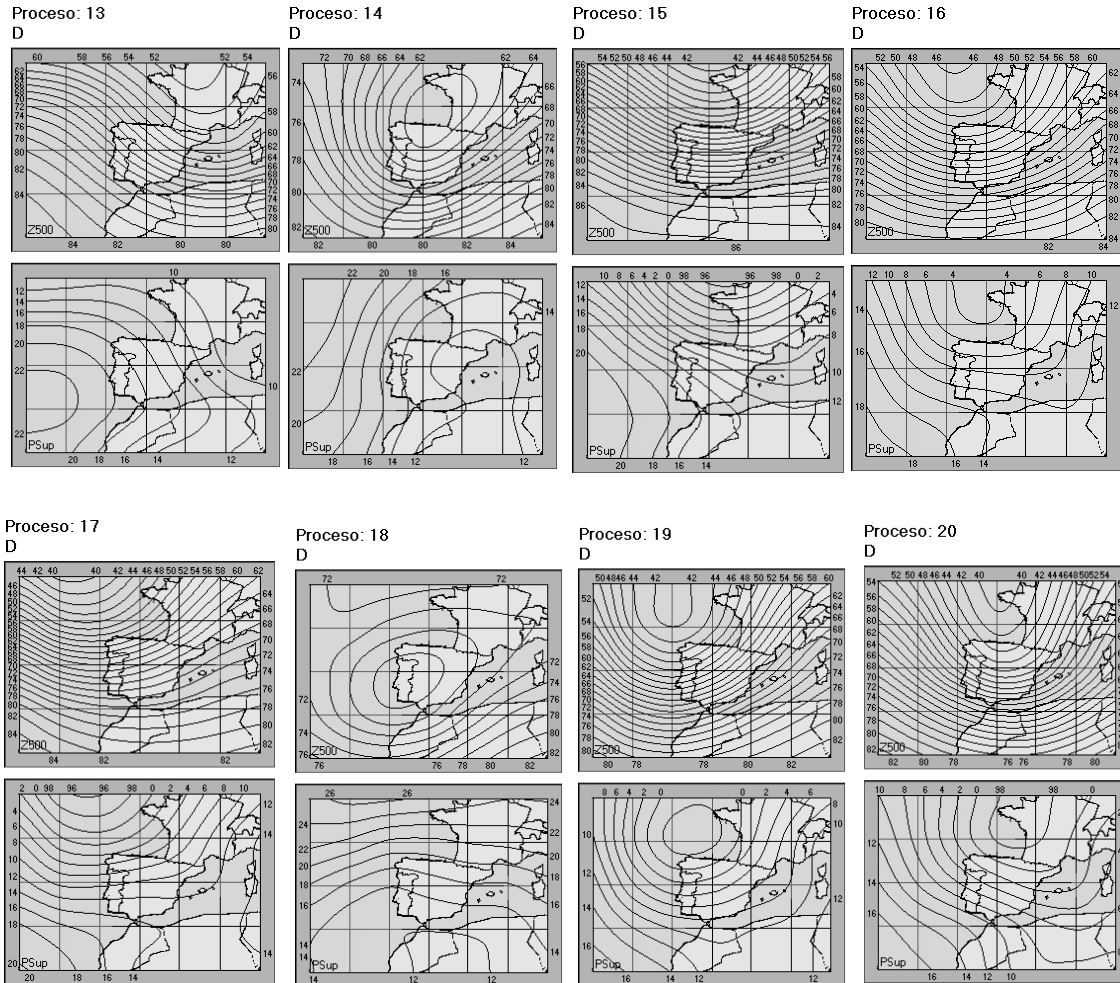


Figura 15: Pressió en superfície en el mapa inferior i topografia de 500 hPa en el mapa superior dels PSO per el bimestre setembre-octubre

Malgrat que per construir la classificació mitjançant PSO es treballa amb la situació del dia actual (D) i el dia anterior (D-1) i el posterior (D+1), en la Figura 15 només es representa els casos pel dia central (D) i així poder comparar els mapes obtinguts amb d'altres classificacions sinòptiques. Els tipus donats pel mètode PSO pels mesos setembre-octubre són:

1. Procés 1: Situació d'estabilitat lligada a la presència d'una dorsal tant en superfície com en altura. És una situació típicament estival que al setembre també sol donar-se.
2. Procés 2: Presència d'un solc en altura a l'Oest de la Península Ibèrica amb una retirada de la dorsal en superfície indicaria una tendència a haver-hi precipitació.
3. Procés 3: Seria una situació amb vent de component Est sobre la façana mediterrània amb la presència d'una zona ciclònica en altura.

4. Procés 4: Fluxos de component Oest tant en superfície com en altura.
5. Procés 5: Es correspon amb un solc entrant per l'Oest de la Península Ibèrica acompanyat d'una situació isobàrica poc definida sobre la Península.
6. Procés 6: Seria una situació en què en superfície l'Anticicló de les Azores penetra a la Península Ibèrica, mentre que en altura es té una situació d'Oest.
7. Procés 7: Situació molt semblant a l'anterior.
8. Procés 8: Situació de Nord-Est amb solc en altura.
9. Procés 9: Es podria considerar com una situació de l'Oest.
10. Procés 10: Advecció meridional amb un solc en altura.
11. Procés 11: Es correspondria amb una advecció del Sud-Oest
12. Procés 12: Es correspondria amb una advecció de l'Oest.
13. Procés 13: Situació d'advecció del Nord-Oest.
14. Procés 14: En aquest cas tenim baixes pressions al Mediterrani amb una situació ciclònica també en altura.
15. Procés 15: Es correspon amb el pas d'un front malgrat que les línies de corrent són clarament de l'Oest i es podria confondre amb una advecció de l'Oest.
16. Procés 16: Aquest cas seria semblant a l'anterior.
17. Procés 17: Aquest cas també es podria assimilar a l'anterior.
18. Procés 18: És una situació de DANA amb flux de l'Est sobre la costa mediterrània i una baixa en altura.
19. Procés 19: Seria un situació semblant a les que hem vist als processos 15,16 i 17 però amb diferent intensitats del front.
20. Procés 20: Podríem dir el mateix que en el cas 19.

- **Mètodes basats en xarxes neuronals (SOM).**

Les xarxes neuronals són mètodes estadístics inspirats en el funcionament biològic de les neurones, cèl·lules dels sistema nerviós que es distribueixen en xarxa i que estan interconnectades entre elles. En les xarxes neuronals apareixen un seguit de nodes connectats entre si per pesos seguint una determinada topologia (Figura 16). Aquestes estructures tenen la facultat d'aprendre a partir de diferents mètodes d'aprenentatge (Zeil, et al. 1995). Un cas particular d'aquests mètodes d'aprenentatge és el de Self-Organizing Maps (Kohonen, 1990), que com indica el seu nom és un mètode en el qual la mateixa xarxa neuronal s'autoorganitza

per tal de buscar trets semblants entre les dades d'entrada. L'aprenentatge es duu a terme a partir de la competència entre les neurones per activar-se, de manera que per cada patró inicial s'activa una sola neurona o grup de veïnes de la capa de sortida. Llavors, patrons pròxims entre si implicaran activació de neurones pròximes entre si en la capa de sortida.

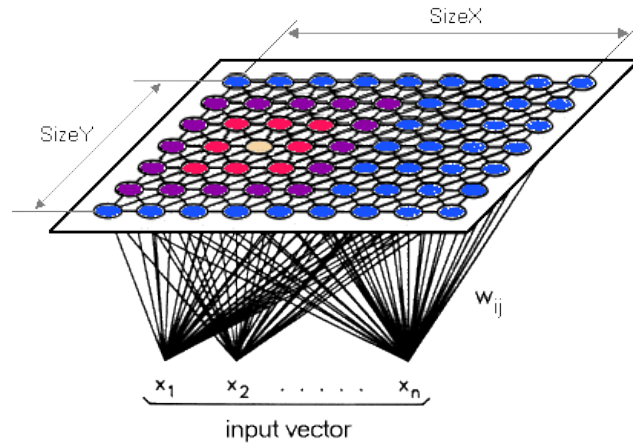


Figura 16: Estructura xarxa neuronal que s'usa en les SOM

Autors com Michaelides (2001), Michaelides et al. (2007) i Tymvios et al. (2007) utilitzen xarxes neuronals per determinar les classificacions sinòptiques.

4.2.2 Classificacions manuals per la Península Ibèrica

En aquest apartat es descriuran les principals classificacions sinòptiques manuals. En aquests tipus de classificació preval el coneixement de les dades i de l'àrea en la qual s'aplica aquesta classificació, per la qual cosa sempre són altament subjectives.

Pel que fa al context de la tesi es necessita treballar amb classificacions manuals dissenyades per la Península Ibèrica que tinguin en compte, les situacions amb configuració isobàrica poc definida i aquelles en les quals la situació a nivells mitjans no equival al que passa a nivells baixos (Martín-Vide, 2001).

Entre aquestes destaquem les classificacions de: Raso i Clavero (1979), Martín-Vide (1987, 1991) i Capel-Molina (2000)

- **Classificació de Raso i Clavero (1979).**

Aquesta classificació sinòptica està orientada de cara a la Mediterrània, ja que per la seva elaboració es van tenir en compte els mapes de pressió en superfície i la topografia a 500 hPa entre 1951 i 1970 comparats amb el tipus de temps que es donava a Palma de Mallorca i València. D'aquesta manera es van analitzar les situacions diàries fins a aconseguir una agrupació en 18 tipus:

a) Situacions convectives

1. Moviments verticals descendents per subsidència anticiclònica
 - i. Anticicló dinàmic centrat
 - ii. Anticicló tèrmic
2. Moviments verticals per ascendència ciclònica
 - i. Baixa centrada
3. Estat indeterminat entre cicló i anticicló
 - i. Pantà baromètric

b) Situacions advectives

1. Moviments verticals descendents per subsidència anticiclònica
 - i. Advecció anticiclònica zonal
 - ii. Advecció anticiclònica septentrional
2. Moviments verticals per ascendència ciclònica
 - i. Advecció ciclònica
3. Sense moviment vertical
 - i. Advecció zonal
 - ii. Advecció subzonal càlida
 - iii. Advecció subzonal freda
 - iv. Advecció subzonal temperada
 - v. Advecció septentrional
 - vi. Advecció continental europea
 - vii. Advecció continental africana
 - viii. Advecció de llevant en superfície i altura
 - ix. Advecció de llevant en superfície i zonal en altura
 - x. Advecció de llevant en superfície amb baixa en altura
 - xi. Advecció zonal en superfície i amb depressió en altura

La classificació de Raso i Clavero és una de les classificacions més citades i és molt exhaustiva amb uns tipus ben definits. Aquesta classificació es basa en els modes de circulació del flux associat, anticiclònic o ciclònic, i poc en les estructures advectives associades. Només fa esment de situacions concretes de baixa en altura pels casos d'advecció de llevant deixant la resta en un tipus genèric: Advecció ciclònica. Tampoc té en compte els casos en què, associat a una situació poc definida en superfície, es pot tenir un solc en altura i provocar precipitació, o també, la situació en que es té una baixa molt potent al Sud-Oest de la Península Ibèrica i que algunes vegades implica precipitacions a la costa mediterrània.

- **Classificació de Martín-Vide (1987, 1991).**

Aquesta classificació està dissenyada per funcionar sobre la Península Ibèrica i les Balears i es basa en els fluxos en el nivells de superfície i les configuracions de les isohipses al nivell de 500 hPa. Consta de 16 situacions sinòptiques. Aquesta classificació va ser creada per Martín-Vide (1991) fruit d'una revisió de la classificació sinòptica que ell mateix va proposar el 1984 en la seva tesi doctoral (Martín-Vide, 1987).

Les situacions possibles i el tipus de temps que cal esperar en cada una d'elles són les següents:

- a. Advecció de l'Oest o zonal: Isòbares i isohipses en el sentit Oest-Est. En aquesta situació per la zona de Catalunya caldria esperar sobretot vents de l'Oest i en general poca precipitació, tret de la cara Nord del Pirineu (Vall d'Aran) on segons la situació podria comportar pluges dèbils.
- b. Advecció de l'Oest anticiclònica: Isohipes en el sentit Oest-Est i anticicló en superfície. L'anticicló implicaria en general bon temps tot i que a la cara Nord del Pirineu (Vall d'Aran) es podrien produir precipitacions amb aquest tipus de temps.
- c. Advecció del Nord-Oest: Isòbares i isohipses en el sentit Nord-Oest a Sud-Est. Seria una situació en la qual els vents serien forts als dos extrems de Catalunya, però sobretot al Sud, on el vent hi arriba canalitzat per la vall de l'Ebre. En aquesta situació les precipitacions seran força abundants a la cara Nord del Pirineu (Vall d'Aran).

- d. Advecció del Nord: Isòbares i isohipses en el sentit Nord-Sud. Situació molt semblant a l'anterior pel que fa a la zona de Catalunya, tot i que en aquest cas el vent es reforça sobretot a la zona de l'Alt Empordà.
- e. Advecció del Nord-Est: Isòbares i isohipses en el sentit Nord-Est a Sud-Oest. En general per la zona de Catalunya solen aportar aire més aviat sec i fred per tant donarien poques precipitacions.
- f. Advecció de l'Est o de Llevant: Isòbares amb sentit Est-Oest i isohipses amb diverses procedències. En el cas de tenir una situació de vents marítims sense inestabilitat el que caldria esperar és la presència de núvols baixos al llarg de la costa catalana i podrien deixar algun plugim molt dèbil a les muntanyes del Prelitoral.
- g. Advecció de l'Est amb gota freda: Isòbares amb sentit Est-Oest i borrasca en altura. Quan l'advecció d'aire marítim sobre la costa catalana va associat a una baixa en altura, llavors, les precipitacions solen ser molt generoses en tot el Litoral i Prelitoral, donant-se en molts casos episodis torrencials.
- h. Advecció del Sud: Isòbares i isohipses en el sentit Sud-Nord. Les adveccions del Sud en general aporten aire molt sec i càlid del Nord d'Àfrica, mala visibilitat i molt poques precipitacions. Algunes vegades en situacions de Sud, sobretot a l'hivern, solen donar-se precipitacions a la cara Sud Pirineu, ja que per poca inestabilitat que hi hagi, al xocar el vent del Sud amb la serralada i veure's obligat a remuntar acaba donant precipitacions.
- i. Advecció del Sud-Oest: Isòbares i isohipses en el sentit Sud-Oest a Nord-Est. En general en aquestes situacions es produeix nuvolositat de diferent tipus i en alguns cassos, en que aquest vent va associat a una borrasca atlàntica prou activa, pot donar lloc a alguna precipitació dèbil. També en alguns cassos sol donar precipitacions a la cara Sud del Pirineu, pels mateixos mecanismes que el vent del Sud.

- j. Gota freda al Sud-Oest: Borrasca en altura en el Sud-Oest de la Península Ibèrica amb isòbares poc definides del Sud-Oest. Aquesta situació sol donar precipitacions de moderades a fortes a la meitat Sud de la Península però a Catalunya en general n'arriben ben poques. De la mateixa manera que, en les situacions de vent del Sud i del Sud-Oest, es poden donar precipitacions a la cara Sud del Pirineu.
- k. Solc: Tàlveg o solc en altura, normalment a l'Oest de la Península Ibèrica amb una situació poc definida en superfície. En general en aquestes situacions, la part devantera del solc sol ser molt inestable i apareix difluència a 500 hPa. En aquesta situació hi ha molta casuística depenent de com arriba aquest front a Catalunya. En general, els fronts atlàntics arriben molt desgastats a Catalunya pel fet d'haver de travessar la Meseta Castellana i la Serralada Cantàbrica que els deixa amb poca humitat, però hi ha excepcions en les quals aquests fronts donen precipitació a Catalunya. Si el front es mou amb poca velocitat i va mantenint la seva activitat, sol donar precipitacions generals a tot Catalunya, sobretot a l'època freda. També dóna precipitacions quan l'aire fred que arriba es troba aire càlid que fa ascendir amb força i provocar precipitacions convectives, sobretot a l'època càlida. La zona on aquesta situació sempre dóna precipitacions és a la cara Nord del Pirineu (Val d'Aran).
- l. Baixa: En aquest cas tenim tant en altura com en superfície una baixa tancada que sol coincidir en la posició. Tot i que les baixes solen ser les causants de la major part de la precipitació a la Mediterrània Occidental no sempre una baixa implica precipitació. Si la baixa està situada a l'Atlàntic davant de les costes de Portugal o al Sud-Oest de la Península Ibèrica, en general provoquen força nuvolositat però poca precipitació a Catalunya. Si la baixa passa pel Nord de la Península i es mou cap a l'Oest pel Sud de França, provoca grans ventades però les precipitacions queden totalment restringides a la cara Nord del Pirineu. Pel que fa a les baixes mediterrànies, aquestes donen precipitacions a Catalunya quan es situen davant de la costa catalana i solen ser pluges de poca extensió ja que les baixes en general són petites. Algunes vegades després del pas de fronts a la zona del Golf de Lleó i de Gènova es formen baixes que a Catalunya només produeixen un enfortiment dels vents del Nord i Nord-Oest.

- m. Baixa tèrmica: Borrasca dèbil en superfície que porta associat en altura un anticicló o una dorsal. És una situació típicament estiuenca quan degut al fort escalfament que pateix el Sud de la Península durant les onades d'aire càlid del Nord d'Àfrica, s'afavoreix la formació d'una zona de baixes pressions sense reflex en altura. Aquesta situació afavoreix l'entrada de la marineda i sol anar lligada a una precipitació convectiva en zones d'alta muntanya.
- n. Pantà baromètric: Escàs gradient en superfície amb circulació poc definida amb dorsal o anticicló en altura. El poc gradient de pressió en superfície implica vents fluixos que en general afavoreixen la formació de vents locals que en zones de muntanya poden donar lloc a precipitacions si la situació en altura es prou favorable.
- o. Anticicló: Anticicló en altura i en superfície pràcticament coincidents. Quan estem sota la influència d'un anticicló en general cal esperar molta estabilitat, vents fluixos, cels clars i la formació de boires en les fondalades.
- p. Anticicló tèrmic: Típica situació d'anticicló sobre el centre d'Europa associada amb aire molt fred i subsidència que porta associat en altura una borrasca. Aquesta es sol formar a l'hivern i sol portar associades dorsals que es col·loquen sobre la Península Ibèrica. Al igual que el cas d'Anticicló el que caldria esperar és molt fred i la formació de boires a les fondalades.

La classificació de Martín-Vide és molt intuïtiva, exhaustiva i presenta pocs casos. És una classificació molt didàctica i per aquest fet té la virtut de ser molt visual i separa molt bé els casos que responen a dinàmiques diferents. A diferència de la classificació de Clavero y Raso, que es basava en el tipus de circulació del flux, aquesta classificació està basada en la combinació de les direccions principals del flux amb la qual cosa és més senzill d'objectivitzar.

- **Classificació de Capel-Molina (2000).**

En aquesta classificació sinòptica es distingeix 13 tipus característics de la Península Ibèrica, tot i que l'autor no diferencia entre tipus de temps i situació sinòptica, la qual cosa pot comportar certa confusió, ja que no necessàriament una mateixa situació sinòptica ha d'anar associada a un tipus de temps concret (Martín-Vide, 1984).

Per dur a terme aquesta classificació s'agafen els mapes de pressió en superfície i les topografies a 500 i 300 hPa i es fa una distinció entre les situacions ciclòniques i anticiclòniques a partir de les quals s'estableix una subclassificació que inclou els matisos de cada una de les situacions. Simplificant obté els 13 tipus amb els quals basa la seva classificació:

a) Situacions sinòptiques ciclòniques

1. Circulació ràpida

- i. Tipus Nord originat per invasió d'aire àrtic marítim.
- ii. Tipus Nord Oest originat per la invasió d'aire polar marítim
- iii. Tipus de l'Oest

2. Circulació cel·lular

- i. Tipus Nord-Est originat per una invasió d'aire polar continental
- ii. Tipus Nord-Est mixte
- iii. Tipus de Llevant
- iv. Tipus de pantà baromètric

3. Circulació híbrida

- i. Tipus del Sud-Oest

b) Situacions sinòptiques anticiclòniques

- i. Temps anticiclònic oceànic fred
- ii. Temps anticiclònic oceànic càlid
- iii. Temps anticiclònic continental associat a l'anticicló europeu
- iv. Temps anticiclònic, lligat a anticicló ibèric
- v. Temps anticiclònic, lligat a baixa tèrmica

Aquesta classificació es semblant a la de Raso i Clavero ja que parteix sobre el tipus de flux, ciclònic o anticiclònic però més lligada als tipus de temps que no pas a la situació sinòptica, la qual cosa li donaria un punt més de complexitat.

4.3. Metodologia

En primer lloc, destacar que el tipus de classificació que es busca en aquest treball és una classificació sinòptica de tipus objectiu. Per escollir una classificació sinòptica objectiva òptima per abordar les hipòtesis plantejades en aquesta tesi s'han tingut en compte diversos factors (Tveito et al., 2016):

1. **La metodologia ha de ser totalment objectiva.** Ha d'evitar al màxim la intervenció de la subjectivitat a l'hora de definir els tipus. Per exemple, en el fet d'haver de triar centroides inicials, o d'haver de partir d'un número de tipus previ fa que les classificacions basades en clústers, en les PCA o en xarxes neuronals, siguin considerades poc objectives. Una solució a aquest problema seria l'ús conjunt de clústers i components principals com s'ha vist anteriorment
2. **La classificació ha de tenir sentit físic.** Es desitjable que la classificació es basi en estructures dinàmiques que de manera regular es donen en l'atmosfera, per exemple JiC es basa en la vorticitat i els fluxos advectionals, que són els principals factors de circulació en superfície. D'aquesta manera es poden triar tipus que representin dinàmiques ben diferenciades i que a la vegada cobreixin tot l'espectre del fenomen físic que es vol estudiar. A diferència de JiC o la metodologia dels Processos Sinòptics Objectius (PSO), la metodologia en què s'usa tècnica de combinar PCA i clústers, malgrat que és totalment objectiva, li falta el sentit físic, excepte en el cas en que s'usin els tipus de temps per establir les classes, però en aquest cas es perdria tota l'objectivitat.
3. **La classificació ha de ser senzilla d'aplicar i amb pocs casos.** Per estudiar la variabilitat de la precipitació serà desitjable tenir una classificació sinòptica amb pocs casos, ja que els dies de precipitació s'hauran de distribuir segons pertanyin a un tipus sinòptic o a un altre i per estudiar la variabilitat es necessita un nombre suficient de casos. Tot i que alguns autors consideren que amb la reducció de tipus de la classificació, es discrimina la precipitació pel que fa a la seva distribució quantitativa (Tveito, 2010), en el cas d'aquesta tesi no és tan important la distribució de les quantitats sinó que el que s'estudia és la seva variabilitat espacial. Pel que fa a aquest requisit, es compleix per la major part de classificacions. Pel que fa al requisit de simplicitat de la seva aplicació, es descarta la metodologia basada en PSO.

4. **Els patrons de precipitació han d'aparèixer ben diferenciats.** L'estudi sobre la variabilitat de la precipitació que es duu a terme fa necessari que la variabilitat de la precipitació dels dies corresponents a un tipus de temps concret sigui homogènia i en canvi sigui heterogènia amb dies de tipus diferents. En aquest terreny, els mètodes que donen millors resultats són els mètodes amb lindars com el de JiC (Tveito et al., 2016).

5. **La classificació ha de contenir informació dels nivells mitjans (~500 hPa).** En les latituds on es troba Catalunya és important comptar amb el nivell de 500 hPa ja que sovint es donen precipitacions amb estructures dinàmiques que només tenen reflex en altura (Martín-Vide, 2001), fet que normalment implica tenir una situació indefinida en superfície i en canvi als nivells mitjos tenir una depressió que pot causar precipitacions intenses.

Malgrat que la classificació de JiC surt força ben parada en la major part dels requeriments, la seva gran limitació és que no conté el nivell de 500 hPa, la qual cosa la deixa en una posició delicada. Per intentar pal·liar aquesta mancança, s'afegiria informació relativa al nivell de 500 hPa aplicant una variant de JiC per aquest nivell. Però el fet d'afegir un nivell a 500 hPa de JiC, implicaria treballar amb una classificació de més de 400 casos sinòptics, la qual cosa la convertiria en impracticable. Per aquest motiu s'aplicarà una simplificació dels tipus obtinguts a un número limitat de casos, relacionant cada un dels tipus obtinguts amb els d'una classificació sinòptica manual senzilla per la Península Ibèrica. Entre les classificacions sinòptiques manuals per la Península Ibèrica descrites anteriorment és destacada per la seva senzillesa i la facilitat d'objectivització la classificació manual de Martín-Vide, que conté els nivells de superfície i de 500 hPa. També, el fet que les classificacions de Raso i Clavero i Capel-Molina es basin en els tipus de flux i no en combinació de direccions, i que a més aquesta última treballi amb tipus de temps més que en situacions sinòptiques, ha fet decidir usar la classificació de Martín-Vide enfront de les altres.

En resum, la metodologia emprada es basa en construir una classificació sinòptica automàtica basada en JiC, en la qual s'inclouran tant amb la pressió en superfície com en geopotencial a 500 hPa. Aquesta classificació es simplificarà usant la idea de Jones et al (1993), on relaciona la

classificació manual de Lamb amb la seva automatització, la classificació JiC; tot i que en aquest cas, s'establirà la relació entre la nova classificació i la manual de Martín-Vide (1991).

4.3.1. JiC al nivell de superfície

La graella escollida per calcular JiC al nivell de superfície és la que se'ns forma en les interseccions entre els paral·lels 35°, 40° i 45° N amb els meridians 10°W, 0°E i 10°E (Figura 17), altres autors han escollit la graella en diferents posicions (Grimalt et al, 2013), però donat que el nostre interès està lligat a les precipitacions que tenen lloc a Catalunya s'ha decidit centrar-ho al meridià 0° de Greenwich.

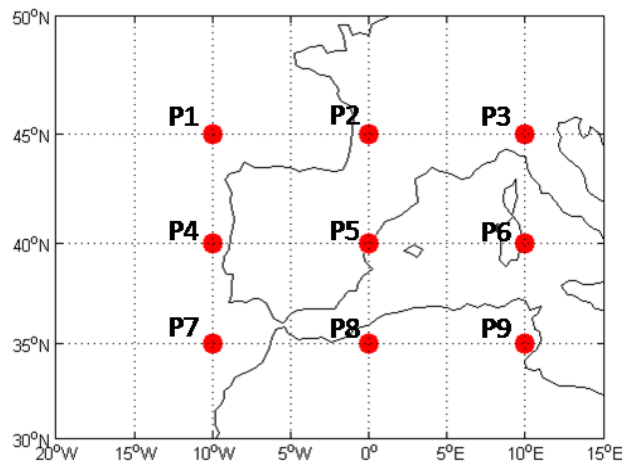


Figura 17: Graella de nou punts dels valors de pressió en superfície, els quals s'usen per calcular els paràmetres de JiC.

4.3.2. JiC al nivell de 500 hPa

La classificació de JiC en superfície resulta insuficient en la zona mediterrània (Martín-Vide, 2001). La influència del nivell de 500 hPa és determinant i casos classificats com a indeterminats, o com una simple advecció de l'Est, poden acabar donant pluges torrencials depenent de la situació predominant a nivells mitjans de l'atmosfera. Una manera de solucionar el problema és afegint a la classificació de JiC en superfície, una classificació a 500 hPa que doni tots els subcasos possibles segons cada cas de superfície.

La classificació de JiC per al nivell de 500 hPa es planteja amb les següents característiques:

- En primer lloc, s'estableix la graella de 9 punts usada per Jenkison i Collison en superfície desplaçada 5° l'Oest. D'aquesta manera, la graella de punts estarà formada per la intersecció entre els paral·lels 35°, 40° i 45° N amb els meridians 15°W, 5° W i 5° E (Figura 18). Aquest desplaçament es fa perquè les estructures en altura fan notar el seu efecte, relacionat sobretot amb la precipitació, malgrat estar encara a l'Oest de la costa mediterrània i quan l'estructura ja està sobre el Mediterrani els efectes d'aquesta ja han passat pel fet de que la costa mediterrània quedaria a la seva esquerra i per tant a la part més estable.

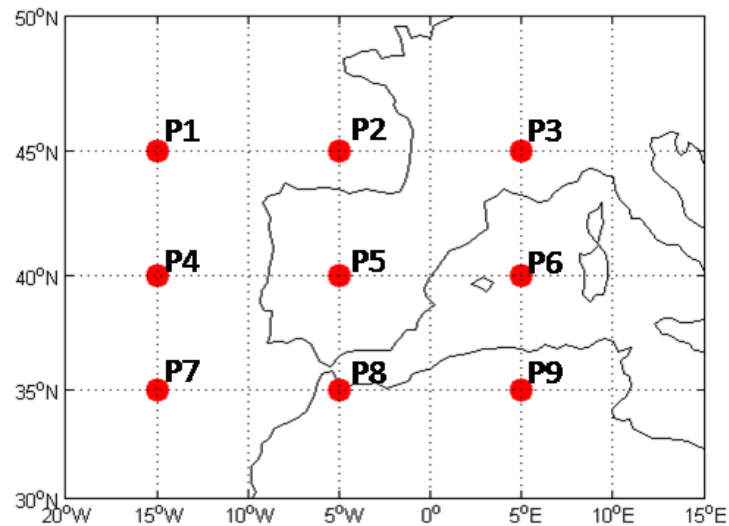


Figura 18: Graella de nou punts dels valors d'altura geopotencial a 500 hPa, els quals s'usen per calcular els paràmetres de JiC.

- Els efectes de les estructures d'isohipses que apareixen a 500 hPa sobre els tipus de temps que cal esperar, són molt diferents dels efectes que produeixen les estructures d'isòbares en superfície. En superfície les adveccions tenen molta importància, sobretot en una zona com la nostra que es frontera entre el clima temperat i el subtropical i està rodejada de mar i muntanyes. En canvi a nivell de 500 hPa el que més ens interessarà és saber si estem parlant d'una **dorsal** (estabilitat), un **solc** (inestabilitat) o un **flux advectiu**.
- A 500 hPa els solcs dèbils que gairebé es podrien considerar com a fluxos purament advectius, sovint impliquen inestabilitat a les zones de muntanya i donen

precipitacions. El contrari ens passaria en el cas de les dorsals ja que si aquestes tenen poca curvatura tenen efectes més propers a un flux advectioniu que no pas a una dorsal pròpiament dita. La qual cosa implicarà haver d'ajustar els llistats de la classificació per tal de ser més o menys restrictius segons el cas, el fet que implicaria certa subjectivitat. De fet les classificacions per llistats es considerarien semi-objectives, ja que malgrat que el procés d'obtenció dels tipus és totalment automàtic, la tria dels llistats no pot estar deslligada de la intervenció humana.

4.3.2.1 Estructures bàsiques dels mapes de 500 hPa

Si es fan servir els mateixos tipus de JiC en altura que en superfície, la classificació que sortiria tenint en compte tots els casos possibles d'ambdues classificacions, seria immensa i difícil de treballar amb ella, la qual cosa obliga a reduir els casos que siguin redundants. Per fer-ho, caldrà determinar primer, quines estructures solen aparèixer a 500 hPa.

En primer lloc, cal fer notar que donats els diferents casos de la classificació de JiC en superfície, els casos corresponents en altura són limitats, és a dir, donada una configuració de pressió en superfície aquesta condiciona les possibles configuracions que caldria esperar en els mapes d'altura geopotencial a 500 hPa. Per exemple, en el cas d'advecció del Nord en superfície, la major part de casos es correspondran amb adveccions del Nord i Nord-Oest en altura i serà difícil tenir una situació de Nord amb un anticicló o una advecció de l'Est en altura.

En segon lloc, notar que les adveccions en altura no són massa interessants, ja que en aquest nivell el que influeix en el tipus de temps que es dona en superfície és el pas de solcs i dorsals i la presència d'anticlons o baixes que es despenguen de la circulació zonal que es forma en el front polar. L'única utilitat que tenen les adveccions és perquè sovint ens marquen la situació de les baixes o els anticlons aplicant la llei de Buys-Ballot (1857).

En general, les estructures dinàmiques més importants que hi ha en altura les podríem classificar en 6 grans grups:

1. **Cicló:** Es correspon al cas en què hi ha un cicló tancat en altura .
2. **Solc:** Es correspon al cas en què es té curvatura ciclònica però que no es correspon amb un cicló tancat.

3. **Anticicló:** Es correspon al cas en què hi ha un anticicló tancat en altura.
4. **Dorsal:** Es correspon al cas en què la circulació és anticiclònica sense tenir un anticicló tancat.
5. **Advectius:** Considerarem aquests casos com Adveccions en altura segons cada direcció.
6. **Indeterminat:** Quan es dóna la configuració indeterminada en altura.

A partir d'aquestes estructures es definiran els tipus de la classificació de JiC a 500 hPa. Els tipus seran els mateixos però s'afegeix la direcció en el cas del solc i la dorsal, perquè en alguns casos concrets saber la direcció ajudarà a discriminar millor com es veurà més endavant. En particular:

- a) En cas d'anticicló en superfície tots els casos advectius en altura (purs, dorsals o solcs) amb direcció Sud-Oest, Oest o Nord-Oest es correspondran amb el tipus d'Advecció de l'Oest Anticiclònica de la classificació de Martín-Vide. Per altra banda, en cas de tenir anticicló en superfície i un solc advectioniu en altura de direcció Nord o Nord-Est, el més probable és estar sota la influència d'un anticicló tèrmic, ja que situaria les altes pressions a Europa Central que és on solen formar-se.
- b) En el cas que hi hagi un cicló en superfície, si en altura es donen adveccions o bé dorsals o bé purs, si aquestes vénen de l'Oest, Sud-Oest, Sud, Est o Sud-Est es correspondrà amb la baixa tèrmica de Martín-Vide. Si bé en general seria lògic pensar, que en el cas que en superfície hi hagi un cicló i aquest no tingui reflex en altura, es consideri una baixa tèrmica, quan les adveccions són de Nord-Est, Nord o Nord-Oest la situació que sol donar-se és la típica formació d'una mesobaixa orogràfica entre el golf de Lleó i de Gènova.
- c) Quan es té una situació indeterminada en superfície, un solc en altura se sol correspondre amb el tipus Solc de la classificació manual de Martín-Vide. Però en el casos en que el solc advectioniu té les direccions Sud, Sud-Oest o Sud-Est llavors es considerarà que s'està en el tipus Gota freda al Sud-Oest de Martín-Vide, ja que seria el cas en què el solc encara estaria molt situat a l'Oest i per tant la zona d'inestabilitat en altura se situaria al Sud Oest de la Península Ibèrica.

Així doncs, en altura parlariem de les següents estructures bàsiques: **Cicló en altura**, **Solc Advectioniu en altura** (segons direcció), **Anticicló en altura**, **Dorsal Advectioniu en altura** (segons direcció), **Advecció en altura** (segons direcció) i **Indeterminat**. Però cal recordar que aquests casos no es donen tots per cada cas en superfície tal com es veurà més endavant.

4.3.2.2 Llinars de la classificació de JiC a 500 hPa i relació amb les estructures abans definides

A part de les diferències entre el funcionament de les estructures que apareixen en els mapes de superfície i en les topografies a 500 hPa, és important notar que aquestes també presenten diferències morfològiques. En general les estructures a 500 hPa presenten una forma més suavitzada i ben definida, i els solcs, per dèbils que siguin, ja solen anar associats a inestabilitat i per contra les dorsals dèbils poden ser perfectament considerades com casos advectionius. Aquest fet obligarà a ajustar els paràmetres que s'usen en el cas d'aplicar JiC amb els mapes de pressió en superfície. Els nous paràmetres quedaran ajustats de la següent manera:

A partir dels punts de graella escollits (Figura 18), calculem els diferents paràmetres, relacionats amb la direcció (D), el flux (F) i la vorticitat (Z), tal com ho vàrem fer amb JiC en superfície:

$$W = 0.25[(P7 + 2P8 + P9) - (P1 + 2P2 + P3)]$$

$$S = 0.653[0.25(P3 + 2P6 + P9) - 0.25(P1 + 2P4 + P7)]$$

$$D = \arctg(W/S)$$

$$F = (W^2 + S^2)^{1/2}$$

$$ZW = 1.056[(P7 + 2P8 + P9) - (P4 + 2P5 + P6)] \\ - 0.951[(P4 + 2P5 + P6) - (P1 + 2P2 + P3)]$$

$$ZS = 1.305[0.25(P3 + 2P6 + P9) - 0.25(P2 + 2P5 + P8) - 0.25(P2 + 2P5 + P8) \\ + 0.25(P1 + 2P4 + P7)]$$

$$Z = ZW + ZS$$

1. Per calcular la direcció del flux usem la D, però com l'arctangent és una funció que només cobreix de $-\pi/2$ fins a $\pi/2$ haurem de tenir en compte els signes de les components del flux (W i S) per calcular la direcció exacta.
2. Si estem en el cas ciclònic ($Z>0$) i $|Z| < \left(\frac{3}{9}\right) * F$ o bé en el cas anticiclònic ($Z<0$) i $|Z| < \left(\frac{4}{3}\right) * F$ llavors estarem parlant d'un tipus **Advecció en altura** (segons direcció). El canvi de l'indarc respon a que en el cas ciclònic ens interessa que part del casos classificats com advection pures siguin considerats ciclònics, perquè sovint, solcs molt dèbils poden donar inestabilitat a zones de muntanya. Per contra, en els casos anticiclònics ens interessa que casos considerats com a anticiclònics puguin ser considerats adveccions pures.
3. Si $|Z| > 6F$ llavors estarem parlant d'un tipus **Cicló en altura** si $Z > 0$ o **Anticicló en altura** si $Z < 0$. Som més restrictius perquè en altura els ciclons i els anticiclons sempre apareixen ben delimitats.
4. Si $\left(\frac{1}{3}\right) * F < |Z| < 6F$ (en el cas ciclònic) llavors parlarem de **Solc en altura**.
5. Si $\left(\frac{4}{3}\right) * F < |Z| < 6F$ (en el cas anticiclònic) llavors parlarem de **Dorsal Advection en altura** (segons direcció).
6. Si $F < 6$ i $|Z| < 6$ llavors es parla d'un tipus que s'anomena **Indeterminat**.

4.3.3 Nova proposta de classificació sinòptica objectiva

Malgrat que amb la classificació de JiC a 500 hPa es redueix el nombre de tipus respecte la classificació en superfície, obtenir una classificació sinòptica que inclogui les dues i que sigui senzilla d'usar no és immediat ja que ara ens sortirien 28 casos en superfície i 21 en altura, la qual cosa implicaria tenir més de 400 possibilitats.

Per tal de donar una classificació sinòptica automàtica que inclogui la informació de superfície i la de 500 hPa, que sigui senzilla i relacionada amb els tipus de temps a la Península Ibèrica, es proposa relacionar els tipus obtinguts amb JiC en superfície i a 500 hPa amb els tipus de la classificació manual de Martín-Vide (1991), inspirada dins l'àmbit de la Península Ibèrica. A partir dels tipus de la classificació manual es construiran els tipus de la classificació automàtica, d'una manera semblant a com Jones et al. (1993) relacionava la classificació de Lamb (1972) amb la de JiC.

A partir d'aquesta classificació s'aniran agrupant els casos que apareixen en les classificacions de JiC en superfície i a 500 hPa i s'obtidran uns nous tipus vinculats a la classificació manual.

4.3.4 Relació de la nova classificació amb la classificació de Martín-Vide

Després d'una anàlisi exhaustiva s'ha construït la següent taula on a partir de cada un dels tipus de les classificacions automàtiques, superfície (sfc) i 500 hPa, es busca un tipus de la classificació manual de Martín-Vide:

| JiC sfc | JiC 500 hPa | Martín-Vide corresponent |
|---------|--|----------------------------------|
| A | Anticicló | Anticicló |
| | Dorsal Advectiva (Sud-Oest,Oest,Nord-Oest) | Advecció de l'Oest anticiclònica |
| | Dorsal Advectiva (Sud,Sud-Est,Est,Nord-Est,Nord) | Anticicló |
| | Cicló | Anticicló tèrmic |
| | Solc Advectiu (Sud-Oest,Oest,Nord-Oest) | Advecció de l'Oest anticiclònica |
| | Solc Advectiu (Nord,Nord-Est) | Anticicló tèrmic |
| | Solc Advectiu (Sud,Sud-Est,Est) | Anticicló |
| | Advecció en altura (Sud,Sud-Est,Est,Nord-Est,Nord) | Anticicló |
| | Advecció en altura (Sud-Oest,Oest,Nord-Oest) | Advecció de l'Oest anticiclònica |
| | Indeterminat | Anticicló |
| AE | Anticicló | Advecció de l'Est |

| JiC sfc | JiC 500 hPa | Martín-Vide corresponent |
|---------|---|----------------------------------|
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció de l'Est |
| | Cicló | Advecció de l'Est amb gota freda |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció de l'Est amb gota freda |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció de l'Est |
| | Indeterminat | Advecció de l'Est |
| ASE | Repetim el mateix que AE | Repetim el mateix que amb Est |
| AS | Anticicló | Advecció del Sud |
| | Dorsal Advectiva (totes) | Advecció del Sud |
| | Cicló | Advecció del Sud |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció del Sud |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció del Sud |
| | Indeterminat | Advecció del Sud |
| ASW | Anticicló | Advecció del Sud-Oest |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció del Sud-Oest |
| | Cicló | Advecció del Sud-Oest |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció del Sud-Oest |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció del Sud-Oest |
| | Indeterminat | Advecció del Sud-Oest |
| AW | Anticicló | Advecció de l'Oest anticiclònica |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció de l'Oest anticiclònica |
| | Cicló | Advecció de l'Oest anticiclònica |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció de l'Oest anticiclònica |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció de l'Oest anticiclònica |
| | Indeterminat | Advecció de l'Oest anticiclònica |
| ANW | Anticicló | Advecció del Nord-Oest |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció del Nord-Oest |
| | Cicló | Advecció del Nord-Oest |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció del Nord-Oest |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció del Nord-Oest |
| | Indeterminat | Advecció del Nord-Oest |

| JiC sfc | JiC 500 hPa | Martín-Vide corresponent |
|---------|---|----------------------------------|
| AN | Anticicló | Advecció del Nord |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció del Nord |
| | Cicló | Advecció del Nord |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció del Nord |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció del Nord |
| | Indeterminat | Advecció del Nord |
| ANE | Anticicló | Advecció del Nord-Est |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció del Nord-Est |
| | Cicló | Advecció del Nord-Est |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció del Nord-Est |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció del Nord-Est |
| | Indeterminat | Advecció del Nord-Est |
| C | Anticicló | Baixa tèrmica |
| | Dorsal Advectiva (Oest,Sud-Oest,Sud,Est,Sud-Est) | Baixa tèrmica |
| | Dorsal Advectiva(Nord-Est,Nord,Nord-Oest) | Cicló |
| | Cicló | Cicló |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Cicló |
| | Advecció en altura(Oest,Sud-Oest,Sud,Est,Sud-Est) | Baixa tèrmica |
| | Advecció en altura (Nord-Est,Nord,Nord-Oest) | Cicló |
| | Indeterminat | Baixa tèrmica |
| CE | Anticicló | Advecció de l'Est |
| | Dorsal Advectiva(totes les direccions) | Advecció de l'Est |
| | Cicló | Advecció de l'Est amb gota freda |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció de l'Est amb gota freda |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció de l'Est |
| | Indeterminat | Advecció de l'Est |
| CSE | Repetim el mateix que amb CE | Repetim el mateix que amb Est |

| JiC sfc | JiC 500 hPa | Martín-Vide corresponent |
|---------|---|--------------------------|
| CS | Anticicló | Advecció del Sud |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció del Sud |
| | Cicló | Advecció del Sud |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció del Sud |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció del Sud |
| | Indeterminat | Advecció del Sud |
| CSW | Anticicló | Advecció del Sud-Oest |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció del Sud-Oest |
| | Cicló | Advecció del Sud-Oest |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció del Sud-Oest |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció del Sud-Oest |
| | Indeterminat | Advecció del Sud-Oest |
| CW | Anticicló | Advecció de l'Oest |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció de l'Oest |
| | Cicló | Solc |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Solc |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció de l'Oest |
| | Indeterminat | Advecció de l'Oest |
| CNW | Anticicló | Advecció del Nord-Oest |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció del Nord-Oest |
| | Cicló | Advecció del Nord-Oest |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció del Nord-Oest |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció del Nord-Oest |
| | Indeterminat | Advecció del Nord-Oest |
| CN | Anticicló | Advecció del Nord |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció del Nord |
| | Cicló | Advecció del Nord |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció del Nord |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció del Nord |
| | Indeterminat | Advecció del Nord |

| JiC sfc | JiC 500 hPa | Martín-Vide corresponent |
|---------|---|----------------------------------|
| CNE | Anticicló | Advecció del Nord-Est |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció del Nord-Est |
| | Cicló | Advecció del Nord-Est |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció del Nord-Est |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció del Nord-Est |
| | Indeterminat | Advecció del Nord-Est |
| E | Anticicló | Advecció de l'Est |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció de l'Est |
| | Cicló | Advecció de l'Est amb gota freda |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció de l'Est amb gota freda |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció de l'Est |
| | Indeterminat | Advecció de l'Est |
| SE | Repetim el mateix que amb E | Repetim el mateix que amb Est |
| S | Anticicló | Advecció del Sud |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció del Sud |
| | Cicló | Advecció del Sud |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció del Sud |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció del Sud |
| | Indeterminat | Advecció del Sud |
| SW | Anticicló | Advecció del Sud-Oest |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció del Sud-Oest |
| | Cicló | Advecció del Sud-Oest |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció del Sud-Oest |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció del Sud-Oest |
| | Indeterminat | Advecció del Sud-Oest |
| W | Anticicló | Advecció de l'Oest |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció de l'Oest |
| | Cicló | Advecció de l'Oest |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció de l'Oest |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció de l'Oest |

| JiC sfc | JiC 500 hPa | Martín-Vide corresponent |
|---------|--|--------------------------|
| | Indeterminat | Advecció de l'Oest |
| NW | Anticicló | Advecció del Nord-Oest |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció del Nord-Oest |
| | Cicló | Advecció del Nord-Oest |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció del Nord-Oest |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció del Nord-Oest |
| | Indeterminat | Advecció del Nord-Oest |
| N | Anticicló | Advecció del Nord |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció del Nord |
| | Cicló | Advecció del Nord |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció del Nord |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció del Nord |
| | Indeterminat | Advecció del Nord |
| NE | Anticicló | Advecció del Nord-Est |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Advecció del Nord-Est |
| | Cicló | Advecció del Nord-Est |
| | Solc Advectiu (totes les direccions) | Advecció del Nord-Est |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Advecció del Nord-Est |
| | Indeterminat | Advecció del Nord-Est |
| I | Anticicló | Pantà Baromètric |
| | Dorsal Advectiva (totes les direccions) | Pantà Baromètric |
| | Cicló | Solc |
| | Solc Advectiu (Sud,Sud-Oest,Sud-Est) | Gota freda al Sud-Oest |
| | Solc Advectiu (Est,Nord-Est,Nord,Nord-Oest,Oest) | Solc |
| | Advecció en altura (totes les direccions) | Pantà Baromètric |
| | Indeterminat | Pantà Baromètric |

Taula 1: Relacions entre les classificacions automàtiques de JiC en superfície i a 500 hPa i la classificació manual de Martín-Vide.

A partir d'aquestes relacions obtingudes podem definir 16 tipus automàtics, fruit de les combinacions entre les classificacions de JiC en superfície i a 500 hPa i que es corresponen amb els 16 tipus manuals de Martín-Vide.

És curiós observar com per situacions advectiones de l'Est i Sud-Est tenim molts més casos d'inestabilitat en altura que en els casos del Nord, Nord-Oest i Oest en el que pràcticament són inexistents. Aquest mecanisme, fa que molt sovint hi hagi associada inestabilitat en altura amb fluxos de llevant i són una característica climàtica molt important del Mediterrani occidental que sense aquests mecanismes seria molt més sec del que és, pel fet d'estar a sotavent de la meseta i les serralades que conformen el relleu de la Península Ibèrica.

4.3.5. Validació de la nova classificació automàtica obtinguda amb la manual de Martín-Vide

S'ha obtingut una classificació automàtica de 16 tipus a partir de la combinació dels tipus de JiC en superfície i a 500 hPa. Aquests 16 tipus s'han derivat directament a partir de la relació amb la classificació manual de Martín-Vide i per tant hi estan totalment vinculats. A cada tipus de la classificació automàtica obtinguda li correspon unívocament un tipus de la classificació manual de Martín-Vide.

Per tal de comprovar que la classificació automàtica definida és coherent amb la manual de Martín-Vide s'ha fet un test del mètode amb deu anys de dades; des de l'1 de setembre del 1957 fins al 31 d'agost del 1967.

Una vegada s'ha calculat dia a dia la classificació manual de Martín-Vide amb l'automàtica de JiC modificat es veu que les dues classificacions coincideixen en el 84 % del casos la qual cosa suposa un percentatge força alt.

Si mirem amb quines proporcions s'obtenen de cada un dels tipus segons la classificació usada, manual o automàtica, es veu que els percentatges són molt semblants (Taula 2 i Figura 19), la qual cosa ens fa pensar en què els dos mètodes són comparables i que segueixen un comportament semblant:

| TIPUS | Martín-Vide (%) | JiC modificat (%) |
|-----------------------|-----------------|-------------------|
| Solc | 6,4 | 6,1 |
| Pantà Baromètric | 14,6 | 15,1 |
| Advecció del Sud | 1,6 | 1,9 |
| Advecció del Sud-Oest | 4,8 | 5,1 |

| TIPUS | Martín-Vide (%) | JiC modificat (%) |
|----------------------------------|-----------------|-------------------|
| Advecció de l'Oest | 5,7 | 5,8 |
| Advecció del Nord-Oest | 6,6 | 6,7 |
| Advecció del Nord | 6,2 | 5,9 |
| Advecció del Nord-Est | 6,8 | 6,3 |
| Advecció de l'Est | 2,5 | 2,7 |
| Advecció de l'Est amb gota freda | 3,9 | 3,4 |
| Advecció de l'Oest Anticiclònica | 12,5 | 12,8 |
| Anticicló tèrmic | 0,4 | 0,3 |
| Anticicló | 3,8 | 3,3 |
| Cicló | 17,1 | 17,1 |
| Baixa Tèrmica | 5,4 | 6,0 |
| Gota freda al Sud-Oest | 1,7 | 1,4 |

Taula 2: Taula amb els percentatges de cada una de les classificacions sinòptiques, la manual de Martín-Vide i l'automàtica fruit de la combinació de JiC en superfície i a 500 hPa.

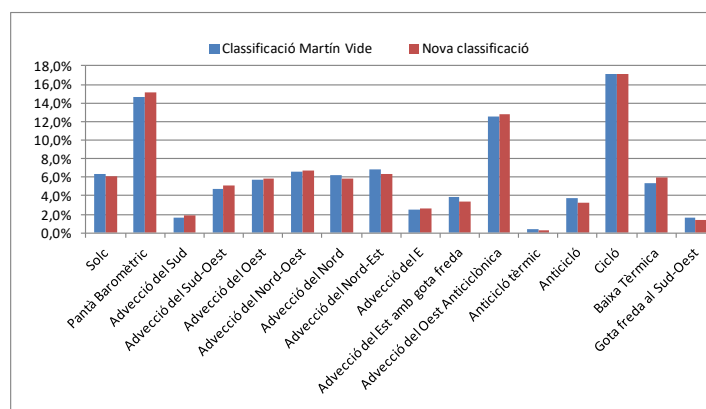


Figura 19: En aquesta gràfica es veu clarament com ambdues classificacions presenten un comportament molt semblant.

- **Test de Khi-quadrat (χ^2)**

Per comprovar que les dues classificacions són semblants aplicarem el test Khi-quadrat que serveix tant per calcular la bondat d'ajust d'una determinada distribució de freqüències a una distribució donada, com per calcular la independència de dues variables comparades en parelles.

El primer pas per poder comparar dues variables i veure la seva independència és de construir la taula de contingència de manera que mostri les freqüències observades de cada variable (O_{ij}).

Per altra banda, calculem les freqüències que caldria esperar en cas que fossin independents. Si les dues variables fossin independents llavors la taula de contingència dels valors esperats s'hauria de comportar com una distribució uniforme, es repartiria segons l'atzar i hauria de tenir aquesta forma:

$$E_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^m O_{i,k} \sum_{k=1}^n O_{k,j}}{N},$$

on n representa el número de files i m el número de columnes i N és el total de freqüències observades.

Per comprovar si les freqüències observades de les teòriques són comparables s'usa el test Khi-quadrat el qual consisteix en calcular l'estadístic:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{(O_{i,j} - E_{i,j})^2}{E_{i,j}}$$

on:

χ^2 = és l'estadístic que s'apropa asimptòticament a una distribució χ^2 amb $m+n-1$ graus de llibertat.

Si ens fixem en la fórmula de l'estadístic χ^2 tenim que les dues variables són més independents quan χ^2 és més prop de zero. El que es vol saber és quan prop de zero ha de ser aquest valor perquè les dues variables puguin ser considerades com a independents. Per

aquest motiu es fixa com hipòtesi nul·la (H_0) que les dues variables no siguin independents i s'exigeix una significança de $p=0.05$, la qual cosa equival a dir que la probabilitat de rebutjar la hipòtesi H_0 essent certa sigui només del 5%. L'acceptació o no d'aquesta hipòtesi és fa a partir del valor de χ^2 en les taules corresponents.

En el cas que estem tractant, les dues variables aleatòries que volem comparar són els 16 tipus de temps obtinguts amb la classificació automàtica i els 16 tipus de temps obtinguts amb la classificació manual. Afirmar que la classificació automàtica i la manual siguin equivalents equival a dir que entre les dues variables hi ha una relació de dependència, és a dir que s'hauria de rebutjar la hipòtesi nul·la, que diu que les dues variables són independents.

Les taules de contingència per les dues variables aleatòries $X=\{ \text{Tipus Automàtics} \}$ i $Y=\{ \text{Tipus Manuals} \}$ observada i esperada serien en aquest ordre:

| | X = (Tipus Automàtic) | | | | | | | | | | | | | | | | Total | |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|------------------|--------------|--------|-----------------|---------------------|-------|---------|
| | Adveccion del E | Adveccion del E con gota fria | Adveccion del N | Adveccion del NE | Adveccion del NW | Adveccion del S | Adveccion del SW | Adveccion del W | Adveccion del W anticlonica | Adveccion del W Anticlonica | Anticlon | Anticlon termico | Baja Térmica | Ciclón | Gota fria al SW | Pantano Barometrico | | Vaguada |
| Adveccion del E | 71 | 4 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 1 | 90 |
| Adveccion del E con gota fria | 12 | 116 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 6 | 144 |
| Adveccion del N | 0 | 0 | 203 | 9 | 5 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 3 | 4 | 228 |
| Adveccion del NE | 4 | 1 | 5 | 215 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 8 | 0 | 7 | 3 | 247 |
| Adveccion del NW | 0 | 0 | 0 | 0 | 229 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 0 | 1 | 0 | 240 |
| Adveccion del S | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 59 |
| Adveccion del SW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 167 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 175 |
| Adveccion del W | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 191 | 4 | 1 | 0 | 0 | 3 | 4 | 0 | 0 | 4 | 207 |
| Adveccion del W anticlonica | 2 | 0 | 1 | 0 | 4 | 2 | 0 | 4 | 385 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 43 | 1 | 447 |
| Adveccion del W Anticlonica | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 9 |
| Anticlon | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40 | 0 | 95 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 140 |
| Anticlon termico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 5 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| Baja Térmica | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 152 | 14 | 0 | 21 | 3 | 196 |
| Ciclón | 4 | 3 | 3 | 1 | 0 | 6 | 5 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 35 | 554 | 1 | 5 | 7 | 626 |
| Gota fria al SW | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 45 | 4 | 7 | 62 |
| Pantano Barometrico | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 4 | 6 | 8 | 0 | 7 | 0 | 8 | 14 | 4 | 443 | 32 | 534 |
| Vaguada | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 2 | 7 | 6 | 10 | 0 | 3 | 0 | 9 | 19 | 1 | 16 | 155 | 233 |
| Total | 97 | 125 | 215 | 231 | 246 | 69 | 187 | 213 | 460 | 9 | 120 | 10 | 219 | 625 | 52 | 550 | 224 | 3652 |

Taula 3: Taula contingència on es mostra el nombre coincidències entre els tipus de la classificació automàtica (Eix X) i els tipus de la classificació manual (Eix Y). És el que s'anomena freqüències observades

| | | X = (Tipus Automàtic) | | | | | | | | | | | | | | | Total | | |
|--------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|------------------|--------------|--------|-----------------|-------|---------------------|---------|
| | | Adveccion del E | Adveccion del E con gota fria | Adveccion del N | Adveccion del NE | Adveccion del NW | Adveccion del S | Adveccion del SW | Adveccion del W | Adveccion del W anticlonica | Adveccion del W Anticlonica | Anticlon | Anticlon termico | Baja Térmica | Ciclon | Gota fria al SW | | Pantano Barometrico | Vaguada |
| Y = (Tipus Manual) | Adveccion del E | 2,4 | 3,1 | 5,3 | 5,7 | 6,1 | 1,7 | 4,6 | 5,2 | 11,3 | ,2 | 3,0 | ,2 | 5,4 | 15,4 | 1,3 | 13,6 | 5,5 | 90,0 |
| | Adveccion del E con gota fria | 3,8 | 4,9 | 8,5 | 9,1 | 9,7 | 2,7 | 7,4 | 8,4 | 18,1 | ,4 | 4,7 | ,4 | 8,6 | 24,6 | 2,1 | 21,7 | 8,8 | 144,0 |
| | Adveccion del N | 6,1 | 7,8 | 13,4 | 14,4 | 15,4 | 4,3 | 11,7 | 13,3 | 28,7 | ,6 | 7,5 | ,6 | 13,7 | 39,0 | 3,2 | 34,3 | 14,0 | 228,0 |
| | Adveccion del NE | 6,6 | 8,5 | 14,5 | 15,6 | 16,6 | 4,7 | 12,6 | 14,4 | 31,1 | ,6 | 8,1 | ,7 | 14,8 | 42,3 | 3,5 | 37,2 | 15,2 | 247,0 |
| | Adveccion del NW | 6,4 | 8,2 | 14,1 | 15,2 | 16,2 | 4,5 | 12,3 | 14,0 | 30,2 | ,6 | 7,9 | ,7 | 14,4 | 41,1 | 3,4 | 36,1 | 14,7 | 240,0 |
| | Adveccion del S | 1,6 | 2,0 | 3,5 | 3,7 | 4,0 | 1,1 | 3,0 | 3,4 | 7,4 | ,1 | 1,9 | ,2 | 3,5 | 10,1 | ,8 | 8,9 | 3,6 | 59,0 |
| | Adveccion del SW | 4,6 | 6,0 | 10,3 | 11,1 | 11,8 | 3,3 | 9,0 | 10,2 | 22,0 | ,4 | 5,8 | ,5 | 10,5 | 29,9 | 2,5 | 26,4 | 10,7 | 175,0 |
| | Adveccion del W | 5,5 | 7,1 | 12,2 | 13,1 | 13,9 | 3,9 | 10,6 | 12,1 | 26,1 | ,5 | 6,8 | ,6 | 12,4 | 35,4 | 2,9 | 31,2 | 12,7 | 207,0 |
| | Adveccion del W anticlonica | 11,9 | 15,3 | 26,3 | 28,3 | 30,1 | 8,4 | 22,9 | 26,1 | 56,3 | 1,1 | 14,7 | 1,2 | 26,8 | 76,5 | 6,4 | 67,3 | 27,4 | 447,0 |
| | Adveccion del W Anticlonica | ,2 | ,3 | ,5 | ,6 | ,6 | ,2 | ,5 | ,5 | 1,1 | ,0 | ,3 | ,0 | ,5 | 1,5 | ,1 | 1,4 | ,6 | 9,0 |
| | Anticlon | 3,7 | 4,8 | 8,2 | 8,9 | 9,4 | 2,6 | 7,2 | 8,2 | 17,6 | ,3 | 4,6 | ,4 | 8,4 | 24,0 | 2,0 | 21,1 | 8,6 | 140,0 |
| | Anticlon termico | ,4 | ,5 | ,9 | ,9 | 1,0 | ,3 | ,8 | ,9 | 1,9 | ,0 | ,5 | ,0 | ,9 | 2,6 | ,2 | 2,3 | ,9 | 15,0 |
| | Baja Térmica | 5,2 | 6,7 | 11,5 | 12,4 | 13,2 | 3,7 | 10,0 | 11,4 | 24,7 | ,5 | 6,4 | ,5 | 11,8 | 33,5 | 2,8 | 29,5 | 12,0 | 196,0 |
| | Ciclon | 16,6 | 21,4 | 36,9 | 39,6 | 42,2 | 11,8 | 32,1 | 36,5 | 78,8 | 1,5 | 20,6 | 1,7 | 37,5 | 107,1 | 8,9 | 94,3 | 38,4 | 626,0 |
| | Gota fria al SW | 1,6 | 2,1 | 3,7 | 3,9 | 4,2 | 1,2 | 3,2 | 3,6 | 7,8 | ,2 | 2,0 | ,2 | 3,7 | 10,6 | ,9 | 9,3 | 3,8 | 62,0 |
| | Pantano Barometrico | 14,2 | 18,3 | 31,4 | 33,8 | 36,0 | 10,1 | 27,3 | 31,1 | 67,3 | 1,3 | 17,5 | 1,5 | 32,0 | 91,4 | 7,6 | 80,4 | 32,8 | 534,0 |
| | Vaguada | 6,2 | 8,0 | 13,7 | 14,7 | 15,7 | 4,4 | 11,9 | 13,6 | 29,3 | ,6 | 7,7 | ,6 | 14,0 | 39,9 | 3,3 | 35,1 | 14,3 | 233,0 |
| | Total | 97,0 | 125,0 | 215,0 | 231,0 | 246,0 | 69,0 | 187,0 | 213,0 | 460,0 | 9,0 | 120,0 | 10,0 | 219,0 | 625,0 | 52,0 | 550,0 | 224,0 | 3652,0 |

Taula 4: Taula de contingència on es mostren les coincidències que caldria esperar entre els tipus automàtics (Eix X) i els tipus manuals (Eix Y) en el cas que les variables fossin independents. Serien les freqüències esperades

El càlcul de l'estadístic és:

$$\chi^2 = \frac{(71-2.45)^2}{2.4} + \frac{(4-3.1)^2}{3.1} + \frac{(0-5.3)^2}{5.3} + \dots + \frac{(16-35.1)^2}{35.1} + \frac{(155-14.3)^2}{14.3} = 39576,657$$

Com ja s'ha dit, perquè les dues variables siguin independents la freqüència observada i la esperada haurien de ser pròximes, és a dir, s'hauria d'obtenir un valor de l'estadístic χ^2 obtingut significativament petit.

Ara bé, tenim que χ^2 es comporta com una distribució Khi-quadrat amb 256 graus de llibertat. Mirant les taules obtindríem que per $p=0.05$ $\chi^2=13624,082$. Tenim que $39576,657 > 13624,082$ i per tant no s'accepta la hipòtesi nul·la. D'aquesta manera es pot afirmar que els valors de les dues variables aleatòries són dependents, la qual cosa indica que les dues classificacions són equivalents.

- **Correlació de Pearson**

El coeficient de correlació de Pearson (1895) entre dues variables aleatòries X i Y es defineix com:

$$r = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y}$$

on S_{XY} representa la covariància entre les dues variables, mentre que S_X i S_Y representen les respectives desviacions típiques. A la pràctica aquest coeficient s'usa per mesurar el grau de relació lineal entre dues variables aleatòries. Si $r = 1$ llavors es diu que la correlació és perfecta, quan el valor de $0 < r < 1$ llavors es diu que hi ha correlació positiva, si $r = 0$ llavors diem que les dues variables estan no-correlacionades, i si $-1 < r < 0$ llavors es parla de correlació negativa.

Una vegada calculades les correlacions entre dues variables aleatòries interessarà veure si aquestes correlacions obtingudes són estadísticament significatives o no. Pot passar que malgrat calcular el coeficient de correlació de la una mostra (r) aquest tingui valors entre 0 i 1, i en realitat la correlació de la població (ρ) presenta correlació zero. Això dependrà de la mida de la mostra amb la qual es treballa i el coeficient de correlació obtingut amb la mostra. Per aquest fet el que es fa és plantejar el següent test d'hipòtesi:

1. H_0 : La correlació obtinguda prové d'una població en la qual $\rho=0$.
2. H_1 : La correlació obtinguda prové d'una població en la qual $\rho \neq 0$.

En el cas de tenir una població amb $\rho=0$ es compleix que els coeficients obtinguts amb cada una de les mostres d'aquesta població segueix una distribució t-Student de N-2 graus de llibertat amb mitjana zero i desviació tipus:

$$S = \frac{r-0}{\sqrt{\frac{1-r^2}{N-2}}}, \text{ on } N \text{ representa el número de la mostra.}$$

Així doncs, usant l'estadístic:

$$t = \frac{r - 0}{S} = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{N-2}}}$$

a partir de les taules de la t-student podem calcular els valors amb el nivell de significació α que exigim. De manera que si $t > t_{(\alpha, N-2)}$ llavors es rebutja la hipòtesi nul·la i s'accepta que la població té correlació diferent de zero i per tant les mostres estan relacionades. Si per contra $t < t_{(\alpha, N-2)}$ llavors s'accepta la hipòtesi nul·la i les dues mostres no estarien relacionades.

El coeficient de correlació, s'aplicarà per veure si existeix una correlació mensual dels tipus manuals i automàtics de les classificacions usades. És a dir, es comprovarà que les ocurrències mensuals de cada un dels tipus de temps estan correlacionades.

Suposem que les variables aleatòries siguin les ocurrències mensuals de cada un dels tipus de la classificació sinòptica automàtica (X) i de la classificació sinòptica manual (Y). Per cada una d'aquestes es calcularà el coeficient de correlació de Pearson i el seu nivell de significació (que es dependent del número d'elements de la mostra):

| | Correlació | Sig. |
|----------------------------------|------------|------|
| Vaguada | 0,707 | 0,0 |
| Advecció de l'Est | 0,822 | 0,0 |
| Advecció de l'Est con gota fria | 0,913 | 0,0 |
| Advecció del Nord | 0,964 | 0,0 |
| Advecció del Nord-Est | 0,952 | 0,0 |
| Advecció del Nord-Oest | 0,983 | 0,0 |
| Advecció del Sud | 0,934 | 0,0 |
| Advecció del Sud-Oest | 0,969 | 0,0 |
| Advecció de l'Oest | 0,983 | 0,0 |
| Advecció de l'Oest Anticiclónica | 0,904 | 0,0 |
| Anticicló | 0,846 | 0,0 |

| | Correlació | Sig. |
|------------------------|------------|------|
| Anticicló tèrmic | 0,782 | 0,0 |
| Baixa Tèrmica | 0,877 | 0,0 |
| Cicló | 0,936 | 0,0 |
| Gota freda al Sud-Oest | 0,892 | 0,0 |
| Pantà Baromètric | 0,908 | 0,0 |

Taula 5: Coeficient de correlació de Pearson i nivell de significança. Nivells de significació menors que 0,01 indiquen que les dues mostres estan correlacionades amb una confiança del 99%.

Tot i que en general les correlacions són força elevades, la qual cosa implica que en base als comptatges mensuals les dues classificacions estan molt relacionades hi ha alguns tipus de temps que donen unes correlacions relativament baixes. Els tipus de temps que donen una correlació més baixa són: El solc, que ben just supera el 0,7 i l'Anticicló tèrmic, amb un 0,782. En aquests casos les moderades correlacions caldria buscar-les en:

- 1.- Degut al propi disseny del mètode de JiC, el tipus solc queda sovint classificat com a advecció del Oest.
- 2.- L'anticicló tèrmic hi ha molts pocs casos i per tant la correlació és quelcom aleatòria.

La resta de valors són força significatius i presenten molts casos amb valors superiors al 0,90. Es destaca sobretot l'alta correlació de les situacions advectives de Nord-Est, Nord, Nord-Oest, Oest i Sud-Oest que normalment queden molt clares i amb una configuració força inequívoca.

Una vegada estudiades les relacions entre els dos mètodes, es dedueix que la classificació sinòptica de 16 tipus que hem definit amb la combinació de JiC en superfície i a 500 hPa, es correspon de manera força plausible amb els tipus manuals de Martín-Vide (1991).

4.4. Discussió dels tipus obtinguts en la classificació de JiC modificada

4.4.1 Classificació obtinguda vs manual Martín-Vide (1991)

- Tipus I (Advecció de l'Oest)

Segons la definició del **Tipus I** de la classificació objectiva que hem construït, aquest tipus de temps es donarà els dies en què tinguem de manera simultània en superfície i a 500 hPa les situacions que apareixen en la següent taula:

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|---------------------------|
| CW | Anticicló |
| CW | Dorsal Advectiva (tots) |
| CW | Advecció en altura (tots) |
| CW | Indeterminat |
| W | Anticicló |
| W | Dorsal Advectiva (tots) |
| W | Cicló |
| W | Solc Advectiu (tots) |
| W | Advecció en altura (tots) |
| W | Indeterminat |

Taula 6: Combinació de les situacions a 500hPa i en superfície que donen lloc al tipus I.

Agafant les dades del reanàlisi de l'ERA-40 del ECMWF des de l'1 de setembre del 1957 fins al 31 d'agost del 2002 hem calculat els composites de la pressió en superfície i de geopotencial a 500 hPa per comprovar les estructures associades a aquest tipus sinòptic:

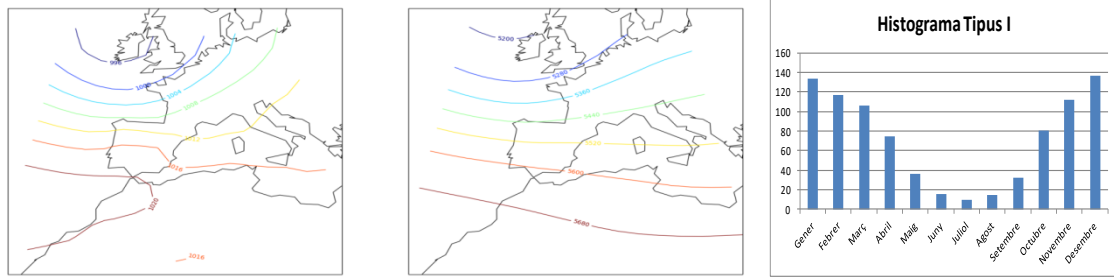


Figura 20: La primera figura és el composite de la pressió en superfície, la segona és el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa, i l'última figura representa l'histograma de la distribució mensual del Tipus I.

El **Tipus I** mostra una configuració d'isòbares en superfície amb marcat sentit de l'Oest tal com passa també amb les isohipses a 500 hPa (Figura 20). Tot plegat corrobora que la classificació objectiva que s'ha desenvolupat té una correspondència real amb el tipus Advecció de l'Oest de la classificació manual de Martín-Vide.

Tot i això, s'observa que malgrat ser una clara Advecció de l'Oest tenim certa curvatura a les isòbares, sobretot al Nord de la Península, la qual cosa ens indicaria que algun solc dèbil passaria a ser classificat erròniament com Advecció de l'Oest, com ja s'ha dit anteriorment.

L'histograma mostra una presència predominant d'aquesta situació durant l'època freda de l'any amb un màxim als mesos de Desembre i Gener, tenint el seu mínim durant l'època estival, tal com caldria esperar (Figura 20).

- **Tipus II (Advecció de l'Oest anticiclònica)**

La taula 7 mostra les combinacions de JiC en superfície i a 500 hPa que donen lloc al **Tipus II** de la nostra classificació automàtica:

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|-----------------------------|
| A | Dorsal Advectiva del Oest |
| A | Solc Advectiu del Oest |
| A | Advecció en altura del Oest |
| AW | Anticicló |
| AW | Dorsal Advectiva (tots) |
| AW | Cicló |

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|-----------------------------|
| AW | Solc Advectiu (tots) |
| AW | Advecció en altura |
| AW | Advecció en altura del Oest |
| AW | Indeterminat |

Taula 7: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus II.

Els composites de pressió en superfície i de geopotencial a 500 hPa (Figura 21), mostren com la Península Ibèrica estaria dominada per les altes pressions, mentre que a 500 hPa les isohipses ens marcarien la presència d'una situació advectiona de l'Oest en altura. Malgrat que clarament és un cas advectionu, aquesta advecció tindria certa curvatura anticiclònica la qual cosa s'ajusta amb la construcció de la classificació objectiva. Queda clarament justificada la correspondència entre aquesta tipus II objectiu i el tipus manual de Martín-Vide d'Advecció de l'Oest Anticiclònica.

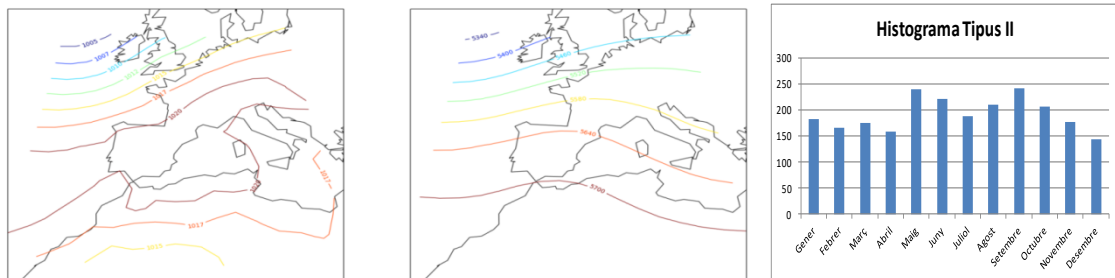


Figura 21: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus II.

Pel que fa a la distribució de la seva ocurrència al llarg de l'any es veu com es comporta de manera força uniforme, amb valors lleugerament més elevats durant el període estival (Figura 21).

- **Tipus III (Advecció del Nord-Oest)**

El **Tipus III** s'ha obtingut a partir de la combinació de les següents situacions en superfície i a 500 hPa (Taula 8):

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|-----------------------------|
| ANW | Anticicló |
| ANW | Dorsal Advectiva (tots) |
| ANW | Cicló |
| ANW | Solc Advectiu (tots) |
| ANW | Advecció en altura |
| ANW | Advecció en altura del Oest |
| ANW | Indeterminat |
| CNW | Anticicló |
| CNW | Dorsal Advectiva (tots) |
| CNW | Cicló |
| CNW | Solc Advectiu (tots) |
| CNW | Advecció en altura (tots) |
| CNW | Indeterminat |
| NW | Anticicló |
| NW | Dorsal Advectiva (tots) |
| NW | Cicló |
| NW | Solc Advectiu (tots) |
| NW | Advecció en altura (tots) |
| NW | Indeterminat |

Taula 8: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus III.

El composites de pressió en superfície i altura geopotencial a 500 hPa ens mostren la típica configuració posterior al pas d'un front atlàntic (Figura 22). Ens queda una situació molt marcada de Nord-Oest sobre la meitat Nord de la Península Ibèrica amb la formació d'una baixa al golf de Gènova. Pel que fa a la configuració en altura es veu també com després del pas d'un solc en alçada s'imposa una situació advectiva del Nord-Oest. Amb la qual cosa es dedueix una correspondència total amb el tipus Advecció del Nord-Oest de la classificació manual de Martín-Vide.

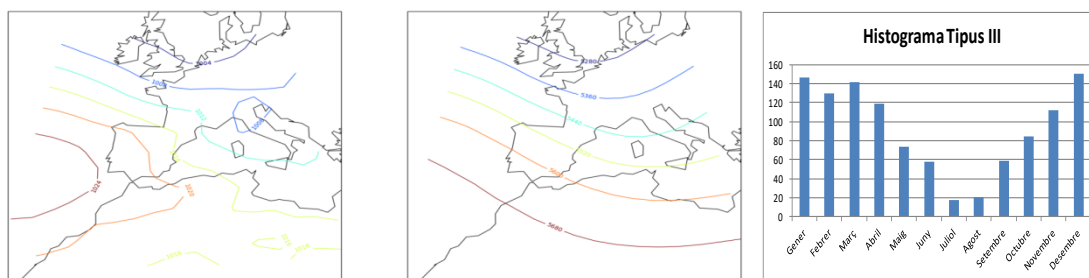


Figura 22: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus III.

Clarament, al igual com passava amb el Tipus I, en aquesta situació els casos es concentren sobretot durant els mesos freds produint-se molts pocs casos durant els mesos estivals (Figura 22).

- **Tipus IV (Advecció del Nord)**

El tipus IV és obtingut a partir de les següents situacions en superfície i a 500 hPa:

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|-----------------------------|
| AN | Anticicló |
| AN | Dorsal Advectiva (tots) |
| AN | Cicló |
| AN | Solc Advectiu (tots) |
| AN | Advecció en altura |
| AN | Advecció en altura del Oest |
| AN | Indeterminat |
| CN | Anticicló |
| CN | Dorsal Advectiva (tots) |
| CN | Cicló |
| CN | Solc Advectiu (tots) |
| CN | Advecció en altura (tots) |
| CN | Indeterminat |
| N | Anticicló |
| N | Dorsal Advectiva (tots) |
| N | Cicló |

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|---------------------------|
| N | Solc Advectiu (tots) |
| N | Advecció en altura (tots) |
| N | Indeterminat |

Taula 9: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus IV.

En els composites de pressió en superfície i de 500 hPa pels dies que classifiquem com a **tipus IV** (Figura 23) se'ns mostra un mapa de pressió en superfície el qual, ens indicaria una configuració amb altes pressions a l'Atlàntic que implicaria una entrada de vents del Nord sobre la Península Ibèrica. En canvi els mapes de geopotencial a 500 hPa ens mostren una situació d'advecció del Nord-Oest provocada pel pas d'un solc en alçada, que en general és la situació que sol donar-se en les entrades de vent de Nord. Malgrat que en altura no tindríem una advecció del Nord pura, la situació associada a aquests mapes és la d'Advecció del Nord que apareix en la classificació manual de Martín-Vide.

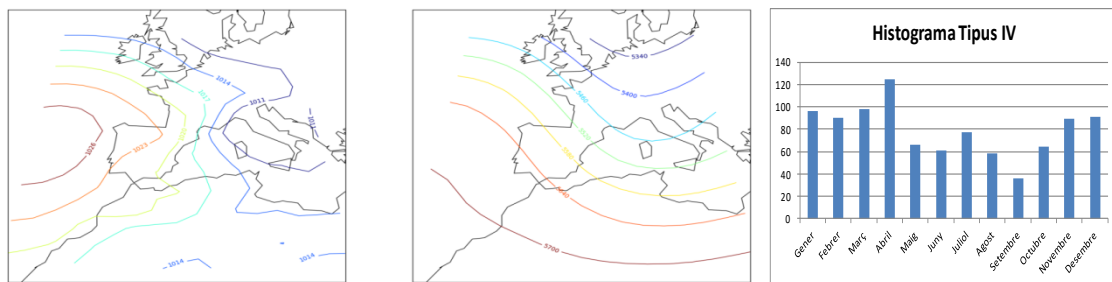


Figura 23: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus IV.

Pel que fa a la distribució al llarg de l'any, sorprenentment en aquest cas l'histograma ens mostra una casuística força repartida al llarg de l'any (Figura 23), malgrat que la intuïció ens faria pensar en que és una situació més hivernal. Tot i això, entre els mesos de maig i Octubre és quan hi hauria la incidència menor d'Adveccions del Nord.

- **Tipus V (Advecció del Nord-Est)**

El **Tipus V** de la nostra classificació sinòptica es correspon amb la combinació de les següents situacions:

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|-----------------------------|
| ANE | Anticicló |
| ANE | Dorsal Advectiva (tots) |
| ANE | Cicló |
| ANE | Solc Advectiu (tots) |
| ANE | Advecció en altura |
| ANE | Advecció en altura del Oest |
| ANE | Indeterminat |
| CNE | Anticicló |
| CNE | Dorsal Advectiva (tots) |
| CNE | Cicló |
| CNE | Solc Advectiu (tots) |
| CNE | Advecció en altura (tots) |
| CNE | Indeterminat |
| NE | Anticicló |
| NE | Dorsal Advectiva (tots) |
| NE | Cicló |
| NE | Solc Advectiu (tots) |
| NE | Advecció en altura (tots) |
| NE | Indeterminat |

Taula 10: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus V.

Els composites de pressió en superfície i de 500 hPa per aquesta situació (Figura 24) mostren en superfície un flux del Nord-Est provocat per la presència de l'anticicló atlàntic que s'allargaria per Centreeuropa. En altura també tindriem una situació d'isohipses que marca una advecció del Nord-Oest en, però en aquest cas la situació indica l'entrada d'una dorsal. Malgrat que en altura no hi hauria un flux del NE com correspondria en el cas de la classificació manual de Martín-Vide, creiem que aquesta configuració és correspon més amb el que cal esperar en el tipus d'Advecció de Nord-Est.

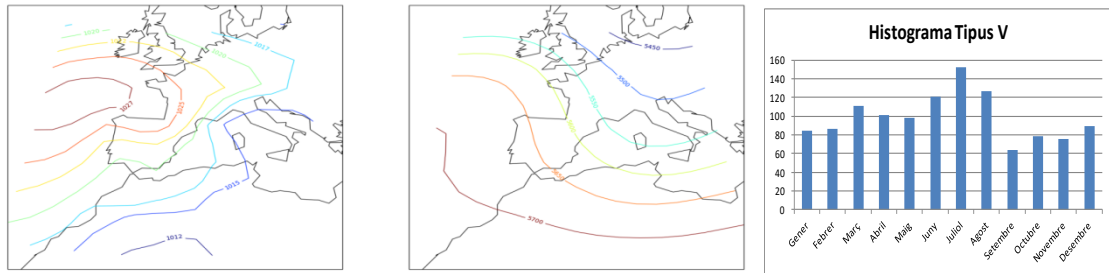


Figura 24: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus V.

Pel que fa a la distribució anual d'aquesta situació també es mostra força homogènia al llarg de tot l'any al igual que la situació d'Advecció del Nord, però en aquest cas el màxim es donaria durant els mesos d'estiu (Figura 24). Possiblement es correspondria als casos en els que un pas d'un front implica l'entrada de vent del Nord a Nord-Est que incideix sobretot a les zones més exposades a aquests vents.

- **Tipus VI (Advecció de l'Est)**

El **Tipus VI** es construeix a partir de la combinació d'aquestes dues situacions:

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|--|
| AE | Anticicló |
| AE | Dorsal Advectiva (tots) |
| AE | Advecció en altura |
| AE | Advecció en altura del Oest |
| AE | Indeterminat |
| CE | Anticicló |
| CE | Dorsal Advectiva(tots) |
| CE | Advecció en altura (tots) |
| CE | Indeterminat |
| E | Anticicló |
| E | Dorsal Advectiva (tots) |
| E | Advecció en altura (tots) |
| E | Indeterminat |
| ASE | Els mateixos cassos que hem posat per AE |
| CSE | Els mateixos cassos que hem posat per CE |
| SE | Els mateixos cassos que hem posat per E |

Taula 11: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus VI.

Els composites de pressió en superfície i de 500 hPa per aquesta situació (Figura 25) mostren un mapa de pressió en superfície d'una situació típica de vents de l'Est sobre la costa mediterrània, provocada per un potent anticicló ubicat al centre i Nord d'Europa. Pel que fa a la configuració en altura aquesta vindria marcada per una situació poc definida, les isohipses no ens donarien un flux direccional ben definit però sí que ens indicarien estabilitat. És una situació d'advecció de l'Est de la classificació de Martín-Vide, ja que implica vents de llevant sense inestabilitat.

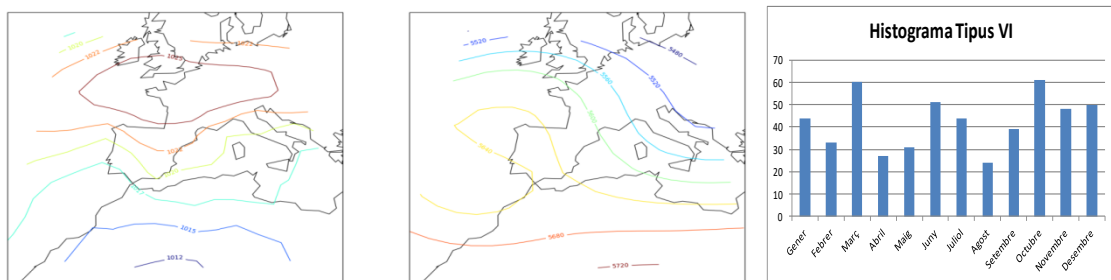


Figura 25: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus VI.

Pel que fa a la distribució anual, com és d'esperar segueix un patró força homogeni al llarg dels diferents mesos, només es destaquen dos màxims al març i a l'octubre (Figura 25).

- **Tipus VII (Advecció de l'Est amb gota freda)**

El **Tipus VII** es defineix quan es donen aquestes condicions en les classificacions de JiC:

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|--|
| AE | Cicló |
| AE | Solc Advectioniu (tots) |
| CE | Cicló |
| CE | Solc Advectioniu (tots) |
| E | Cicló |
| E | Solc Advectioniu (tots) |
| ASE | Els mateixos cassos que hem posat per AE |
| CSE | Els mateixos cassos que hem posat per CE |
| SE | Els mateixos cassos que hem posat per E |

Taula 12: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus VII.

Els composites de pressió en superfície i d'altura geopotencial a 500 hPa (Figura 26) mostren una situació en superfície en la qual ens apareix una configuració semblant, en línies generals, al del cas que hem tractat anteriorment (d'advecció de l'Est). La diferència més important en aquest cas estaria en la situació en altura on clarament ens apareix un solc molt ben marcat, que gairebé es clou formant un cicló. En aquest cas l'advecció de l'Est anirà associada a molta inestabilitat i és causa de pluges torrencials en tot l'arc mediterrani. Es veu clarament que aquest tipus es correspon a l'Advecció de l'Est amb gota freda de Martín-Vide.

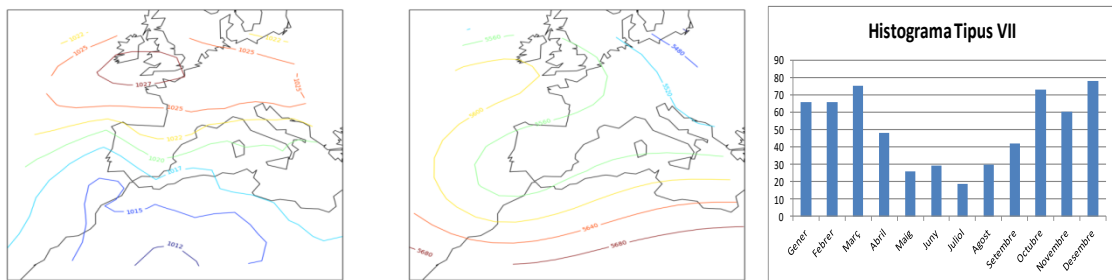


Figura 26: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus VII.

En aquest cas, com era d'esperar hi ha un mínim de casos durant els mesos estivals, ja que també és l'època en la qual es donen menys aquest tipus de situacions degut a que durant aquesta època els solcs solen passar per latituds més altes (Figura 26).

- **Tipus VIII (Advecció del Sud)**

Per el **Tipus VIII** s'han de donar les següents combinacions en les classificacions de JiC en superfície i a 500 hPa:

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|-----------------------------|
| AS | Anticicló |
| AS | Dorsal Advectiva (tots) |
| AS | Cicló |
| AS | Solc Advectiu (tots) |
| AS | Advecció en altura |
| AS | Advecció en altura del Oest |
| AS | Indeterminat |
| CS | Anticicló |

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|---------------------------|
| CS | Dorsal Advectiva (tots) |
| CS | Cicló |
| CS | Solc Advectiu (tots) |
| CS | Advecció en altura (tots) |
| CS | Indeterminat |
| S | Anticicló |
| S | Dorsal Advectiva (tots) |
| S | Cicló |
| S | Solc Advectiu (tots) |
| S | Advecció en altura (tots) |
| S | Indeterminat |

Taula 13: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus VIII.

Els composites de pressió en superfície i de 500 hPa (Figura 27) per aquesta situació mostrarien un mapa de pressió en superfície que indicaria clarament una advecció del Sud provocada pel flux que s'estableix entre una zona de baixes pressions sobre l'Atlàntic i una d'altres pressions sobre el Mediterrani oriental. En canvi el mapa a 500 hPa ens mostraria una advecció del Sud- Oest sobre Catalunya produïda per la presència d'un solc en alçada situat sobre l'Atlàntic Nord i una dorsal sobre el Mediterrani occidental. Catalunya estaria situada entre les dues estructures.

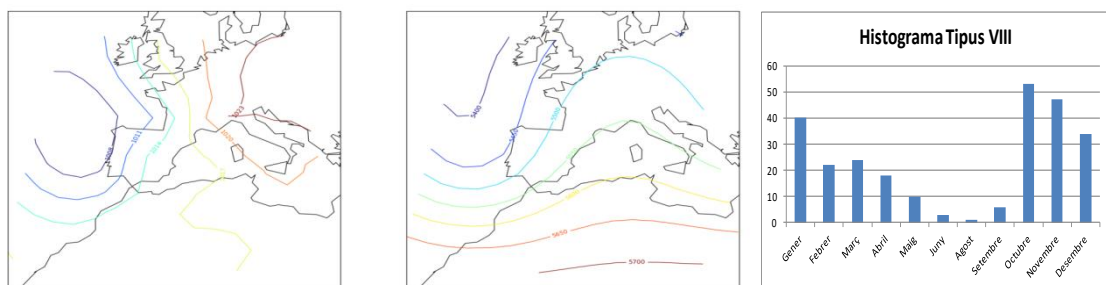


Figura 27: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus VIII.

La situació es correspon a una Advecció del Sud de Martín-Vide que envia vents més càlids del Nord d'Àfrica sobre la Península Ibèrica, associat de vegades a les adveccions càlides estivals malgrat que l'histograma mostra més aviat al contrari (Figura 27).

- **Tipus IX (Advecció del Sud-Oest)**

El **Tipus IX** es dona els dies en què les condicions en les classificacions de JiC són:

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|-----------------------------|
| ASW | Anticicló |
| ASW | Dorsal Advectiva (tots) |
| ASW | Cicló |
| ASW | Solc Advectiu (tots) |
| ASW | Advecció en altura |
| ASW | Advecció en altura del Oest |
| ASW | Indeterminat |
| CSW | Anticicló |
| CSW | Dorsal Advectiva (tots) |
| CSW | Cicló |
| CSW | Solc Advectiu (tots) |
| CSW | Advecció en altura (tots) |
| CSW | Indeterminat |
| SW | Anticicló |
| SW | Dorsal Advectiva (tots) |
| SW | Cicló |
| SW | Solc Advectiu (tots) |
| SW | Advecció en altura (tots) |
| SW | Indeterminat |

Taula 14: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus IX.

Els composites de pressió en superfície i de 500 hPa per aquesta situació serien molt semblants als que apareixien en el Tipus VIII (Figura 28). El mapa de pressió en superfície mostra una situació del Sud-Oest sobre tota la Península Ibèrica. Pel que fa al mapa d'isohipses a 500 hPa veiem una configuració clarament del Sud-Oest, en correspondència amb el tipus manual que de Martín-Vide.

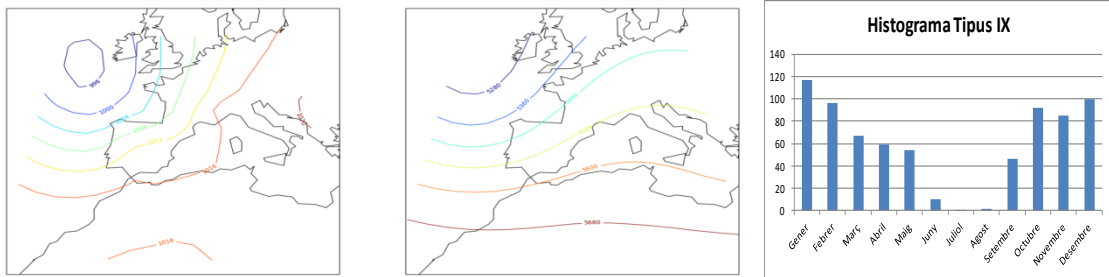


Figura 28: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus IX.

La distribució al llarg de l'any d'aquest tipus sol tenir també un mínim durant els mesos d'estiu, la qual cosa és normal ja que va associat normalment amb la formació de borrasques profundes a l'Oest de la Península Ibèrica (Figura 28).

- **Tipus X (Solc)**

El **Tipus X** es dona quan coincideixen aquestes condicions en les classificacions de JiC:

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|--|
| CW | Cicló |
| CW | Solc Advectioniu (tots) |
| I | Cicló |
| I | Solc Advectioniu (tots excepte Sud-Oest, Sud, Sud-Est) |

Taula 15: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus X.

Els composites de pressió en superfície i d'altura geopotencial a 500 hPa per aquesta situació (Figura 29) mostren, per una banda, una situació poc definida en superfície, amb una zona de baixes pressions sobre el Mediterrani occidental i una zona d'altres pressions sobre l'Atlàntic. Per altra banda, pel que fa als mapes en altura, es veu clarament el solc en altura, que és el que provoca la inestabilització del temps. Aquesta situació es correspon totalment amb la definició que fa Martín-Vide del tipus solc en la seva classificació manual. Malgrat que el solc en altura pugui semblar dèbil, ja s'ha especificat quan s'ha afegit el nivell de 500 hPa que s'ajustaven els llindars per tal que solcs dèbils siguin tinguts en compte perquè combinats amb l'orografia són els responsables de la major part de les precipitacions estivals en zones de muntanya.

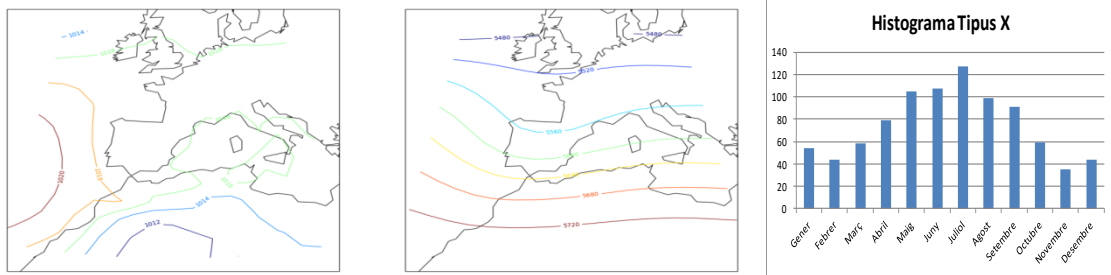


Figura 29: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus X.

La distribució anual mostra un màxim durant els mesos estivals (Figura 29), que és quan sol donar-se aquesta situació causant de la major part de la precipitació estival a les zones més propenses a la convecció, sobretot al Pirineu, Prepirineu i Nord-Est de Catalunya.

- **Tipus XI (Gota freda al Sud-Oest)**

El **Tipus XI** es correspon amb aquestes condicions en les classificacions de JiC:

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|-----------------------------------|
| I | Solc Advection (Sud,Sud-Oest,Sud- |

Taula 16: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus XI.

Els composites de pressió en superfície i el d'altura geopotencial a 500 hPa (Figura 30), mostren un cicló a l'Oest de la Península Ibèrica que tindria reflex en altura la qual cosa no seria exactament el que defineix Martín-Vide com a situació de Gota Freda al Sud-Oest, ja que aquesta es defineix amb una situació indefinida en superfície però en aquest cas la baixa apareix ben clara. Tot i això el cas de gota freda al Sud-Oest és un cas que afecta poc a les precipitacions a la zona del Mediterrani (excepte la costa de Màlaga) i a Catalunya hi tindria un efecte molt semblant a les adveccions del Sud o del Sud-Oest, amb advecció del Sud-Oest provocat per la baixa i precipitacions normalment en zones de muntanya.

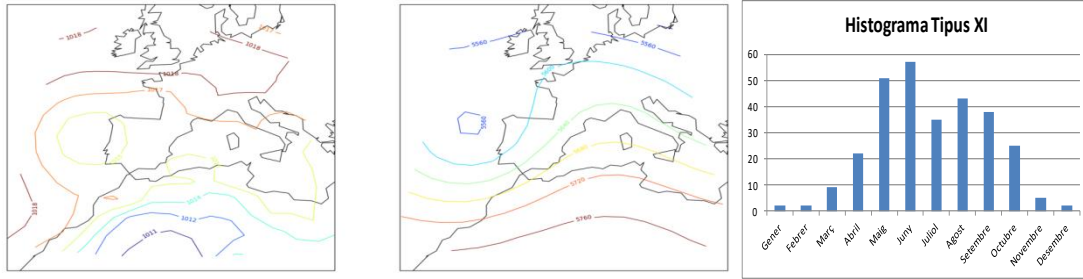


Figura 30: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus XI.

Pel que fa a l'histograma de la distribució mensual d'aquest tipus sinòptic (Figura 30), es veu que la major part dels casos es donen l'època càlida, la qual cosa té sentit solament pels mesos de primavera i tardor però no pels estivals. A més, es una situació que es dóna molt poques vegades, com es pot observar en els histogrames.

- **Tipus XII (Correspondència amb Ciclò)**

Amb el tipus **Tipus XII** s'han de donar aquestes condicions en les classificacions de JiC:

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|---|
| C | Dorsal Advectiva(tots excepte Oest,Sud-Oest,Oest,Sud,Est,Sud-Est) |
| C | Ciclò |
| C | Solc Advectiu (tots) |
| C | Advecció en altura (tots excepte Oest,Sud-Oest,Sud,Est,Sud-Est) |

Taula 17: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus XII.

Els composites de pressió en superfície i d'altura geopotencial a 500 hPa per aquesta situació (Figura 31) mostren en superfície les baixes que es formen sobre la Mediterrània, que segurament són la majoria degut a la localització dels punts de graella que s'usen per fer la classificació de JiC en superfície. Pel que fa al mapa d'altura, aquest presenta una configuració de solc en comptes del ciclò tancat que caldria esperar segons la classificació manual de Martín-Vide, però val a dir que moltes baixes que es formen al Mediterrani són dèbils i no tenen reflex en altura. És conegut com fenomen de ciclogènesi que sovint es dóna a la zona del golf de Lleó i de Gènova on es generen ciclons que precisament són engendrats després del pas d'un solc en altura (van Bebber, 1898).

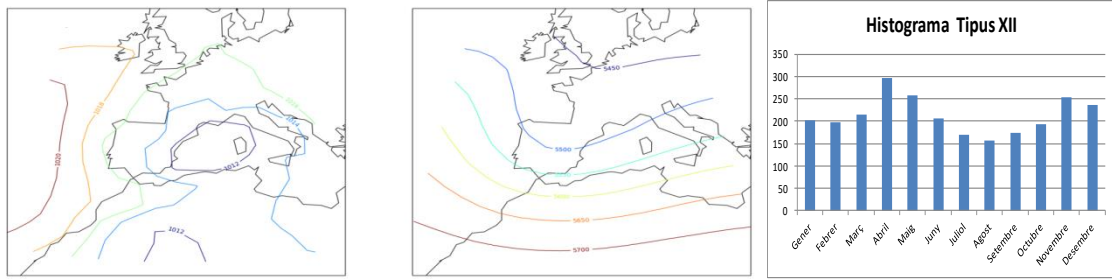


Figura 31: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus XII.

Aquesta situació se sol donar durant tot l'any però principalment a la tardor i la primavera, amb un mínim durant els mesos d'estiu com era d'esperar (Figura 31).

- **Tipus XIII (Baixa Tèrmica)**

En el **Tipus XIII** es donen simultàniament aquestes condicions en les classificacions de JiC:

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|---|
| C | Anticicló |
| C | Dorsal Advectiva (Oest,Sud-Oest,Oest,Sud,Est,Sud-Est) |
| C | Advecció en altura(Oest,Sud-Oest,Sud,Est,Sud-Est) |
| C | Indeterminat |

Taula 18: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus XIII.

Els composites de pressió en superfície i d'altura geopotencial a 500 hPa per aquesta situació (Figura 32) presenten en superfície una zona de baixes pressions que des del mar Mediterrani abraça la major part de la Península Ibèrica, la qual cosa té certa relació amb l'origen tèrmic de la baixa, però la posició més esperada seria al Sud-Oest de la Península Ibèrica. Pel que fa al mapa d'isohipses a 500 hPa ens mostra una situació de dorsal sobre el Mediterrani.

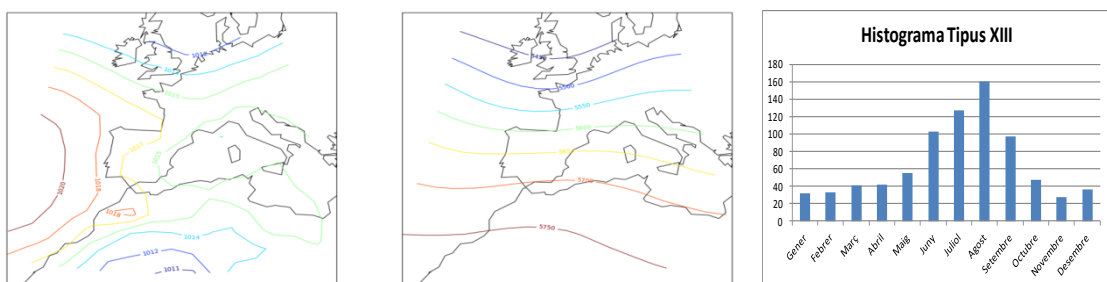


Figura 32: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus XIII.

Malgrat que la definició d'aquest tipus de la classificació ha estat complex ja que es fàcil que es confongui amb baixes d'origen orogràfic, la distribució anual sembla força coherent amb el de la Baixa Tèrmica, apareixent un màxim durant els mesos de més calor (Juliol i Agost) (Figura 32).

- **Tipus XIV (Pantà Baromètric)**

El tipus corresponent al **Tipus XIV** es dona quan:

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|---------------------------|
| I | Anticicló |
| I | Dorsal Advectiva (tots) |
| I | Advecció en altura (tots) |
| I | Indeterminat |

Taula 19: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus XIV.

Observant els composites de pressió en superfície i d'altura geopotencial a 500 hPa per aquesta situació (Figura 33) es veu una falca anticiclònica en superfície que entra per l'Oest de la Península amb una situació indefinida sobre el Mediterrani. Pel que fa als mapes en altura hi tenim clarament una dorsal que ens reafirma la coincidència d'aquest tipus amb el de Pantà Baromètric de la classificació manual de Martín-Vide.

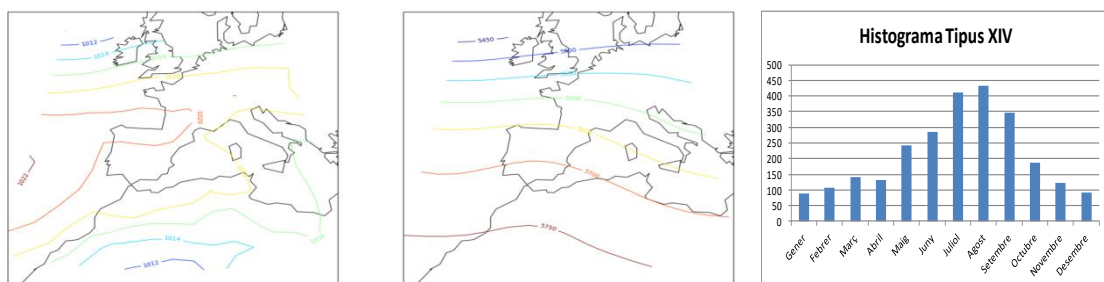


Figura 33: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus XIV.

També els histogrames mostren el patró que caldria esperar al Tipus XIV, amb una ocurrència més alta durant els mesos més càlids de l'any (Figura 33).

- **Tipus XV (Anticicló)**

El **Tipus XV** es dóna quan es compleixen aquestes condicions en les classificacions de JiC:

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|--|
| A | Anticicló |
| A | Dorsal Advectiva (tots excepte de l'Oest, Nord i Nord-Est) |
| A | Solc Advectiu (tots excepte de l'Oest, Nord i Nord-Est) |
| A | Advecció en altura |
| A | Indeterminat |

Taula 20: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus XV.

Els composites de pressió en superfície i d'altura geopotencial a 500 hPa per aquesta situació (Figura 34) mostren, tant en el mapa de pressió en superfície com en el d'isohipses a 500 hPa, zones d'altres pressions que cobreixen tota la Península Ibèrica i el Sud d'Europa. En aquest cas hi ha pocs dubtes i coincideix plenament amb el tipus Anticicló de la classificació de Martín-Vide.

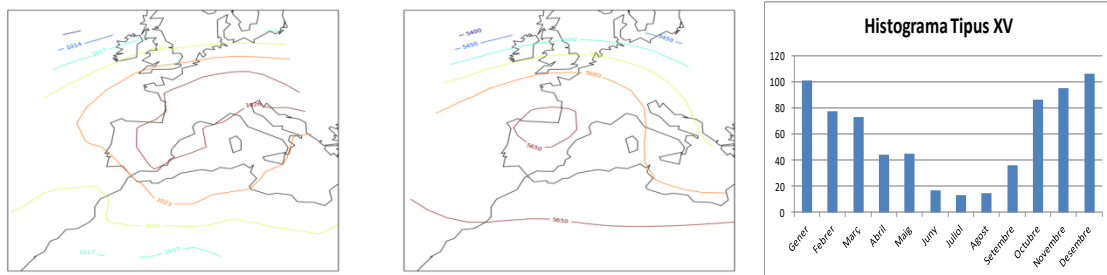


Figura 34: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus XV.

Com era d'esperar la situació associada al Tipus XV es dóna sobretot durant els mesos hivernals tenint el seu mínim els mesos d'estiu (Figura 34).

- **Tipus XVI (Anticicló Tèrmic)**

Les condicions que s'han de complir per al **Tipus XVI** són:

| JiC sfc | JiC 500 hPa |
|---------|-----------------------------------|
| A | Cicló |
| A | Solc Advectiu del Nord i Nord-Est |

Taula 21: Ídem a la taula anterior però ara aplicada al Tipus XVI.

Els composites de pressió en superfície i d'altura geopotencial a 500 hPa per aquesta situació (Figura 35), mostren una situació amb una zona d'altres pressions en superfície que abasta bona part d'Europa Occidental. Per altra banda, a 500 hPa apareix una llengua que des de centre Europa arribaria fins a la Península Ibèrica, situació que estaria en la línia del que normalment es correspondria amb el cas d'Anticicló tèrmic, per tant estaria d'acord amb la definició de Martín-Vide.

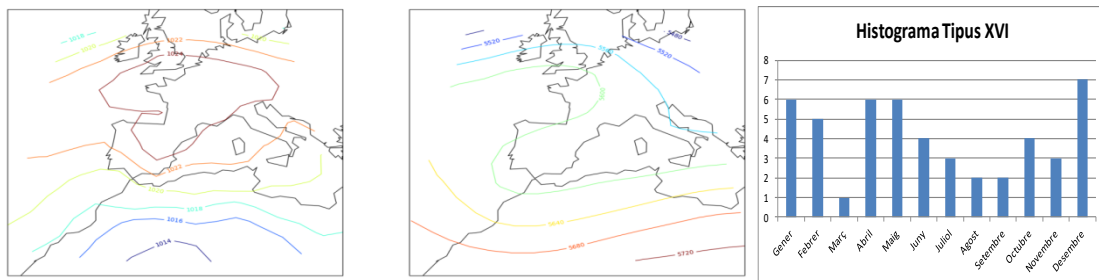


Figura 35: Ídem a la figura anterior però ara aplicada al Tipus XVI.

Pel que fa a la distribució anual presenta una distribució molt irregular amb molts pocs casos, com mostra l'histograma (Figura 35).

4.4.2 Comparació amb altres classificacions sinòptiques

En aquest punt es compararà la classificació automàtica obtinguda en aquest capítol, amb les classificacions objectives obtingudes per altres mètodes, per tal de veure els punts en comú i les debilitats i forteses de cada una de les classificacions.

Pel que fa a la classificació obtinguda a partir de l'objectivització de Hess-Brezowski (James, 2007), aquesta presenta 29 tipus per hivern i 29 tipus per estiu i està inspirada bàsicament pels tipus de temps que tenen lloc a Alemanya. A diferència de JiC que es basa en les direccions dominants dels fluxos i la seva curvatura (circulació ciclònica o anticiclònica), en el cas de Hess-Brezowsky els tipus descrits es basen en situacions molt concretes que afecten Centreeuropa i

per tant els respectius tipus objectius estaran molt allunyats de la tipologia que es correspon a la Península Ibèrica. Així doncs, en la classificació de Hess-Brezowsky es parla del tipus situació del Sud-Oest Anticiclònica que es molt poc probable que es doni a la Península Ibèrica i en canvi no fa referència a una situació de l'Est amb gota freda, molt més típica a les nostres latituds. D'aquesta manera veiem que la classificació de Hess-Brezowsky malgrat que usa la pressió en superfície i la topografia a 500 hPa és poc aplicable a la zona de la Península Ibèrica i difícil de comparar amb la classificació sinòptica obtinguda.

La classificació de Serra et al (1999), que està aplicada en l'àmbit de Catalunya, no obté tipus sinòptics sinó tipus de temps. La seva metodologia es basa en classificar els tipus de temps a partir d'aplicar PCA i una posterior anàlisi de clústers a una sèrie de variables meteorològiques per tal d'obtenir les configuracions més representatives dels tipus de temps a Catalunya. A partir d'aquesta anàlisi s'obtenen una sèrie de tipus de temps als quals posteriorment se'ls associa un tipus sinòptic concret. La classificació obtinguda conté els tipus bàsics que també surten a la classificació que s'ha desenvolupat en aquest treball, així doncs apareix la situació de Anticiclònica (grup 1), que es correspondria amb el Tipus XV, apareix també la situació 5 i la 13 que es podrien equiparar amb una situació del Nord-Oest (Tipus III), o també la situació 10 que es correspondria amb un cicló (Tipus XII), o bé la situació 7 que equivaldria a un cas d'advecció de l'Est (Tipus VI). Malgrat aquestes coincidències més clares, la resta de casos presenten més dubtes a l'hora de comparar ja que molt sovint la relació directa entre els tipus de temps i els tipus sinòptics no és gens òbvia.

Pel que fa a la classificació usant PSO (Fernández et al., 2003), és difícil de comparar amb la que s'ha desenvolupat en aquesta tesi ja que: per una banda aquesta classificació no treballa només amb el dia que estem estudiant sinó que també té en compte el dia anterior i el posterior i, per altra banda, els resultats d'aquesta classificació només s'han calculat pels mesos de setembre i octubre. Tot i aquests condicionants els tipus que apareixen amb els PSO són molt comparables amb la classificació obtinguda (per tal de comparar-les es treballarà només amb el dia marcat com a dia D (el dia present)):

- El Tipus I (Advecció de l'Oest) de la nova classificació es correspon amb el procés 4 de PSO i també es correspondria al procés 9.
- El Tipus II (Advecció de l'Oest anticiclònica) es correspon clarament amb el procés 6 i també es podria incloure el procés 7.

- El Tipus III (Advecció del Nord-Oest) de la nova classificació es correspon amb el procés 13 i també amb els processos 15 i 12.
- El Tipus V (Advecció del Nord-Est) es correspon amb el procés 8.
- El Tipus VI (Advecció de l'Est) es correspon amb el procés 3.
- El Tipus VII (Advecció de l'Est amb gota freda) es correspon amb el procés 18.
- El Tipus XIV (Pantà baromètric) es correspon amb el procés 2.
- El Tipus IX (Advecció del Sud-Oest) que es correspondria amb el procés 10 i també el procés 11 i el procés 19, en més o menys mesura.
- El Tipus XII (Cicló) es correspon amb el procés 14.

El principal avantatge d'aquesta classificació és que els Solcs ens apareixen més ben representats en aquesta classificació que en la de JiC modificada, ja que aquesta última tendeix a confondre els pas de fronts amb adveccions de l'Oest. En canvi, amb el PSO surten diferents casos en els quals s'està donant un pas frontal tampoc dona uns tipus ben definits per les adveccions del Nord i del Sud.

La metodologia usada per Romero et al. (1999c) i per Esteban et al. (2006) es basa en l'aplicació de components principals i clústers aplicats, obtenint en catàleg de situacions sinòptiques representats pels corresponents mapes de pressió en superfície i de geopotencial a 500 hPa. La metodologia aplicada per ambdós autors és semblant, malgrat les diferències de procediment: per una banda, la classificació de Romero només s'aplica en dies de precipitació i en canvi, la d'Esteban s'aplica per tots els dies; per altra banda Esteban només fa servir la pressió en superfície per separar els cassos i en canvi Romero fa servir diferents variables en diferents altures. Pel fet de ser una classificació per tots els dies i no només pels dies amb precipitació, farem la comparació de la classificació de Esteban et al. (2006) amb la classificació automàtica que s'ha construït en aquesta tesi:

- El primer tipus de la classificació d'Esteban (CL1) és la situació d'advecció de l'Oest a tots els nivells, i és molt comparable amb la situació Tipus I, de la classificació de JiC modificada.
- El cas CL6, que representa una advecció del Nord sobre el Mediterrani, també és un cas que amb JiC modificada es consideraria una situació d'advecció del Nord-Est (Tipus V) o també del Nord (Tipus IV). El que sí seria un cas clar d'advecció del Nord-Est seria el tipus CL5.

- El cas CL17 de baixa tèrmica sobre la Península Ibèrica (Tipus XIII) apareix molt ben representat a la classificació d'Esteban, pel que fa a la nova classificació aquest cas no apareix tan clar.
- On sí que hi torna a haver molt coincidència entre les dues classificacions és en el cas CL18 que es correspon amb el pas d'un solc en alçada (Tipus X).
- Pel que fa a les adveccions de l'Est que es contemplen en la nova classificació: l'advecció pura (Tipus VI) i la que té associada una gota freda en alçada (Tipus VII), també presenten una elevada coincidència amb CL15 i CL2 respectivament. Fins i tot en el Tipus VI apareix en altura el bloqueig en omega a 500 hPa (Figura 25) que apareix en CL15, i en el Tipus VII apareix un solc en alçada (Figura 26) com en el tipus CL2. Unes variacions d'aquests tipus serien el tipus CL4 que es podria equiparar a advecció de l'Est pura (tipus VI) i el tipus CL13 equiparable a una situació del Tipus VII.
- Uns tipus que també són semblants són el CL7 (advecció del Nord-Oest), podria ser considerat com un subtipus del Tipus III, que apareix més ben definit en el tipus d'Esteban CL16.
- El cas CL10 també és pot assimilar a advecció del Nord (Tipus IV).
- El cas CL9, en el que apareix un baix gradient a Europa i un solc en alçada és equiparable al cas de pantà baromètric (Tipus XIV). El mateix es podria dir de la situació CL19.
- Pel que fa a l'advecció del Sud d'Esteban, tipus CL8, té una configuració molt semblant a la configuració del tipus VIII. El mateix passa amb el flux del Sud-Oest que en la classificació de JiC modificada seria el Tipus IX i en la d'Esteban seria el tipus CL14, en canvi el tipus CL12 equivaldria al Tipus XI (gota freda al Sud-Oest).
- Pel que fa als anticiclons en la nova classificació es diferencia entre l'advecció d'Oest anticiclònica (Tipus II), que és la més freqüent, i la situació d'anticicló centrat (Tipus XV) i en canvi els dos anticiclons que apareixen en la classificació d'Esteban CL11 i CL20 els podem considerar com del tipus II però no apareix el cas d'anticicló centrat.
- Tot i que els mapes del tipus CL3 i del Tipus XII tenen una estructura semblant (baixa a l'Est de la Península Ibèrica i pas d'un solc en alçada), no es poden considerar tipus equivalents. Ja que en el cas Tipus XII la baixa està clarament sobre el mar Mediterrani i en el cas del tipus CL3 estaria sobre la península.

Així doncs trobem coincidències evidents entre els tipus obtinguts amb el mètode de PCA i clústers i l'obtingut amb la classificació de JiC modificada, malgrat que les metodologies són

molt diferents. Tot i això, hi ha casos que en la classificació d'Esteban no queden prou ben coberts com l'Anticicló centrat o l'anticiclò tèrmic, tot i que val a dir que són casos poc freqüents, en canvi sí que s'ajusta millor en les situacions advectiones.

4.5 Consideracions finals

En general, la classificació objectiva desenvolupada en aquest treball a partir de les classificacions de JIC de superfície i de 500 hPa presenta uns tipus que, una vegada dibuixats els "composites" de pressió en superfície i la topografia a 500 hPa (Figures 20-35), es veu que són coherents amb els mapes que caldria esperar per als corresponents tipus manuals de Martín-Vide.

Per altra banda, fent la comparació de la classificació obtinguda amb altres classificacions veiem que hi ha una bona correspondència entre els casos d'una i altra classificació, sobretot en les estructures més significatives, la qual cosa ens indicaria que la classificació estaria al nivell d'altres de solvència contrastada.

Un dels punts forts de la classificació obtinguda és la seva simplicitat, ja que els tipus es calculen a partir de càlculs senzills, que es poden calcular de manera immediata amb l'ajuda d'una calculadora de butxaca, amb la qual cosa es pot classificar qualsevol dia de manera gairebé immediata.

Un altre avantatge d'aquesta classificació, pel posterior estudi que es vol fer, és que només té setze tipus molt ben diferenciats entre sí i pel fet d'estar relacionats amb una classificació subjectiva, cobreixen tots els casos possibles. En el capítol d'aquesta tesi dedicat a la variabilitat de la precipitació, s'aplicaran PCA a la precipitació per cada un dels tipus sinòptics de la classificació i es necessitaran conjunts de dades amb un nombre suficient d'elements, i si la classificació té molts tipus llavors el nombre de casos per tipus disminueix molt.

Però com ja s'ha discutit, hi ha alguns tipus en els quals no s'acaba d'ajustar prou bé entre la definició de la classificació manual i la classificació automàtica definida. Aquests casos serien:

- El Tipus X, que es correspon al cas de front l'hem definit com una situació indeterminada en superfície acompanyada pel pas d'un solc en altura (Figura 29). Aquesta definició però pot portar algunes confusions:

1. En les situacions en que el solc va acompanyat d'una advecció de l'Oest llavors la classificació té més dificultats en saber distingir entre un solc o una advecció de l'Oest. Tot i que quan en aquestes situacions, si el solc va acompanyat d'una situació de fort gradient bàric que impliqui vent forts de l'Oest, a la façana mediterrània sol haver-hi més vent que pluja, i per tant s'esperaria un tipus de temps semblant a la situació advectional de l'Oest. Excepte a la cara Nord del Pirineu on es poden donar precipitacions més abundants.
 2. Els passos frontals solen donar una estructura de vents del Sud-Oest en la seva part posterior i vents del Nord-Oest en la seva part anterior. En la classificació usada només es fa servir el tipus sinòptic del dia en què estem, a diferència d'altres classificacions que s'usen diferents dies per tenir en compte l'evolució dinàmica dels sistemes. Per tant, no hi ha manera de saber si les situacions del Sud-Oest o del Nord-Oest, estan relacionades amb el pas d'un front o només són una advecció produïdes per altres de més gran escala.
- Pel que fa al Tipus XI, que es correspondria amb gota freda al Sud-Oest, la classificació manual de Martín-Vide ens la defineix com una situació poc definida, amb la presència d'una baixa en alçada al Sud-Oest de la Península Ibèrica. Tot i que quan s'ha construït la classificació sinòptica automàtica s'ha conservat aquest tipus, per la zona d'estudi és un tipus que normalment no té un efecte gaire diferent a la situació de l'advecció del Sud-Oest. Malgrat tot, és un patró que queda ben representat en la classificació si mirem els composites obtinguts (Figura 30) tot i que després la distribució al llarg de l'any no correspongui amb el que caldria esperar.
 - Un tipus que costa molt de classificar amb la classificació automàtica usada és el Tipus XIII, que es correspon a Baixa Tèrmica, ja que tot i que marca una zona de baixes pressions sobre la Península Ibèrica, posa la baixa desplaçada cap a la mediterrània i al Sud-Oest posa una alta pressió en superfície relativa on hi hauria d'haver-hi també baixes pressions (Figura 32). La baixa tèrmica tal com l'hem definit nosaltres, seria una baixa relativa sense reflex en altura, i no en totes les situacions que es dona aquesta configuració es correspon amb aquesta situació. Les meso-baixes que es formen al Mediterrani, a la zona del Golf de Lleó i de Gènova, que sovint tenen poc reflex en altura i a més solen anar acompanyades de l'entrada d'una dorsal en altura sobre la

Península Ibèrica, amb la qual cosa es fa difícil de discriminar només amb la pressió en superfície i l'altura geopotencial a 500 hPa. Només es poden diferenciar pel mecanisme de formació i sobretot per la seva posició, per aquest fet, a l'hora de fer les classificacions es va diferenciar entre baixa tèrmica i meso-baixa (cicló) segons la direcció advectiva que servia de guia per poder intuir la posició de la baixa (Buys-Ballot, 1857). Per altra banda, les dades usades per construir la classificació sinòptica són de les 0000 UTC, hora en la qual les Baixa Tèrmica que es produeix per escalfament diürn sol aparèixer molt dèbil i desdibuixada. Com es veurà posteriorment molts cassos de Baixa Tèrmica s'assimilen al Tipus XIV (Pantà Baromètric).

- El Tipus XVI, que es correspon amb l'anticicló tèrmic, sol donar-se poc i no presenta un patró perfectament definit. Aquest cas, en general, té poca influència sobre Catalunya ja que sol donar-se més en llocs amb grans superfícies continentals on l'aire fred s'acumula. S'ha pensat a crear un únic tipus anticiclònic que abarqui els Tipus XV i XVI però al final s'ha optat per mantenir els dos tipus per tenir coherència amb la classificació manual de Martín-Vide.

5. Patrons mesoscalars de precipitació

5.1 Introducció

En aquest capítol s'aplicarà una anàlisi de variabilitat espacial de la precipitació associada a cada un dels tipus de la classificació automàtica que s'han desenvolupat en el capítol anterior.

De treballs sobre variabilitat de la precipitació a la Península Ibèrica se n'han fet usant diferents tècniques: anàlisi de clústers, càlcul d'estadístics, components principals, anàlisi del discriminant. En aquest capítol, en primer lloc es farà un repàs d'aquests mètodes per tal de justificar i discutir després perquè en aquest treball s'ha triat un determinat mètode.

La variabilitat de la precipitació que es vol estudiar és sobretot espacial i es vol agrupar estacions que tenen una variabilitat temporal semblant. La qual cosa ja és una pista sobre el mètode que s'usarà, ja que estarà basat en PCA. A l'apartat de metodologia es desenvoluparà aquest mètode, en el que per cada tipus de temps s'aplicarà una PCA a la precipitació diària. Seguidament, amb una metodologia semblant a la de les puntuacions màximes (Esteban, 2012) farem servir els scores per classificar els dies més representatius de cada variabilitat i calcularem els composites, que seran els patrons de precipitació mesoscalars. Seguidament es farà un discussió dels resultats obtinguts i es compararan amb els obtinguts amb altres mètodes, per acabar amb les conclusions dels resultats obtinguts.

5.2 Estudis de variabilitat de la precipitació

En aquest apartat farem un repàs de les principals metodologies emprades per estudiar la variabilitat de la precipitació:

5.2.1 Anàlisi de components principals

Esteban-Parra et al. (1998) va aplicar PCA en S-mode a la precipitació anual i estacional a Espanya. Reté tres components principals per explicar la precipitació durant la major part de l'any i fins a quatre per l'estiu. Per la primera component principal obté un patró de precipitació ubicat a Andalusia i l'interior de la Península Ibèrica, fruit del flux zonal atlàntic dominant. La segona i la tercera component principal explicarien les precipitacions de la costa Cantàbrica i Mediterrània de manera alterna, tenint en compte que quan és dóna una situació no es dóna l'altra (depenent en l'estació de l'any es tindrien precipitacions al vessant Atlàntic o al Mediterrani). Els mecanismes associats a la precipitació mediterrània es deurien sobretot als fluxos de l'Est produïts per depenjaments de la circulació zonal, que produeixen els ciclons mediterranis. Pel que fa als mecanismes que produeixen la precipitació de la costa cantàbrica estaria més associada a la configuració de Nord-Oest lligada al pas de fronts atlàntics. Aquests dos mecanismes són clarament disjunts ja que el pas de sistemes frontals sol anar associat a poca precipitació per la zona del Mediterrani, i per altra banda les baixes del Mediterrani solen tenir poca influència sobre la precipitació del Nord de la Península.

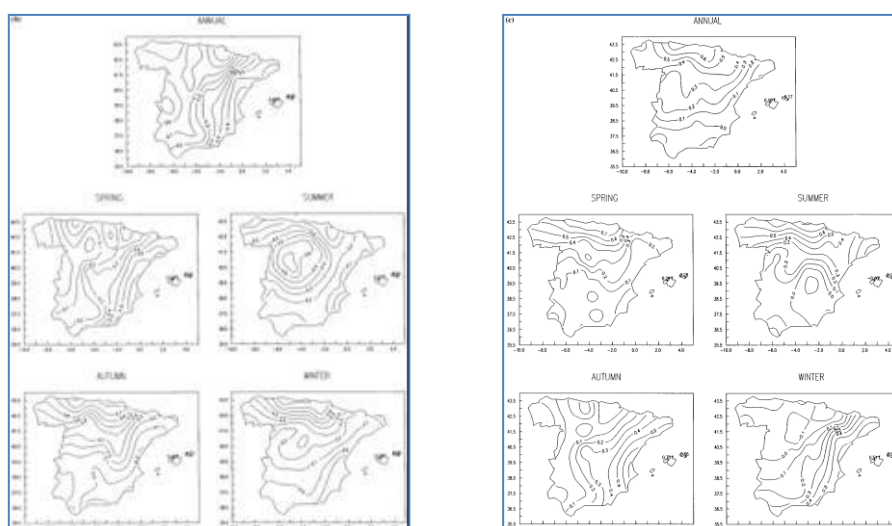


Figura 36: A l'esquerra es mostren els loadings (patrons espacials) de la segona component principal, tant per la precipitació anual com per l'estacional. A la dreta hi hauria els loadings de la tercera component principal, tant per la precipitació anual com per l'estacional.

A la figura 36, tant en el gràfic de la segona com de la tercera component principal, es pot observar el comportament altern de les precipitacions del Mediterrani i del Cantàbric. Entrant en detall, si es focalitza l'atenció sobre la zona de Catalunya apareixen els gradients en la variabilitat de la precipitació: Nord-Sud, sobretot en la segona component principal a la primavera i la tardor; Est-Oest, en la tercera component principal sobretot estiu, tardor i hivern.

Seguint una metodologia semblant, Rodríguez-Puebla et al. (1998) obté uns patrons de precipitació anual que relaciona amb patrons de variabilitat atmosfèrica de baixa freqüència: EA (East Atlantic), NAO (North Atlantic Oscillation), SOI (South Oscillation Index), SCAND (Scandinavia).

5.2.2 Anàlisi de components principals + clústers

La metodologia aplicada és semblant a l'aplicada en el cas de les classificacions sinòptiques estudiades en el capítol anterior, però ara s'aplica també una anàlisi de clústers. La metodologia ha estat aplicada en diferents treballs de precipitació de diferents parts del món (Cacciamani et al. 1994; Kidson, 1994; Sunner, 1996), però ens concentrarem en els estudis en que s'ha aplicat a la precipitació de Catalunya o la Península Ibèrica.

- **Fernández-Mills et al. (1994)**

El primer en usar aquesta metodologia per calcular els patrons de precipitació fou Fernández-Mills et al. (1994) i ho va aplicar a la precipitació mensual de Catalunya calculant les PCA amb S-mode i aplicant posteriorment una rotació Varimax per tal d'obtenir les àrees que segueixen distribucions temporals de precipitació semblant. L'autor determina que amb 5 components principals s'explica el 83% de la variabilitat espacial de la precipitació (Figura 37).

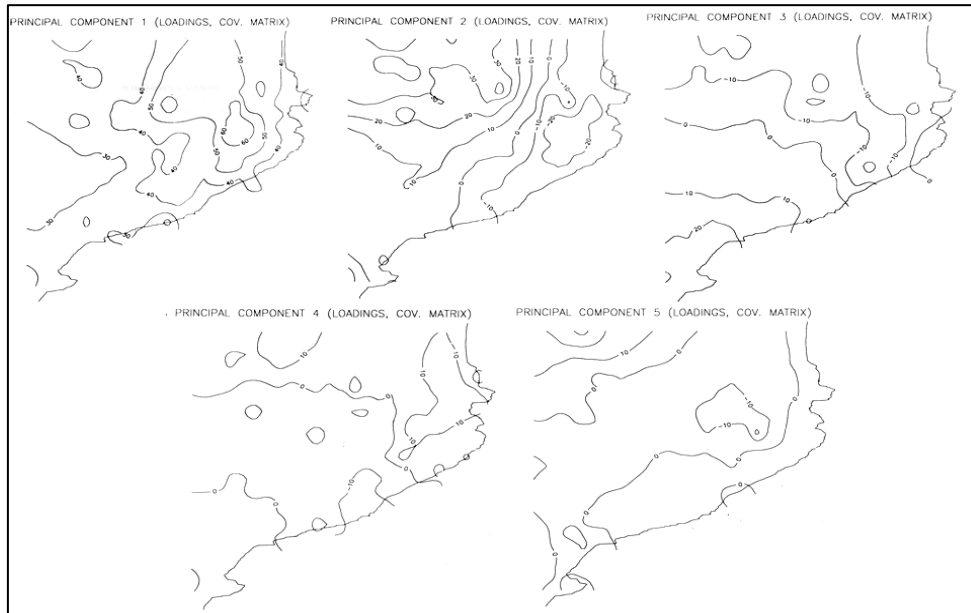


Figura 37: Loadings (variabilitat espacial) de les cinc primeres components principals.

Els resultats obtinguts s'interpreten com:

- i. Amb la primera component principal es recull el patró de variabilitat associat a la precipitació total. Mostra el grau en el qual cada estació varia amb la mitjana estacional i la magnitud total de la precipitació.
- ii. En el cas de la segona component principal marca un clar component bipolar entre els valors del Pirineu més occidental i els valors de la costa sobretot l'extrem NE de Catalunya. Aquesta component correspondria al patró hivernal de precipitació, on mentre en zones de costa la precipitació és escassa, al Pirineu Occidental és abundant i viceversa.
- iii. Pel que fa a la tercera component principal mostra també un comportament bipolar però en aquest cas la diferència estaria entre les estacions del Nord i del Sud. Els valors màxims dels loadings es donen al Sud del país, en una zona on les precipitacions estivals solen ser més aviat escasses. Per contra, els valors negatius estarien associats amb zones d'activitat més convectiva.
- iv. En la quarta component principal la interpretació dels patrons de variabilitat de precipitació obtinguts no és clara, no es veu una relació directa entre els loadings i un patró concret de precipitació.

- v. Finalment, la cinquena component principal correspondria a precipitacions que es donen a la cara Nord del Pirineu.

Seguidament, s'aplica la tècnica de clústers als loadings de les components principals obtingudes per trobar les regions amb règim de precipitacions semblants.

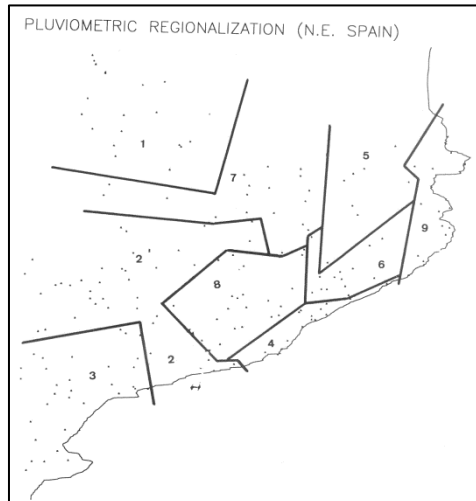


Figura 38: Regionalització de la precipitació obtinguda aplicant clústers als loadings obtinguts en el càlcul de components principals

Aquesta anàlisi de components principals i posterior anàlisi de clústers és molt il·lustratiu sobre la variabilitat de la precipitació a Catalunya, però treballar amb dades mensuals i dades de tot l'any, és simplificar massa per una zona com Catalunya on per orografia i per latitud hi ha una variabilitat molt gran. Posteriorment Serra et al. (1996) refinen aquesta classificació usant precipitació diària només pels mesos de tardor i hivern però no queda molt clar el mecanisme associat a cada precipitació, la qual cosa faria falta un mètode que discrimini més les escales grans. És per aquest motiu en aquest treball s'ha decidit explicar la variabilitat de la precipitació per cada tipus sinòptic.

- **Lana et al. (2004)**

A diferència del cas anterior, ara no s'aplica un PCA directament sobre les dades de precipitació mensual sinó que s'aplica sobre paràmeters calculats a partir de les dades de precipitació diària. En particular s'agafa com a variables les 12 (una per cada mes de l'any) mitjanes diàries mensuals (ADR) per cada estació i les 12 desviacions estàndar (SDR)

corresponents a les ADR, una per cada mes de l'any. Cal tenir en compte que els casos d'estudi seran les 75 estacions.

El període estudiat va del 1950 al 2000 i el fet d'usar ADR i SDR fa que els buits que hi ha a les dades no afecti les PCA ni els clústers.

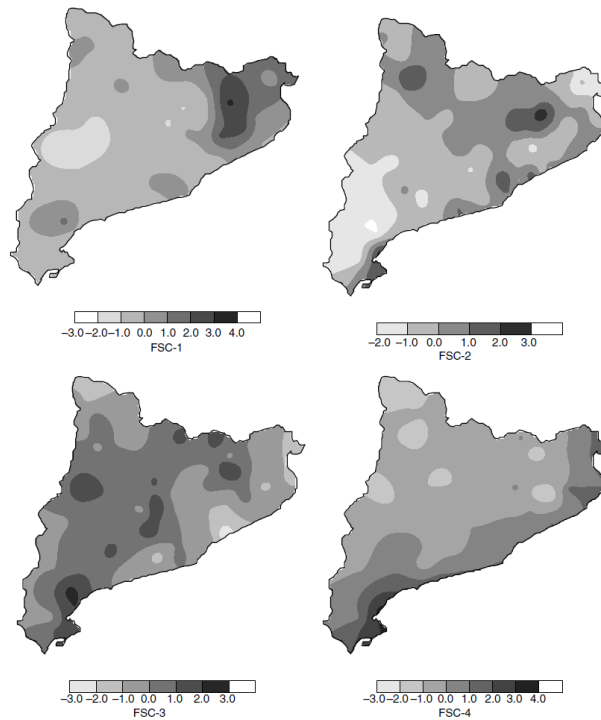


Figura 39: Variabilitat espacial de la precipitació diària donada pels scores de la PCA

Gràcies a les variables escollides, quan s'analitzen els loadings (que es relacionen amb el ADR i SDR) es té una idea de la situació sinòptica associada a cada component principal (Figura 39):

- La primera component principal estaria lligada als fluxos de l'Est amb activitat més marcada al NE de Catalunya.
- La segona component estaria relacionada amb les precipitacions convectives al Pirineu.
- La tercera component es correspondria amb el pas de fronts i adveccions de l'Oest.
- La quarta component es relaciona principalment amb adveccions de l'Est i és la situació més clara de totes.

Aplicant anàlisi de clústers als scores obtinguts s'obté la següent regionalització:

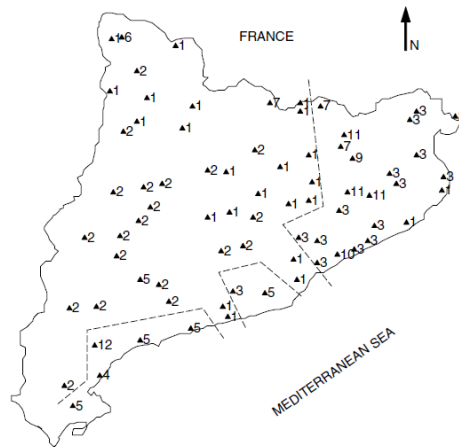


Figura 40: Amb aquesta metodologia s'intueixen 4 zones: Litoral Nord, Litoral Central, Litoral Sud i Ponent.

- **Martínez et al. (2009)**

Seguint la metodologia de Lana et al. (2004), Martínez et al. (2009) va aplicar PCA i clústers a índexs relacionats amb la precipitació diària per la zona de Catalunya. En concret, es van usar els índexs de precipitació total, el nombre de dies de pluja anuals, la intensitat diària de la precipitació i un índex de rellevància que representaria el percentil de la precipitació anual. A partir d'aquests índexs, es construeixen 17 variables per 75 casos que corresponen amb les estacions de mesura. En la següent figura es mostren els patrons de variabilitat espacial a partir dels scores obtinguts:

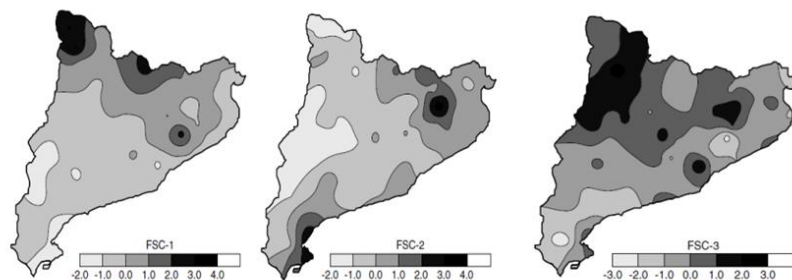


Figura 41: Variabilitat espacial de la precipitació diària donada pel mètode de les PCA

Pel que fa als grups resultants d'aplicar una anàlisi jeràrquica de clústers als scores obtinguts en l'anàlisi de components principals ens donaria:

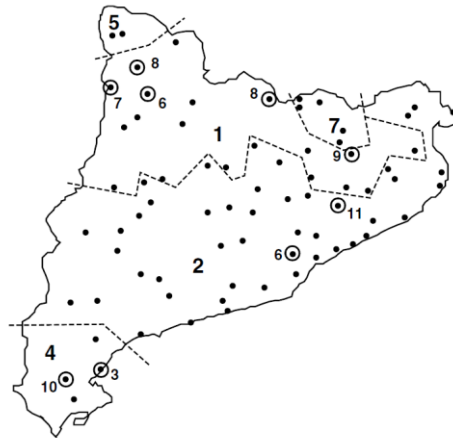


Figura 42: Grups que es formen després d'aplicar l'anàlisi de clústers jeràrquic. En aquest cas el que es marca sobretot és el gradient Nord-Sud i Est-Oest per les precipitacions del Nord de Catalunya.

- **Romero et al. (1999a,b)**

Romero et al. (1999a,b) va aplicar EOF tant en S-mode com en T-mode a la precipitació diària a la zona de la Mediterrània seguint la metodologia aplicada per Fernández-Mills et al. (1994).

En el treball on aplica un PCA en T-mode (Romero et al, 1999a), per trobar els patrons principals de precipitació diària per dies amb pluja prou significativa i per dies amb pluges torrencials. Aplicant T-mode, s'obté per cada patró espacial una sèrie de correlacions per cada un dels dies de la sèrie numèrica. En particular s'agafen 17 PCA i per tant es tindran 17 sèries de correlacions, als qual s'aplicarà el mètode de K-means perquè els dies amb distribucions semblants de precipitació s'agrupin. D'aquesta manera al final es tenen 11 clústers amb dies semblants. Per cada un d'aquest clústers es calcula el composite de precipitació dels dies que pertanyen a aquest clúster i d'aquesta manera s'obtenen mapes amb patrons de precipitació (Figura 43).

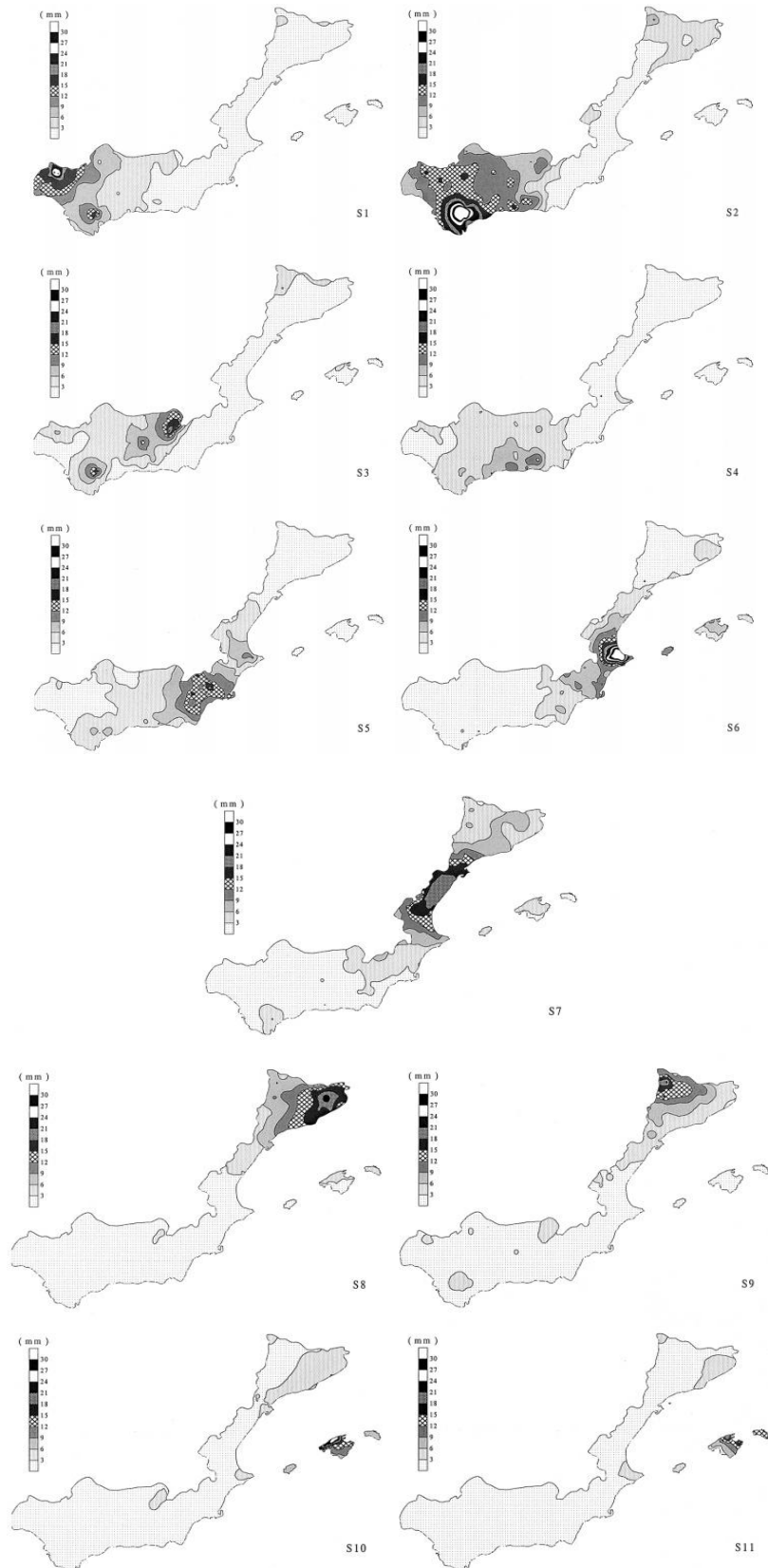


Figura 43: Grups obtinguts a partir dels composites dels 11 grups amb els dies obtinguts a l'aplicar anàlisi de clústers als loadings obtinguts a l'aplicar T-mode.

En aquest treball només es mostraran els clústers que es corresponen als dies amb pluja significativa. La precipitació associada als clústers obtinguts respondria a diferents situacions sinòptiques, que justificarien la presència de precipitacions a un lloc o altre.

- i. Els tipus S1 i S2 estarien lligats a la presència d'una baixa a l'Oest de la Península Ibèrica amb la presència d'un solc a nivells mitjans que donaria fluxos de Sud i Sud-Oest que explicarien les precipitacions del Pirineu per efecte orogràfic.
- ii. El tipus S3 es correspondria amb el pas d'un front fred, la qual cosa és coherent amb la precipitació que apareix a la zona occidental del Pirineu català, que contrasta amb l'absència de precipitació de la resta de la costa catalana.
- iii. El tipus S4 i S5 serien situacions que bàsicament afecten Andalusia.
 - i. El tipus S6 es correspondria amb una baixa situada al Mediterrani occidental que provocaria precipitacions sobretot a la zona d'Alacant però que també en donaria en general a tota la costa mediterrània. Catalunya en general en quedaria força al marge d'aquesta situació ja que només es donen dèbils precipitacions al Litoral Nord i al Litoral Sud.
 - ii. El tipus S7 mostra precipitacions a una franja que va des de València al Sud de Catalunya i aniria associat a una situació de flux de l'Est o del Sud-Est.
 - iii. El tipus S8 seria una cas molt local per Catalunya que tindria explicació en diferents mecanismes, fronts freds que passen pel Nord i disparen la convecció sobretot a l'Est de Catalunya o situacions de baixa situada al Nord del Mediterrani occidental que provoquen precipitacions principalment al NE de Catalunya.
 - iv. El tipus S9 donaria precipitacions al Pirineu més occidental. La seva mecànica, en aquest cas, correspondria sobretot al pas de sistemes frontals i en menor mesura a situacions convectives estiuenques.
- v. El tipus S10 i S11 serien tipus molt vinculats a Mallorca.

Si ens fixem en patrons obtinguts amb aquest mètode per la zona de Catalunya (Figura 43), observem que, en general, apareixen patrons de precipitació ben diferenciats: el patró del

Pirineu, el patró del Nord-Est de Catalunya, el patró del Sud de Catalunya (associat amb el patró de València).

Per altra banda, com ja s'ha dit Romero usa també el S-mode per analitzar els patrons de precipitació (Romero et al., 1999b). La metodologia aplicada per S-mode serà igual que la del T-mode però aquesta vegada el que mostren els loadings són les àrees amb precipitacions que segueixen distribucions temporals de precipitació semblant. El que es farà a partir d'aquest punt, és aplicar clústers als mapes obtinguts amb els loadings i d'aquesta manera ens apareixeran zones amb patrons de precipitació diferents.

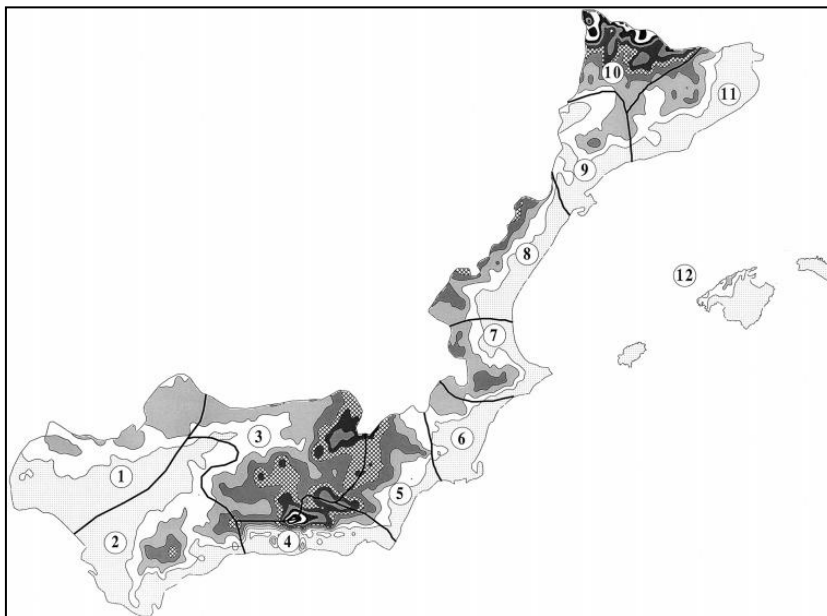


Figura 44: Àrees amb 12 zones afins de precipitació obtingudes a l'aplicar clústers als loadings obtinguts

En aquest mapa de precipitacions afins apareixen tres àrees ben diferenciades per la zona de Catalunya:

- i. Sud de Catalunya i Nord de València: Precipitacions produïdes normalment per fluxos marítims.
- ii. Est de Catalunya: Precipitacions produïdes per diferents mecanismes: fronts freds, fluxos de llevant, baixes mediterrànies.
- iii. Nord Occidental de Catalunya: Precipitacions explicades principalment pel pas de fronts atlàntics i en menys mesura per la precipitació convectiva estival.

5.2.3 Clústers

Un primer treball en aquesta línia seria el de Periago et al (1991) en el qual aplica la tècnica de clústers jeràquics per trobar zones amb precipitació semblant a Catalunya. Per fer-ho, aplica l'anàlisi de clústers a diferents paràmetres: a la precipitació mitjana mensual i als histogrammes de freqüències mensuals.

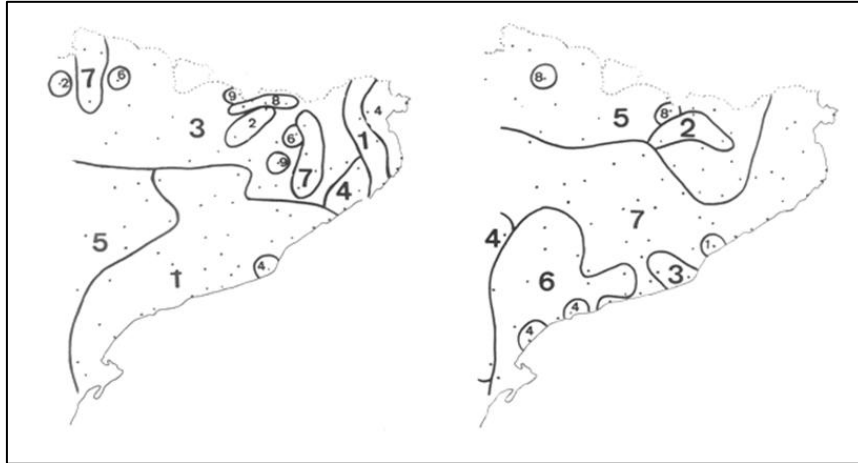


Figura 45: La precipitació mitjana mensuals (esquerra). Els histogrammes de freqüències mensuals (dreta).

Aquesta classificació bàsicament ens dóna el comportament de la precipitació mensual i no té en compte la variabilitat diària, però si s'examinen els resultats es poden treure algunes conclusions sobre com s'agrupen els llocs amb precipitació de característiques semblants.

- Els clústers obtinguts amb el primer mètode ens mostra un grup sencer que abarcaria tota la costa i la resta de clústers repartits per l'interior. Amb la qual cosa ens identificaria la diferència entre els règims de precipitació de la costa i els de l'interior.
- Amb el segon mètode apareixen molts grups al Nord-Est de Catalunya que contrasta amb la homogeneïtat de la meitat Sud de Catalunya on només apareixen dos grups. En aquest cas marcaria una clara diferència entre els patrons de precipitació del Sud i del Nord.
- Finalment els clústers obtinguts amb la tercera metodologia mostra una altra vegada la diferenciació entre el Litoral Sud i el Nord.

A part d'aquest treball, més recentment Gibergans et al. (2011) també han treballat amb clústers jeràrquics usant una altra metodologia per obtenir una regionalització de la precipitació a Catalunya amb uns resultats poc concloents.

5.3 Estudi de la variabilitat usant classificacions sinòptiques

En aquest apartat es parlarà sobre els treballs en precipitació en què s'usen també classificacions sinòptiques per discriminar els casos. Serien els treballs més pròxims al desenvolupat en aquesta tesi i amb els quals es comparteixen aspectes metodològics malgrat les grans diferències que hi ha entre ells. Els treballs més interessants que s'han trobat i que es descriuran en aquest punt són els de Serra et al. (1998), Cortesi et al. (2013a, 2014) i Ramos et al. (2015).

- **Serra et al. (1998)**

Serra et al. (1998) va realitzar un treball en el qual a partir d'una classificació sinòptica manual, basada en els fluxos sinòptics més relacionats amb la precipitació, s'agrupaven els dies amb una mateixa situació sinòptica. Seguidament s'aplicava un PCA a la precipitació associada a aquests dies per trobar els patrons de precipitació. Per dur a terme aquest treball s'ha treballat amb 45 pluviòmetres de Catalunya pel període que va entre els anys 1990-1994.

Pel que fa a la classificació manual es varen definir 8 tipus, set tipus advectionals: Nord, Nord-Oest, Oest, Sud-Oest, Sud-Est, Est, Nord-Est i un tipus que representa el cicló mediterrani centrat. Aquests tipus han estat escollits perquè són els que donen més precipitació sobre Catalunya.

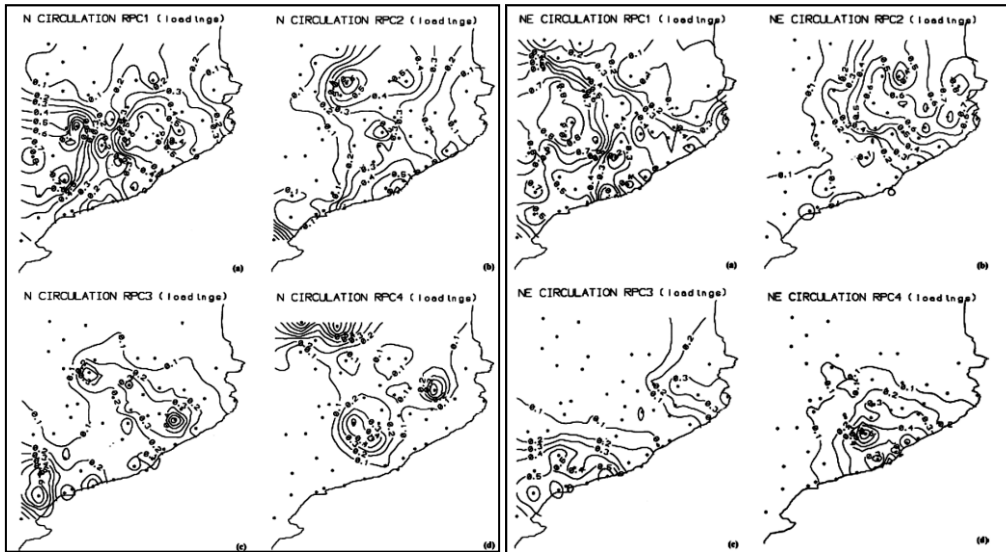


Figura 46: Loadings de quatre components principals per cada un dels tipus de temps advecció del Nord i del Nord-Est

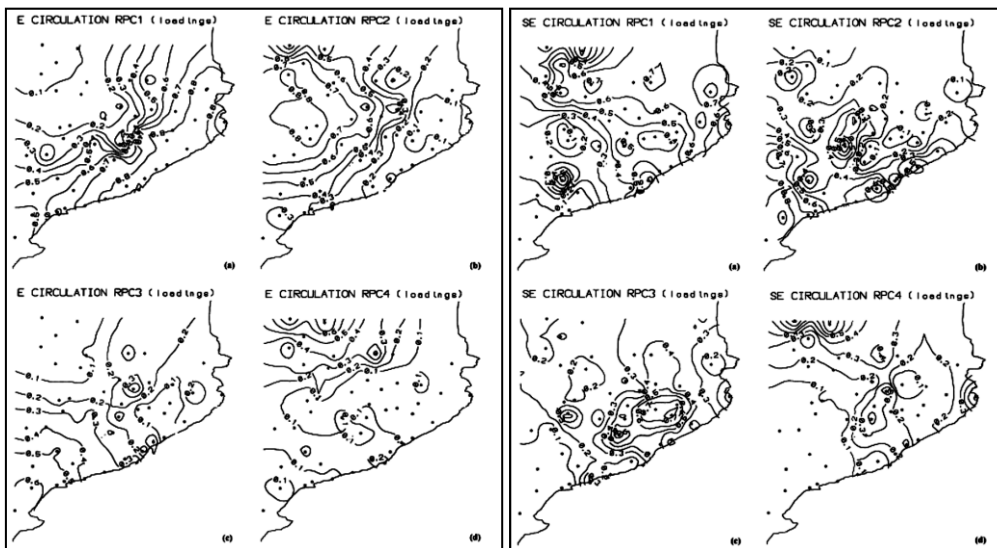


Figura 47: Loadings de quatre components principals per cada un dels tipus de temps advecció de l'Est i del Sud-Est

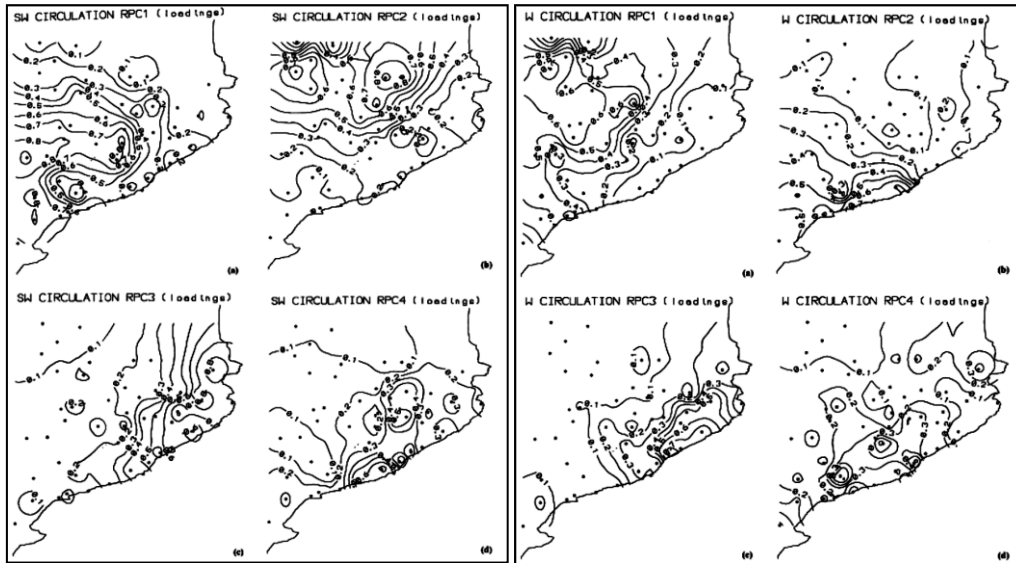


Figura 48: Loadings de quatre components principals per cada un dels tipus de temps advecció del Sud-Oest i de l'Oest.

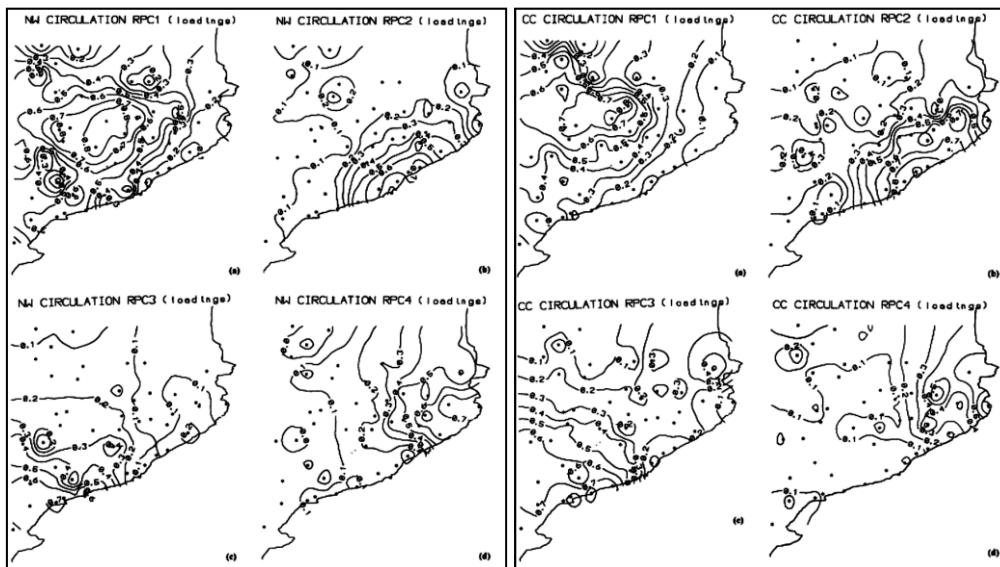


Figura 49: Loadings de quatre components principals per cada un dels tipus de temps advecció del Nord-Oest i cicló.

La interpretació dels patrons de precipitació obtinguts és la següent:

- i. Situació de Nord: La primera component principal la relaciona amb zones resguardades del vent del Nord i amb probabilitat de precipitació convectiva. La segona i tercera components principals correspondrien d'una banda a precipitacions convectives fora de la serralada pirinenca i també a la convecció pròpia dels Pirineus.

- ii. Situació del Nord-Est: Per una banda la primera component principal estaria relacionada amb zones protegides del vent del Nord-Est i per tant de naturalesa convectiva. La resta de components principals estarien relacionades amb les precipitacions del Mediterrani.
- iii. Situació de l'Est: La primera component principal es correspon amb el típic patró de precipitació en aquesta situació sinòptica, que afectaria el Litoral i Prelitoral. La segona component principal es correspondria amb precipitacions al Pirineu occidental. La tercera component marcaria les precipitacions del Sud de Catalunya que es donen en aquestes situacions. La quarta component donaria un senyal a les estacions de la cara Nord del Pirineu que no tindria explicació física .
- iv. Situació del Sud-Est: La primera component principal dóna un patró de precipitacions concentrat sobretot al Nord-Est de Catalunya. Per altra banda la segona component donaria les precipitacions concentrades al Sud de Catalunya. La tercera component principal, en canvi, explicaria la precipitació situada al Litoral i Prelitoral centrals. La quarta component principal també donaria un resultat força estrany en què es tindrien precipitacions a la cara Nord del Pirineu.
- v. Situació del Sud-Oest: La primera component principal estaria relacionada amb precipitacions al Sud i l'Oest de Catalunya. La segona component amb les precipitacions a la cara Sud del Pirineu. La tercera i la quarta estarien relacionades amb precipitacions al Litoral i Prelitoral.
- vi. Situació de l'Oest: La primera component principal explicaria un patró de precipitació al Sud i Oest de Catalunya. Pel que fa a les components segona i tercera es correspondria amb precipitacions a la costa fruit de baixes secundàries que es formarien a la costa catalana. La interpretació de la quarta component seria complexa.
- vii. Situació del Nord-Oest: Igual que en les situacions de Nord, la primera component principal estaria relacionada amb les zones a recer d'aquest vent en les quals es podria desenvolupar precipitació convectiva. Pel que fa a les components principals segona, tercera i quarta donen precipitacions a la costa, possiblement degut a la formació de baixes secundàries.
- viii. Situació de Cicló: És una situació molt similar a la del tipus Nord-Oest.

- **Cortesi et al. (2013a, 2014)**

Cortesi et al. (2013a,2014) estudia la contribució de cada un dels tipus sinòptics de JiC a la precipitació mensual. La metodologia usada no es basa en estudiar la variabilitat de la precipitació a partir de cada situació sinòptica com s'ha fet en el cas anterior, sinó que el que fa es relacionar la quantitat de precipitació mensual amb les freqüències mensuals (dies/mes) de cada un dels tipus de temps mitjançant una regressió multilíneal. D'aquesta manera, a partir dels pesos de la regressió associats a cada una de les situacions sinòptiques, es pot deduir: quina quantitat de precipitació és explicada sinòpticament (Cortesi et al., 2013a), les zones on el mètode funciona bé (Cortesi et al, 2013a) i el pes de cadascun dels tipus sinòptics en el total de la precipitació mensual (Cortesi et al, 2014).

Inspirant-se en els treballs de Spellman (2000) i Goodess and Jones (2002), es va construir una regressió multilíneal on els predictors eren les dades de precipitació mensual i els predictands la freqüència mensual de cada un dels tipus de la classificació sinòptica de JiC (Cortesi et al., 2013a). La motivació principal de l'article no és treballar amb la variabilitat de la precipitació sinó establir una relació entre els mapes sinòptics i la precipitació a la Península Ibèrica per reconstruir sèries de precipitació a temps passat. Els resultats obtinguts són molt il·lustratius pel que fa a la relació entre els tipus de JiC i la precipitació associada a aquests tipus. Les dades amb què treballa són les precipitacions d'octubre a maig per concentrar-ho en els mesos en què hi ha més precipitació a la Península Ibèrica.

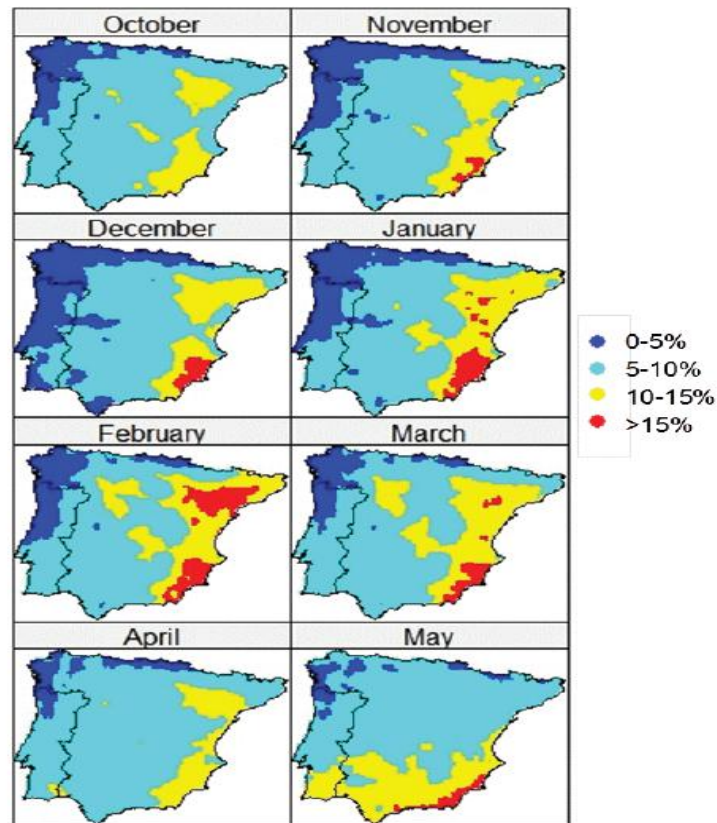


Figura 50: Distribució de l'error de la regressió multilinear normalitzada per la precipitació mensual observada. Percentatges menors impliquen millor funcionament

Els gràfics d'errors (Figura 50) mostren que, malgrat en general la regressió funciona bé a la Península Ibèrica, a la zona del Mediterrani i sobretot a la vall de l'Ebre, aquesta té algunes mancances. Aquest fet es podria deure a molts factors entre els quals, la naturalesa no sinòptica de la precipitació o la limitació de classificació de JiC al contenir només el nivell de superfície, totalment insuficient per captar els mecanismes d'una part important de la precipitació de l'arc mediterrani. Fet que es corrobora en la figura 51, en la que es mostra la dificultat de la regressió multilinear a l'hora de modelar la precipitació mensual al Mediterrani. L'únic mes que funciona prou bé seria el mes de gener en el qual generalment hi ha poca precipitació.

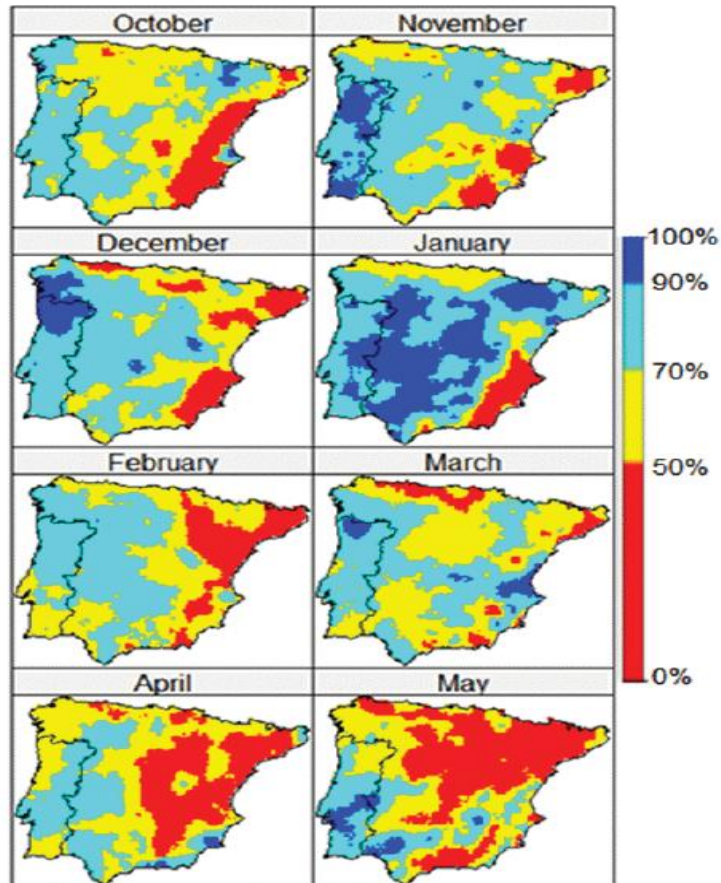


Figura 51: Percentatge de contribució dels tipus sinòptics a la precipitació mensual

En un treball posterior (Cortesi et al., 2014) va continuar treballant en l'estudi sobre la influència dels diferents tipus sinòptics a la precipitació mensual. En aquest treball es va fer un estudi sobre la influència dels tipus sinòptics més importants des del punt de vista de la precipitació a la Península Ibèrica: Oest, Sud-Oest, casos ciclònics, Nord i Nord-Oest.

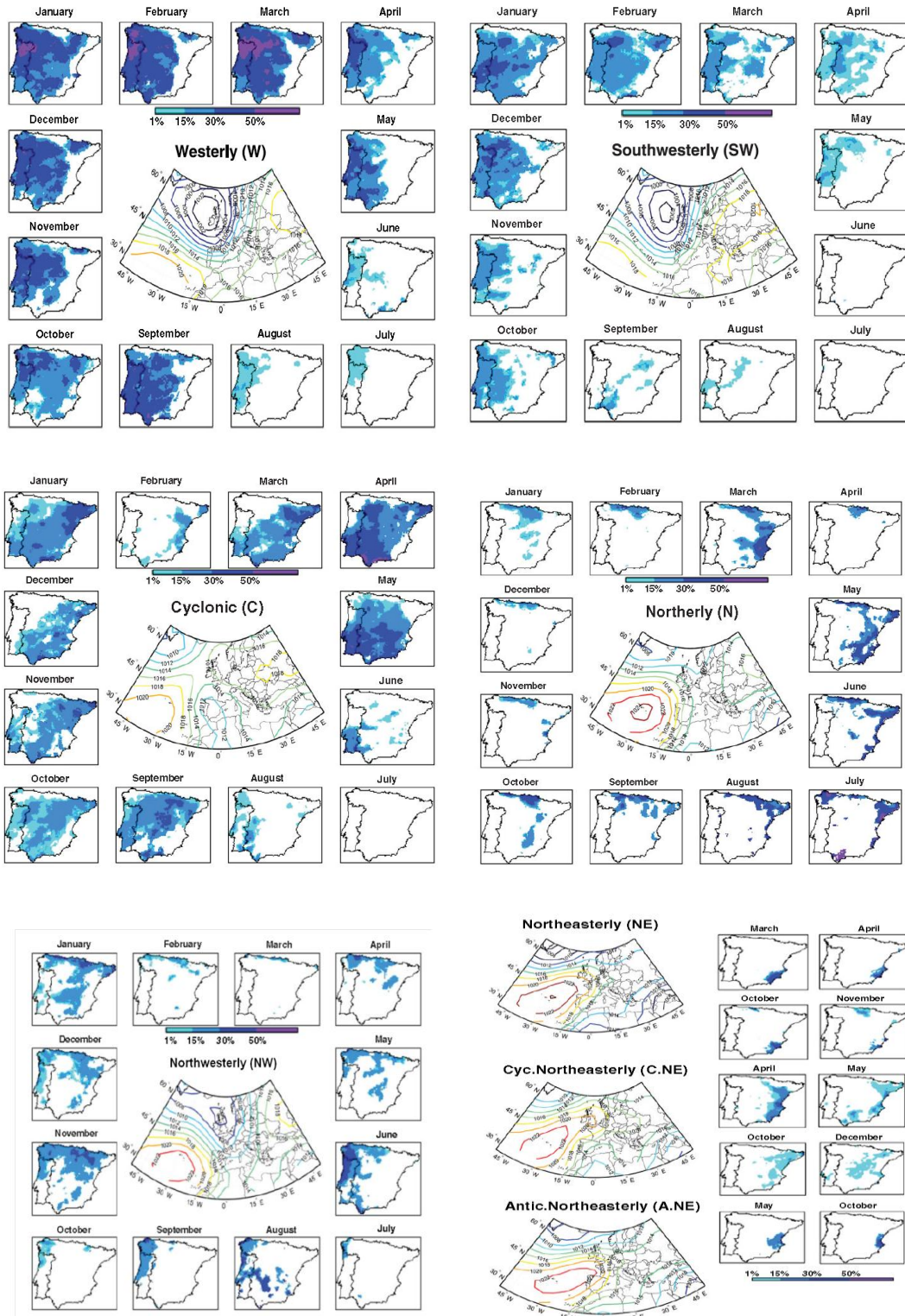


Figura 52: Contribució de cada tipus de temps a la precipitació mensual.

A la figura 52 es veu la contribució de cada tipus de temps a la precipitació total i es veu quins tipus de temps són més determinants per la precipitació a Catalunya i les àrees que agafen.

- Ramos et al (2015)

Seguint la mateixa tècnica de Cortesi et al. (2013a, 2014), Ramos et al (2015) calcula la contribució de cada tipus de temps a la precipitació diària. En aquest treball es mostraran els resultats pels tipus més interessants des del punt de vista pluviomètric per la Península Ibèrica: Ciclò, Oest, i NE. La resta de casos no es tenen en compte en aquesta tesi per no saturar de gràfics. Ara bé, es poden consultar a:

<http://www.frontiersin.org/journal/10.3389/feart.2014.00025/abstract>

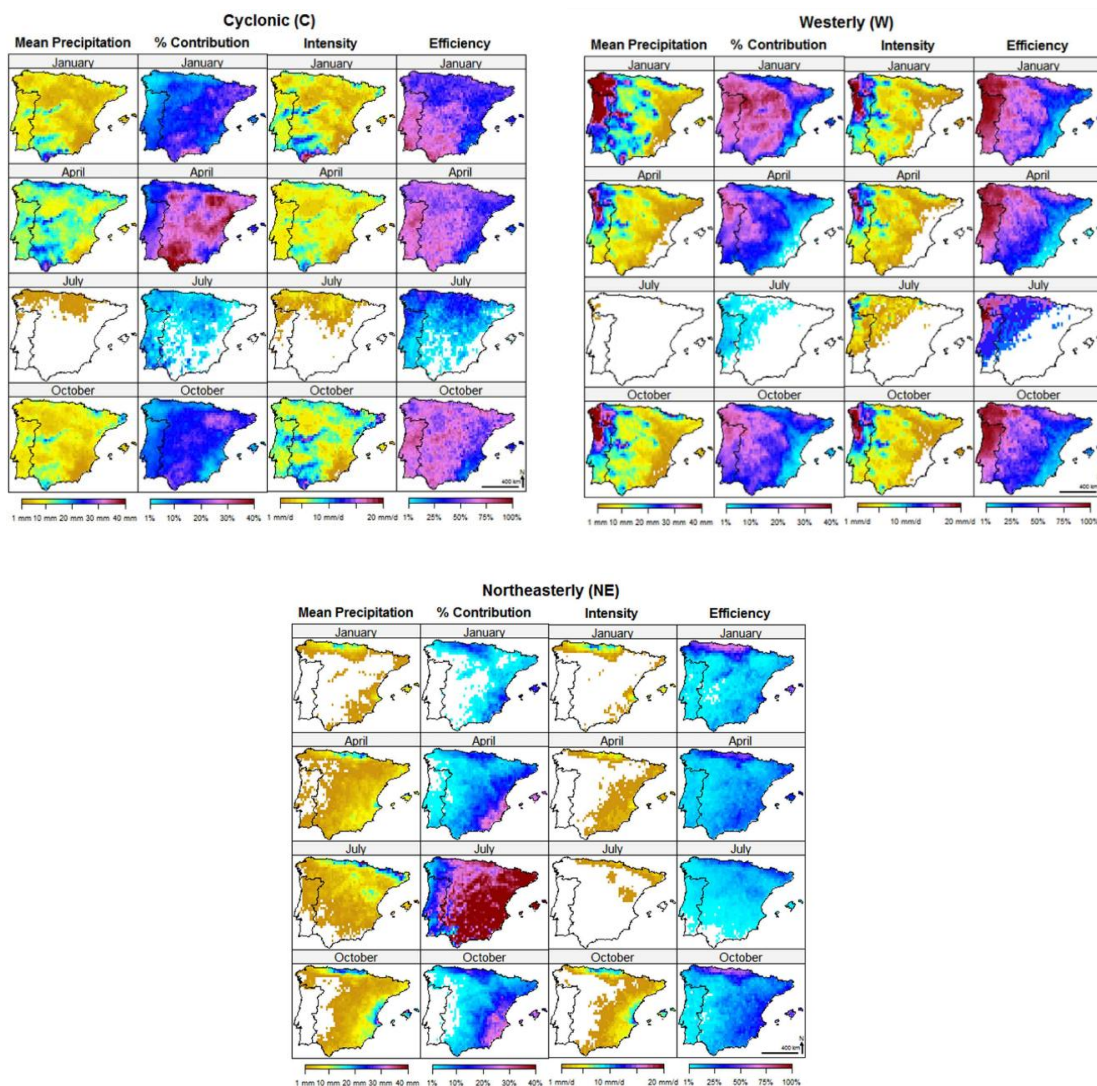


Figura 53: Precipitació mitjana, % de contribució, intensitat i eficiència per cada tipus de temps

5.3.1 Altres treballs

Autors com De Luís et al. (2000), han fet també estudis de la variabilitat de la precipitació mensual per la zona del Mediterrani, concretament a València, usant el Precipitation Concentration Index (PCI). Aquest índex és una mesura de la estacionalitat de la precipitació, valors grans indicarien que la precipitació es distribueix en pocs dies, i per tant és un indicador de precipitacions torrencials. Per aquest índex és interessant saber la seva evolució amb el temps per estudiar les tendències de les precipitacions torrencials. També González-Hidalgo et al. (2001) van estudiar la distribució espacial de la tendències a partir de l'anàlisi de Cramér-von Mises (Cramér, 1928; von Misses, 1928) i la relació entre la precipitació i els patrons de variabilitat de baixa freqüència (González-Hidalgo et al., 2009). Un treball semblant va realitzar per la zona del Mediterrani Dünkeloh i Jacobeit (2003) usant components principals i anàlisi de correlacions canòniques.

Seguint aquesta línia de treball, però amb una nova definició de l'índex de concentració de precipitació, Martín-Vide (2004) calcula un mapa de la Península Ibèrica de l'índex de precipitació diària definit per ell mateix.

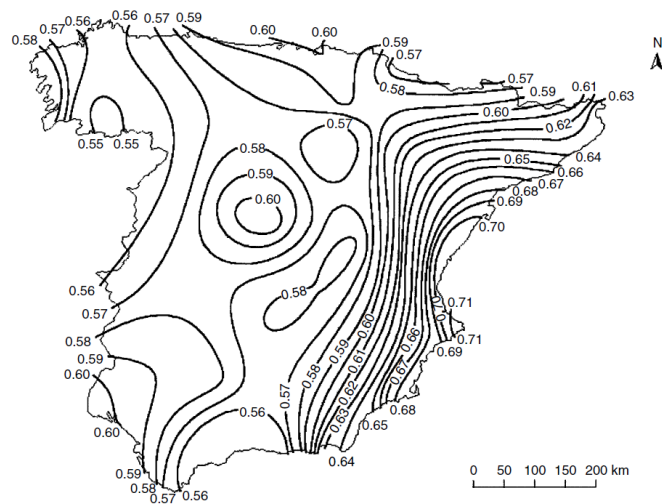


Figura 54: Mapa d'isopletes de l'índex de concentració de precipitació diària calculat per Martín-Vide

Per altra banda, Trigo i DaCamara (2000) van estudiar la relació entre els tipus de temps de JIC i la seva relació amb les tendències i els extrems de precipitació.

També s'han realitzat treballs en els quals s'apliquen fractals i teoria del caos per l'estudi de la variabilitat temporal de la precipitació (Gutiérrez et al., 2006).

Més recentment (Cortesi et al, 2013b) apliquen la tècnica del Correlation Decay Distance a la precipitació d'Espanya. Amb aquesta metodologia el que es busca és estudiar com la correlació entre dues variables meteorològiques es comporten amb la distància. Valors alts indicaran poca variabilitat de la precipitació, és a dir, quan plou en una estació plou en les seves veïnes fins a una distància gran, en canvi per valors petits, indicaria el contrari i per tant alta variabilitat. Els resultats d'aquest índex mostra Catalunya com una zona amb molta variabilitat en la precipitació.

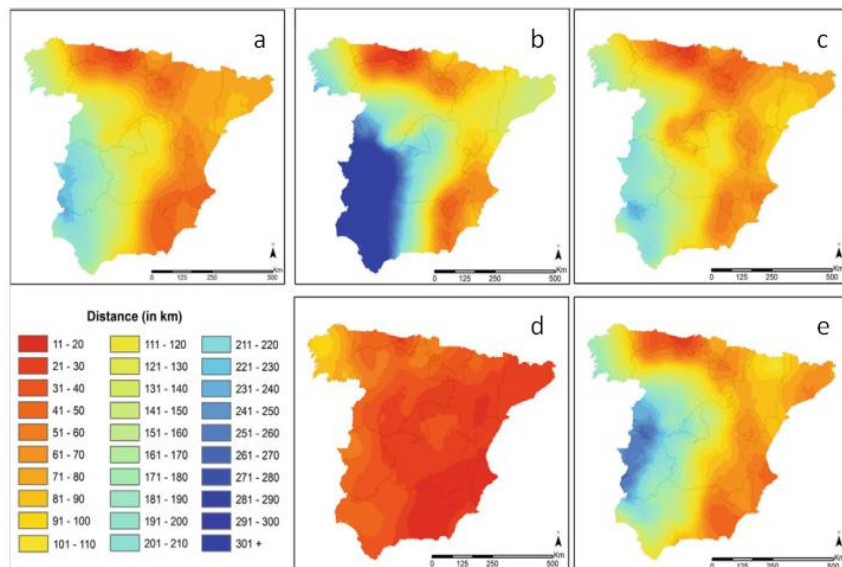


Figura 55: Correlation decay distance calculada per la Península Ibèrica: a) Per tot l'any. b) Per l'hivern c) Per la primavera d) Per la tardor e) Per l'estiu

5.4 Metodologia

De tots els mètodes que s'han exposat, el més usat en diferents treballs és el basat en PCA. Aquest mètode dóna directament els patrons de variabilitat tant espacials com temporals i té l'avantatge de tenir relativa objectivitat. Malgrat que amb el PCA també has de triar de manera subjectiva el nombre de components a retenir, amb l'anàlisi de clústers la subjectivitat és més explícita ja que obliga a escollir, a priori, uns grups inicials.

També s'ha analitzat poder aplicar altres metodologies com el Correlation Decay Distance, amb resultats no massa concloents a l'hora de determinar patrons de precipitació mesoscalar, ja que apareixien patrons molt influïts per l'orografia i dóna poca informació sobre la distribució de la precipitació. Aquesta metodologia està pensada per treballar amb àmbits més grans que el de Catalunya per tal de captar variabilitats més generals. Altres mètodes com l'ús de fractals o teoria del caos o índexs estadístics han semblat poc adients per l'estudi que es vol fer en el treball.

El treball amb components principals dut a terme per Romero et al. (1999a,b) suggereix la necessitat de poder treballar la variabilitat de la precipitació per diferents tipus sinòptics ja que molta part de la variabilitat que apareix, sovint és difícil d'interpretar físicament. Molt sovint, una mateixa pluja pot respondre a mecanismes sinòptics molt diferents, i viceversa: una mateixa situació sinòptica pot fer que en uns determinats casos plougui en una zona i d'altres no.

Pel que fa a l'estudi de la variabilitat de la precipitació aplicat per separat a cada un dels tipus d'una classificació sinòptica, el treball de Serra et al. (1998) és un treball que presenta força similituds amb el treball que es presenta en aquesta tesi, sobretot en el fet que s'aplica PCA a la precipitació que es correspon a cada un dels tipus sinòptics manuals definits per l'autor. La sèrie de dades que utilitza però es força limitada ja que només es treballa amb un període de 4 anys de dades i fa una interpretació directa dels loadings que sovint tenen una interpretació amb poc sentit físic.

En el cas que es planteja ara, s'usaria una classificació automàtica objectiva que inclou els nivells de superfície i de 500 hPa amb 30 anys de dades de precipitació, amb la qual cosa es poden obtenir resultats amb més significació física i estadística. Així doncs, una vegada determinats els tipus sinòptics amb la classificació obtinguda en el capítol anterior, es calcula la variabilitat de la precipitació associada a cada un dels tipus. Aquesta variabilitat es calcula

amb una anàlisi de components principals en S-mode, de manera que el que es fa és calcular una distribució espacial de la precipitació (loadings) en la qual la sèrie de precipitacions (distribució temporal o scores) expressarà la màxima variabilitat i, per tant, representarà la màxima informació del problema. Així doncs, seguint criteris semblants al mètode de les puntuacions màximes (Esteban, 2012), dies amb valors extremals dels scores seran els dies en els quals es donen els casos més significatius del patró de variabilitat que representa cada component principal. Calculant el composite de la precipitació per aquests dies i per cada una de les components principals, obtindrem els patrons de precipitació mesoscalars.

El criteri per determinar si un valor del score és extremal o no es farà a partir dels percentils. Degut a la naturalesa gaussiana dels scores si s'agafen valors més grans que el percentil 90 s'obtindran dies més significatius per cada patró de variabilitat de precipitació.

5.4.1 Anàlisi factorial

- **Anàlisi de components principals**

En conjunts amb un nombre molt gran de dades sovint es fa difícil poder-hi treballar ja que normalment sol haver-hi moltes redundàncies, és a dir, que hi ha moltes dades que apareixen correlacionades i que per tant, és informació que no aporta res de nou. Davant d'aquesta situació, es va pensar a trobar un mètode estadístic multivariant que reduís la dimensió d'aquest conjunt de dades sense perdre, però, la informació més valuosa. Dit d'una altra manera, es tractaria de trobar una forma d'expressar les dades amb el mínim número de variables però mantenint el màxim d'informació.

El mètode que s'utilitza és la PCA. Aquest és basa en canviar el sistema de referència de les dades a un sistema ortogonal, de manera que en el nou sistema de referència (Figura 56), les dades apareguin descorrelacionades entre elles i ordenades en ordre decreixent d'explicació de variabilitat. Aquestes noves variables són les que s'anomenen components, a partir de les quals es calcularan els *scores*.

El nou sistema de referència serà una base de vectors propis ortogonals anomenada **funcions ortogonals empíriques** (EOF). A les EOF també se les coneix com *loadings*.

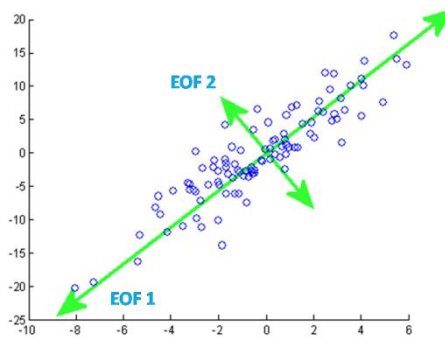


Figura 56: Els EOF agafen les direccions de màxima variabilitat.

Una vegada obtingut el nou conjunt de dades, sabent el percentatge de la variabilitat explicada per cada element d'aquest nou conjunt s'haurà de decidir quantes es seleccionaran de manera que amb poques dades s'expliqui el màxim d'informació. En apartats posteriors s'explicaran diferents mètodes per prendre la millor decisió.

- **Funcions ortogonals empíriques**

La metodologia aplicada en les PCA, a part de ser usada per reduir els conjunts grans de dades, també serveix per estudiar la variabilitat temporal i espacial del fenomen que es vol estudiar (Hannachi et al., 2007). Alguns autors només utilitzen el nom de PCA quan es fa referència a l'aplicació del mètode per tal de reduir el nombre de variables i usen el nom de Funcions Ortogonals empíriques (EOF) quan el mètode s'utilitza per estudiar la variabilitat d'un determinat problema (Mestas-Núñez, 2000). En aquest estudi s'usaran les EOF per estudiar la variabilitat de la precipitació.

Com ja s'ha dit abans, en llenguatge matemàtic el problema de trobar les EOF es basa en trobar un sistema de referència en el qual les dades apareguin descorrelacionades, és a dir, en el qual la matriu de covariàncies (o de correlacions) sigui diagonal i a la vegada que les noves variables es disposin en ordre de manera que les primeres siguin les que representen més variabilitat. Per a trobar aquesta nova base (sistema de referència), es simplifiquen molt els càlculs si es treballa amb bases ortogonals, ja que el problema de diagonalització en bases ortogonals es relativament senzill. El mètode matemàtic que s'usarà per calcular les funcions ortogonals empíriques serà l'anomenat Singular Value Decomposition (SVD) (De Lathauwer et al, 1994).

- **T-mode i S-mode**

Bàsicament, hi ha dues maneres d'aproximar-se al problema de les components principals, una és amb el T-mode que estudia la variabilitat del camp de les mesures (variables) al llarg del temps (observacions), i l'altra amb el S-mode que estudia la variabilitat de les sèries temporals (observacions) del camp de les mesures (variables).

Quan es treballa amb S-mode el que es fa és trobar dins l'espai de les variables una base (loadings) en la qual les noves sèries temporals obtingudes (scores) expliquen la màxima variància en ordre decreixent. Cada un dels vectors de la base (loadings) explica com cada variable està correlacionada amb la corresponent nova sèrie temporal d'observacions (scores).

Quan es treballa amb T-mode, es fa l'invers que amb S-mode. Es troba dins l'espai de les observacions (sèries temporals) una nova base (loadings) de manera que el mapa de mesures maximitza la variància espacial explicada en ordre decreixent. Cada un dels vectors de la base (loadings), seran sèries temporals de correlacions que ens donaran els dies que millor correlacionen amb cada un dels mapes de mesures obtinguts (scores).

D'aquesta manera, el S-mode normalment s'usa per identificar regions homogènies pel que fa a la variabilitat temporal (donat pels loadings en S-mode). En canvi el T-mode, es sol utilitzar per trobar directament patrons espacials de variabilitat (donat pels scores en T-mode).

En el nostre cas, cada variable és una estació i les observacions es corresponen amb les sèries temporals de la pluja diària de cada estació. Amb el PCA en S-mode, els scores representen sèries temporals que maximitzen la variància i les EOF (loadings) si les estacions correlacionen positivament o negativament. Amb el T-mode en canvi, les variables (loadings) serien les sèries temporals associades a cada estació i les observacions (scores) serien la quantitat de precipitació en un moment donat, el que s'anomena "snapshot" (Preisendorfer, 1988). Llavors les sèries temporals associades als loadings marcaran la correlació de cada dia amb el patró espacial de precipitació.

- **Correlacions i Covariàncies**

A l'hora de fer els càlculs es pot treballar amb les dades mesurades o bé amb les dades normalitzades. La diferència entre un mètode i l'altre és que en treballar amb les dades mesurades la matriu que es diagonalitzarà quan es fa el càlcul dels EOF serà la matriu de

covariàncies, mentre que en el cas de treballar amb les dades normalitzades, la matriu que es diagonalitzarà serà la matriu de correlacions.

Usar les dades normalitzades és convenient en casos en els quals es tenen dades molt heterogènies i difícils de comparar (Jolliffe, 1990). De totes maneres, cal tenir en compte que pel fet de treballar amb dades normalitzades, la variabilitat entre estacions amb quantitats de precipitació molt dispars es pot veure suavitzada.

En el cas de l'estudi de precipitació que es duu a terme en aquest treball, el que interessa estudiar és la variabilitat espacial de la precipitació, la qual cosa fa que la variabilitat temporal de les quantitats de precipitació diària associades a cada patró, sigui considerat poc rellevant per al nostre problema. Així doncs s'usaran les correlacions a l'hora de calcular les EOF.

- **Rotació de components principals: Varimax**

El desitjable és poder correlacionar els patrons de variació temporal de les sèries obtingudes (scores) amb algun fenomen atmosfèric. El principal problema és que no sempre és senzill trobar una interpretació física a les components principals perquè a l'aplicar combinacions lineals a les dades originals, aquestes combinacions no tenen perquè tenir sentit físic. A més, el fet de treballar amb una base ortogonal no facilita les coses, ja que en general els patrons físics solen ser no-ortogonals (Simmons et al, 1983).

Per tal de facilitar la interpretació dels resultats es sol aplicar una rotació a la base obtinguda per millorar la representació de la variància i fer els resultats més interpretables físicament (Figura 57). Nombrosos autors entre els que es destaca Richman (1986) ens parlen dels dèficits de treballar amb components principals no rotades. Les rotacions es poden fer de moltes maneres, però la que s'usarà és la Varimax (Kaiser, 1958).

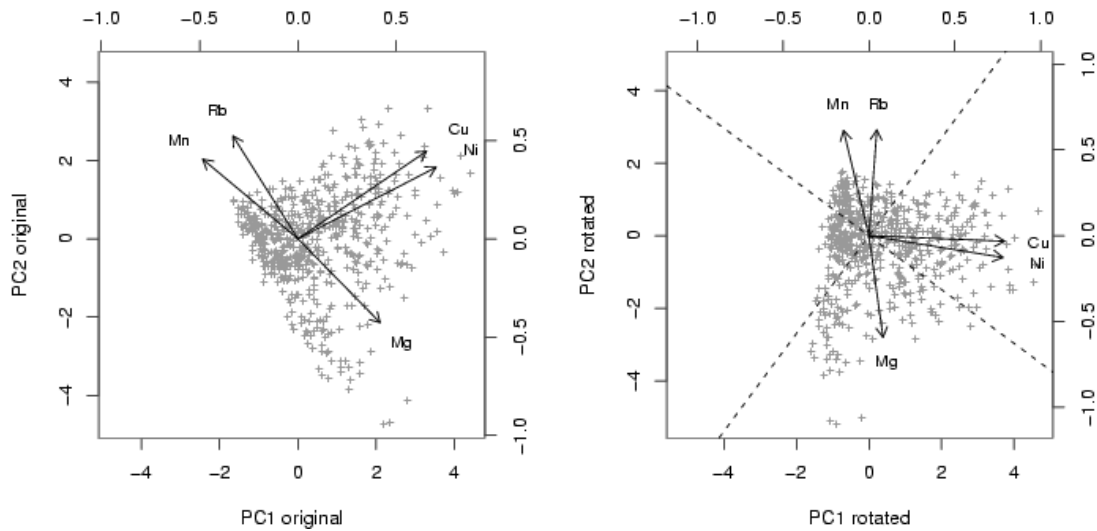


Figura 57: En aquesta figura es mostra que fer una rotació equival a rotar les direccions principals per expressar les dades de manera diferent, en el cas de Varimax es tracta d'aconseguir un sistema de referència en el qual les dades tinguin més sentit físic.

- **Relació entre observacions i variables**

Diferents autors ens parlen sobre la necessitat de tenir en compte la mida de la mostra a l'hora de calcular les funcions ortogonals empíriques (Hair et al, 1999; Kline, 1994). En regla general, pel cas de S-mode es demana que el nombre d'observacions, és a dir, les files de la matriu, sigui més gran que les variables, que es correspon amb el número de columnes. Però també es important el nombre d'observacions utilitzades, ja que en el cas de tenir poques observacions podem tenir resultats força diferents i poc realistes (Lana i Mills, 1994). Malgrat la subjectivitat a l'hora d'establir un llindar objectiu per considerar una mida com a suficient, Esteban (2012) estableix uns llindars que s'usaran en aquest treball.

1. Mostra inferior a 50 observacions es considera insuficient.
2. Entre 50 i 300 observacions es pot considerar una mostra molt petita però suficient.
3. Entre 300 i 1000 observacions es pot considerar una mostra suficient.
4. Si la mostra és superior a 1000 llavors la mostra es considera bona.

Aquest punt és important tenir-lo en compte ja que quan es busquen dies de precipitació en casos sinòptics poc propensos, el número de casos pot ser massa petit per poder fer una PCA prou fiable.

El número de variables amb què es treballa estarà fixat en 217, que es corresponen amb el nombre de punts graella amb els quals es cobreix Catalunya amb el conjunt Spain02. El número d'observacions en canvi varia segons en el tipus en què estem treballant:

| | Tipus I | Tipus II | Tipus III | Tipus IV | Tipus V | Tipus VI | Tipus VII | Tipus VIII |
|-----|---------|----------|-----------|----------|---------|----------|-----------|------------|
| Obs | 582 | 1644 | 784 | 660 | 874 | 386 | 442 | 163 |

| | Tipus IX | Tipus X | Tipus XI | Tipus XII | Tipus XIII | Tipus XIV | Tipus XV | Tipus XVI |
|-----|----------|---------|----------|-----------|------------|-----------|----------|-----------|
| Obs | 481 | 623 | 219 | 1771 | 523 | 1846 | 532 | 36 |

Taula 22: En aquesta taula es mostra el número d'observacions per cada un dels tipus

Tenim que en la major part dels casos es dona que el número d'observacions és més gran que el número de variables, excepte en el Tipus VIII, que es correspon amb al tipus d'advecció del Sud, el Tipus XI que es correspon amb el tipus gota freda al Sud-OEst i el Tipus XVI que es correspon al tipus d'Anticicló tèrmic. Aquest fet és normal ja que són situacions que solen donar-se molt poc (Taula 22). A més, el cas Tipus XVI no s'estudiarà perquè és un cas que es dona molt pocs dies i a més sol no donar precipitacions.

A l'altre extrem, hi ha els casos en els quals tenim moltes observacions com són el Tipus II, que es correspondria amb l'advecció del W anticiclònica, el cas Tipus XII que seria el cicló i el Tipus XIV que seria el pantà baromètric que també es corresponen amb els casos que es donen més (Taula 22).

La resta de casos estan entre 300 i 1000 i per tant es consideren sèries aptes per poder aplicar PCA.

- **Scree-Test**

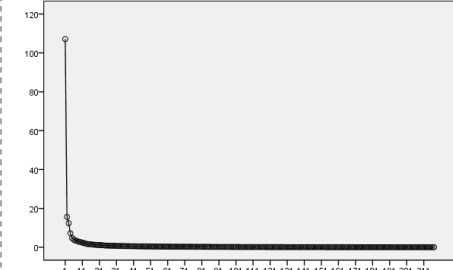

Pel trobar el nombre de components principals representatives del conjunt de dades usades s'usarà el criteri del contrast de caiguda, anomenat Scree-Test (Cattell, 1966). En aquest mètode es representa gràficament els valors de variància explicada (ordenades) per cada una de les components (abscisses) i el valor a partir del qual la corba es fa plana, es considera com el nombre de components a retenir. Normalment, s'agafa el valor on la corba es comença a fer plana i se li resta una unitat.

5.5 Resultats

En aquest punt s'estudiaran els patrons de precipitació que s'obtenen al aplicar la metodologia anterior al conjunt de dades de precipitació disponibles del conjunt Spain02, que com ja s'ha descrit anteriorment cobreix el període del 1971 fins al 2007. En total són 36 anys de dades, que donen significació climatològica als resultats que s'obtidran.

5.5.1 Scree-test

En la taula 23 podem veure el número de components retingudes basant-nos en l'Scree-Test per cada EOF. Una vegada decidits quantes components retindrem segons el tipus de temps interpretarem els resultats de les EOF.

| Tipus de temps | Número de components | Variància explicada | Scree test |
|----------------|----------------------|---|---|
| Tipus I | 3 | EOF1: 27.5% EOF2: 18.5% EOF3: 16.0% Total: 62.0% |  <p>The plot shows the variance explained by the first 21 EOFs. The y-axis ranges from 0 to 120. The first EOF explains approximately 27.5% of the variance, the second 18.5%, and the third 16.0%. The total variance explained by the first three EOFs is 62.0%. The variance explained by subsequent EOFs drops significantly and remains low.</p> |
| Tipus II | 3 | EOF1: 24.7% EOF2: 17.6% EOF3: 15.9% Total: 58.2% |  <p>The plot shows the variance explained by the first 21 EOFs. The y-axis ranges from 0 to 100. The first EOF explains approximately 24.7% of the variance, the second 17.6%, and the third 15.9%. The total variance explained by the first three EOFs is 58.2%. The variance explained by subsequent EOFs drops significantly and remains low.</p> |

| Tipus de temps | Número de components | Variància explicada | Scree test |
|----------------|----------------------|---|------------------------------|
| Tipus III | 3 | EOF1: 27.7% EOF2: 17.6% EOF3: 15.9 % Total: 61.2% | |
| Tipus IV | 4 | EOF1: 19.9% EOF2: 18.0% EOF3: 11.6% EOF4: 11.1% Total: 60.6% | Gráfico de sedimentación |
| Tipus V | 4 | EOF1: 19.3% EOF2: 16.9% EOF3: 12,7% EOF4: 11,6% TOTAL: 60.5% | |
| Tipus VI | 4 | EOF1: 21.9% EOF2: 18.9 % EOF3: 13.7% EOF4: 10.4% Total: 64.9% | |

| Tipus de temps | Número de components | Variància explicada | Scree test |
|----------------|----------------------|--|------------|
| Tipus VII | 3 | EOF1: 26.1% EOF2: 23.6% EOF3: 21.4% Total: 71.1% | |
| Tipus VIII | 4 | EOF1: 24.2% EOF2: 21.3% EOF3: 17.2% EOF4: 16% Total: 72.4% | |
| Tipus IX | 3 | EOF1: 24.7% EOF2: 24% EOF3: 23.8% Total: 72.5% | |
| Tipus X | 3 | EOF1: 22.3% EOF2: 18.3% EOF3: 16,4% Total: 57% | |

| Tipus de temps | Número de components | Variància explicada | Scree test |
|----------------|----------------------|--|------------|
| Tipus XI | 3 | EOF1: 23.7% EOF2: 20.5% EOF3: 16.1% Total: 60.3% | |
| Tipus XII | 3 | EOF1: 24.5% EOF2: 21.4% EOF3: 17.9% Total: 63.8% | |
| Tipus XIII | 3 | EOF1: 24.4% EOF2: 21.0% EOF3: 15.5% Total: 60.9% | |
| Tipus XIV | 6 | EOF1: 18.8% EOF2: 16.3% EOF3: 8.9% EOF4: 7.5% EOF5: 6.9% EOF6: 4.2% Total: 58.5% | |

| Tipus de temps | Número de components | Variància explicada | Scree test |
|----------------|----------------------|---|------------|
| Tipus XV | 6 | EOF1: 22.7% EOF2: 9.7% EOF3: 8.9% EOF4: 7.2% EOF5: 6.7% EOF6: 4.9% Total: 60.1% | |

Taula 23: En aquesta taula es mostra en la quarta columna, per cada tipus sinòptic, l'scree test que servirà per determinar el nombre de components principals que es retenen per tal d'explicar la variabilitat de precipitació (segona columna). En la tercera columna es mostra la variància explicada per cada una de les components principals seleccionades i la suma total d'aquesta.

5.5.2 Patrons de precipitació per cada tipus de temps

- **Tipus I**

El tipus de temps Tipus I es correspondria amb el tipus manual de Martín-Vide, Advecció de l'Oest. Amb aquesta situació les precipitacions que cal esperar són degudes a fronts atlàntics, normalment associats amb advecció de l'Oest, que el mètode de JiC no és capaç de detectar. Aquest sistema solen donar precipitacions sobretot al Pirineu més occidental i a l'Oest de Catalunya, on aquestes últimes són més dèbils i aïllades.

Amb l'Scree Test hem vist que en aquesta situació és suficient retenir 3 components principals (PC).

El primer PC representa el 27.5 %. A partir dels scores busquem els dies en els quals els valors estiguin per sobre del percentil 90 obtenint el següent composite de precipitació:

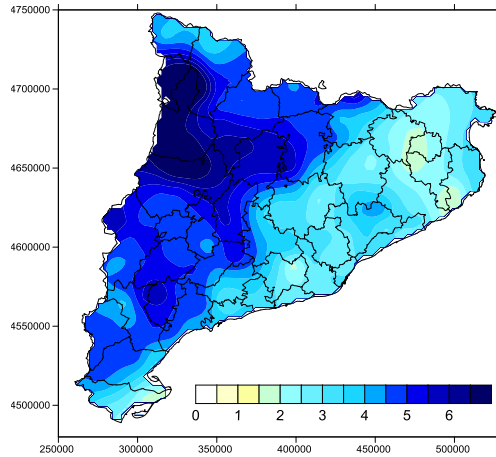


Figura 58: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus I.

Els scores positius estan associats amb precipitacions a l'Oest de Catalunya que es donarien principalment els mesos hivernals (Figura 59), amb la qual cosa es pot deduir que estan produïts per sistemes frontals que creuen sovint la Península en aquesta estació. Aquest front arribaria dèbil a Catalunya i s'acabaria de debilitar al creuar la depressió central i les muntanyes del Pirineu.

Els mapes sinòptics associats corroboren aquesta situació (Figura 59).

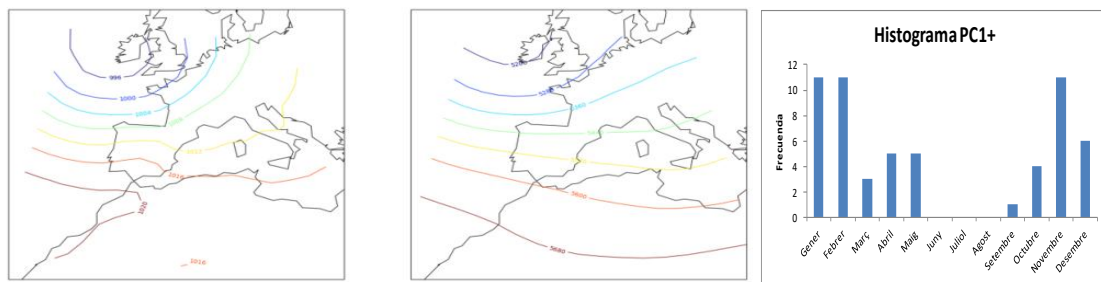


Figura 59: Pel primer PC del Tipus I: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació

El segon PC representa el 18.5 %. La precipitació associada als scores positius és:

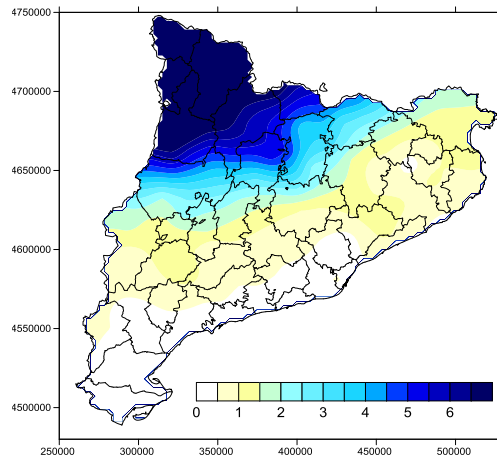


Figura 60: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus I.

En aquest cas, el patró de precipitació representaria les que es donen a l'extrem Nord occidental de Catalunya. Precipitacions que anirien associades amb el pas d'un solc dèbil en altura i que es presentarien principalment fora de l'estiu amb un màxim als mesos d'octubre, novembre i desembre (Figura 61).

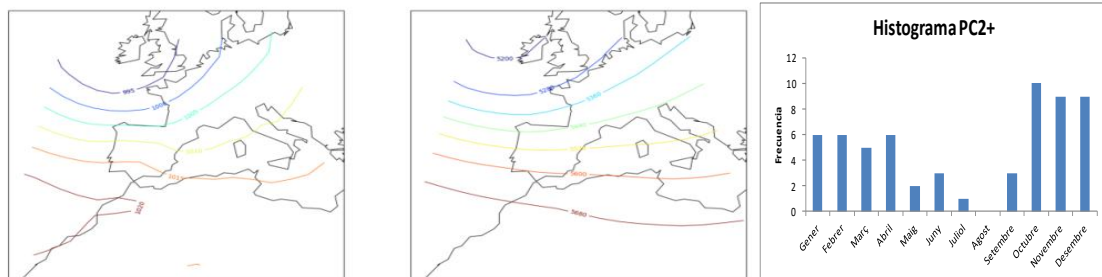


Figura 61: Pel segon PC del Tipus I: ídem que en la figura 59.

El tercer PC representa el 16% de la variabilitat i els scores positius també representarien la precipitació provocada pel pas d'un front amb una configuració sinòptica molt semblant al primer PC. En aquest cas però les precipitacions es concentrarien al NE de Catalunya (Figura 62).

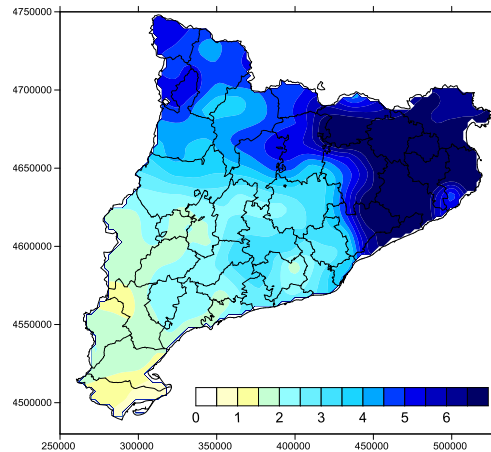


Figura 62: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus I.

Els mapes sinòtics ens mostren una tàlveg a 500 hPa (Figura 63), el qual al arribar a la zona de del NE de Catalunya, propera al mar i resguardada del vent de ponent, afavoreix l'aparició de precipitació convectiva, principalment durant els mesos de primavera i tardor.

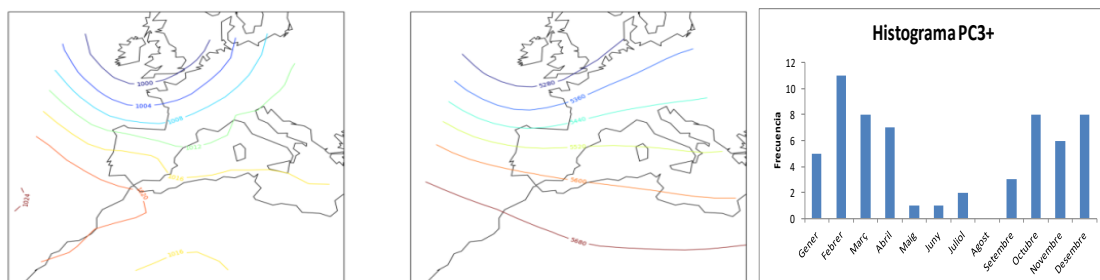


Figura 63: Pel tercer PC del Tipus I: ídem que en la figura 59.

Els patrons que apareixen en aquest tipus de temps solen donar-se més entre l'octubre i l'abril, que és quan hi ha més passos de sistemes frontals, pel desplaçament meridional que efectua el front polar durant aquest període.

- **Tipus II**

Aquest tipus es correspondria amb Advecció de l'Oest Anticiclònica de Martín-Vide. En aquest cas, el fet de tenir un anticicló en superfície impedirà la convecció, malgrat que en altura hi pugui haver inestabilitat. En les zones de muntanya, el forçament provocat per l'orografia pot vèncer la subsidència de l'anticicló i produir-se precipitacions.

El primer PC representa el 24.7 % de la variabilitat, i dibuixant la precipitació associada als scores positius, es troba un patró amb precipitacions localitzades sobretot a les zones de muntanya de la meitat Oest de Catalunya.

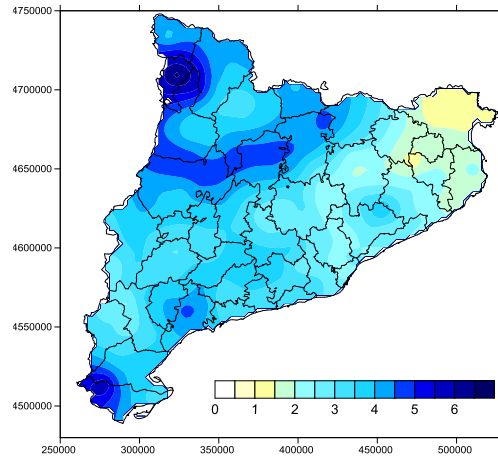


Figura 64: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus II.

La situació sinòptica associada es correspon a una situació anticiclònica en superfície però amb un solc entrant per l'Oest de la Península Ibèrica (Figura 65). Aquest solc després de creuar la Península Ibèrica arriba molt desgastat a Catalunya provocant precipitacions dèbils principalment al Nord-Oest i l'extrem Sud de Catalunya, quedant-ne al marge la meitat Est. Aquesta patró té la màxima incidència els mesos de primavera i de finals d'estiu a principis de tardor, amb un màxim al mes de gener, que de fet, és el mes en el qual solen donar-se més situacions anticiclòniques.

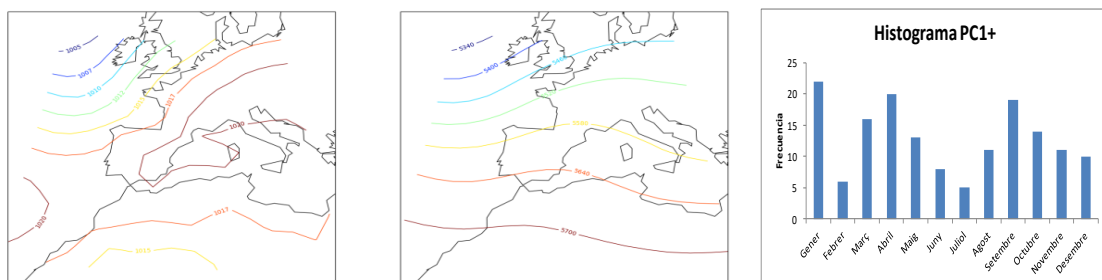


Figura 65: Pel primer PC del Tipus II: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació

El segon PC representa el 17.6% de la variabilitat i els scores positius donarien les precipitacions orogràfiques i convectives que afecten les zones més propenses a haver-hi precipitacions.

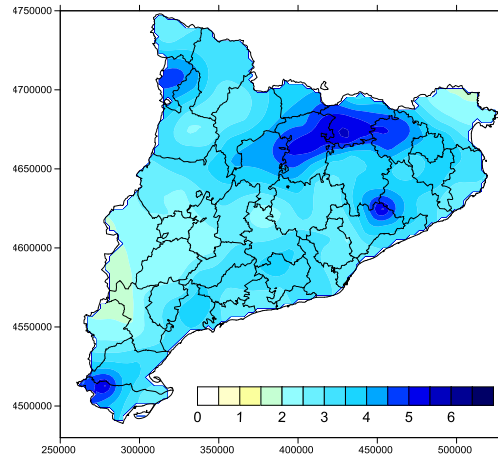


Figura 66: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus II.

Els mapes associats (Figura 67) indiquen que aquestes precipitacions van associades a la presència d'un solc molt dèbil en altura. La qual cosa implica que la precipitació es doni en llocs molt propensos a haver-hi precipitacions provocades per l'escalfament diurn i l'orografia. La màxima ocurrència d'aquest patró de precipitació es dona durant els mesos d'abril i setembre però en general es presenta durant tot l'any.

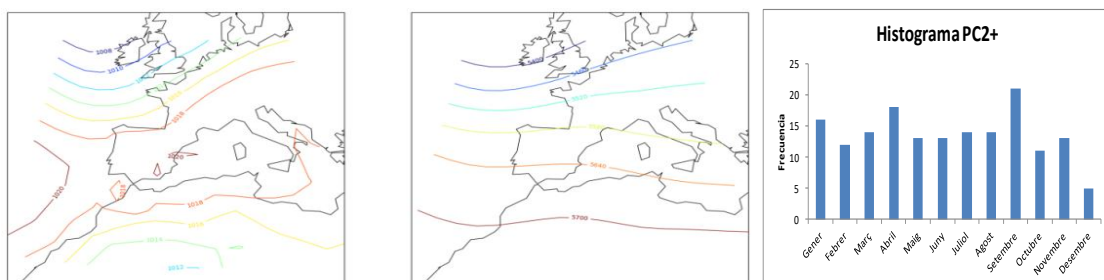


Figura 67: Pel segon PC del Tipus II: ídem que en la figura 65.

Per últim, en el tercer PC, que representa el 15.9% de la variabilitat, els scores positius representen les precipitacions convectives que solen donar-se a l'estiu a la zona occidental del Pirineu català.

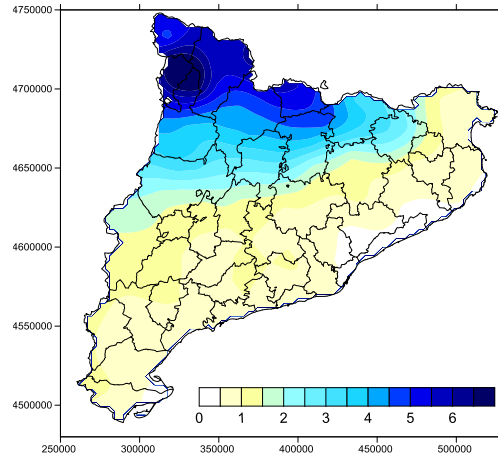


Figura 68: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus II.

Els mapes sinòptics i l'histograma de distribució anual de la precipitació conclouen que la major part de precipitació d'aquest partó seria produïda per tempestes estivals (Figura 69). La situació sinòptica mostra la presència d'un solc en altura travessant la Península Ibèrica que es desgasta ràpidament per la presència de la falca anticiclònica. La precipitació es concentra sobretot a l'estiu, ja que és quan l'escalfament diurn és més potent i, per tant, s'afavoreix més la convecció.

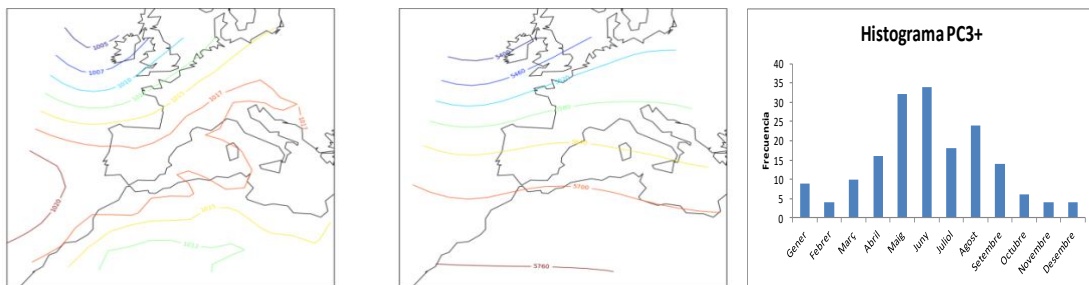


Figura 69: Pel tercer PC del Tipus II: ídem que en la figura 65.

- **Tipus III**

Aquest tipus es correspondria amb Advecció del Nord-Oest de Martín-Vide. Amb aquest tipus la precipitació sol ser minsa a la major part del territori català excepte a la cara Nord del Pirineu, on aquestes solen ser abundants i regulars. En certes ocasions, quan l'advecció del Nord-Oest va acompanyada d'aire fred en alçada, provoca també precipitacions convectives a les zones més resguardades del vent: la costa central Nord i la meitat Est de Catalunya.

Amb aquesta situació retenim 3 PC principals.

El primer PC representa el 27.7% de la variabilitat. La precipitació associada als scores positius, marca un patró de precipitació força típic en les situacions de Nord-Oest, amb precipitacions a la zona del Pirineu occidental, sobretot la cara Nord del Pirineu i a la zona del Maresme. Aquest situació és força regular i té un origen purament orogràfic i mesoscalar, provocada pel fet que d'una banda a la cara Nord del Pirineu el vent del Nord-Oest hi arriba carregat d'humitat i per l'altra, el rebuf provocat pel dípol orogràfic que es forma al Pirineu (Campins et al, 1995), implica una entrada de vents humits al Litoral Central que combinat amb la presència d'un solc en alçada afavoreix les precipitacions.

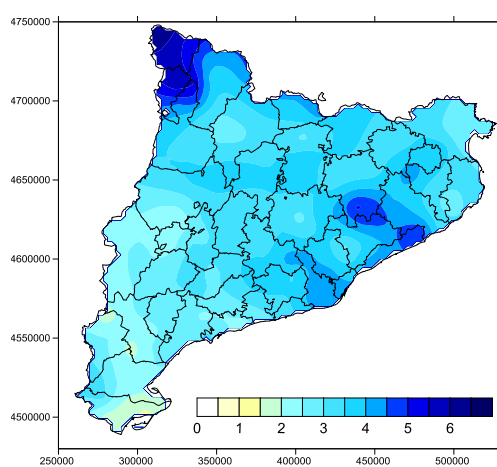


Figura 70: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus III.

Els mapes sinòptics confirmen que s'està davant d'una situació en que es pot generar rebuf a la zona del Maresme: la presència d'un solc a nivells mitjos que malgrat ja ha passat per sobre de Catalunya va acompanyat d'una important entrada d'aire fred què afavoreix la inestabilitat (Figura 71). Aquesta situació té un mínim entre els mesos de juliol i setembre (Figura 71), que són els mesos en els quals hi ha menys entrades del Nord-Oest.

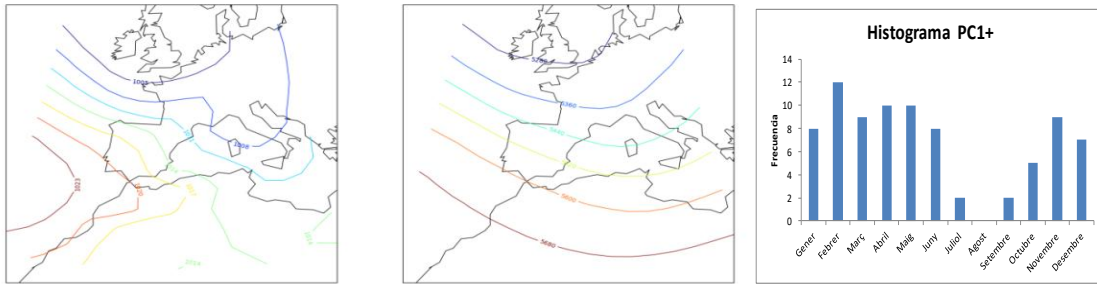


Figura 71: Pel primer PC del Tipus III: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació

Pel que fa al segon PC, representa el 17.6% de la variabilitat i els scores positius mostren un patró de precipitació sobretot concentrat al Nord-Est de Catalunya i a l'extrem més occidental del Pirineu:

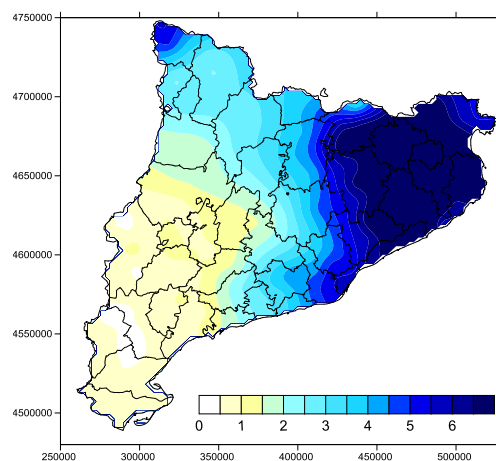


Figura 72: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus III.

Aquest tipus de precipitació va associada a una situació gairebé post-frontal amb un solc en altura centrat sobre la costa mediterrània (Figura 59). Aquesta situació sol donar-se principalment els mesos de primavera i té un origen marcadament convectiu: després del pas del sistema frontal queda aire fred en altura que genera precipitacions a les zones més reguardades del vent del Nord-Oest.

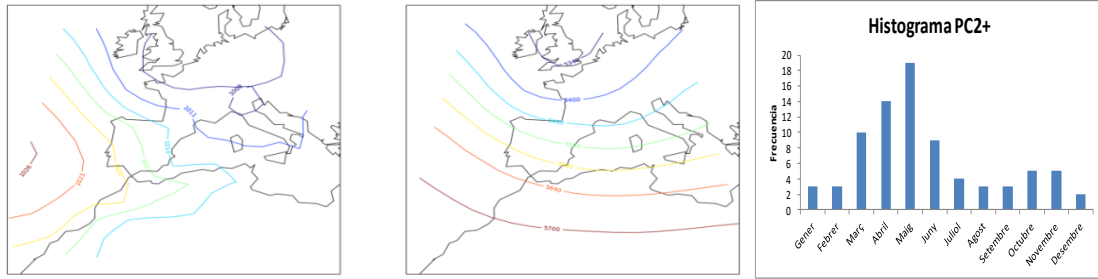


Figura 73: Pel segon PC del Tipus III: ídem que en la figura 71.

El tercer PC, representa el 15.9% de variabilitat i representa els casos en que es té precipitació restringida a la serralada pirinenca, sobretot a la cara Nord.

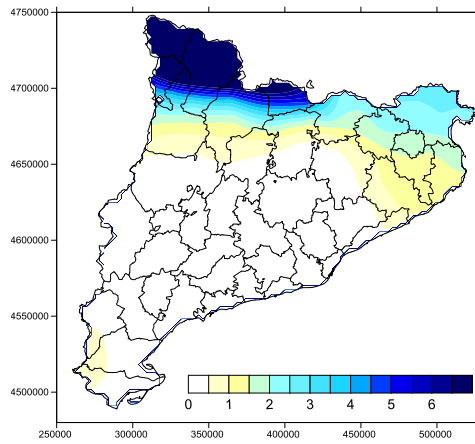


Figura 74: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus III

Els mapes sinòptics mostren una situació en la qual el solc en altura ja està sobre el Mediterrani i poc a poc va entrant la dorsal que inhibeix la convecció i fa que la precipitació tingui naturalesa principalment orogràfica i es restringeixi a les zones on arriba flux del Nord-Oest carregat d'humitat, és a dir, la cara Nord del Pirineu. Aquesta situació és típica dels mesos més freds de l'any.

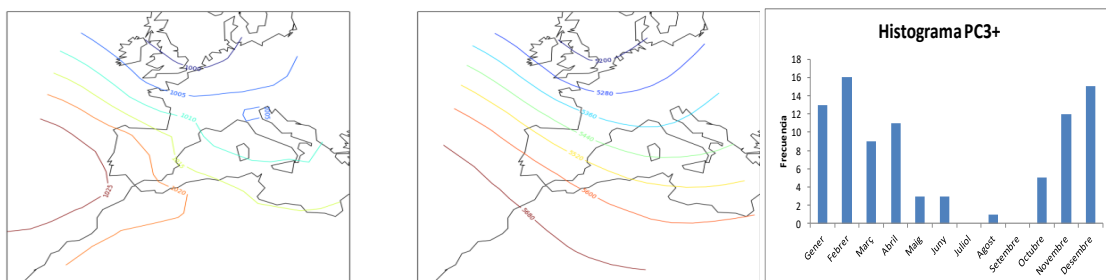


Figura 75: Pel tercer PC del Tipus III: ídem que en la figura 71.

- **Tipus IV**

Aquest tipus es correspondria amb Advecció del Nord de Martín-Vide. De manera semblant al Tipus III la major part de les precipitacions es donaran al Nord de Catalunya, sobretot en les zones de muntanya, especialment les que estan a la cara Nord del Pirineu i en les zones més propenses a precipitacions convectives (protegides del vent o zones de convergències).

Amb aquesta situació retenim 4 PC.

El primer PC representa el 19.9 % de la variabilitat i mostra un mapa de precipitació molt relacionat al patró típic de precipitació per aquest tipus de temps. La major part de precipitació per aquest tipus de temps es dóna a la cara Nord del Pirineu (Val d'Aran) o bé és d'origen convectiu i es dóna en les zones més propenses a produir-se convergències. És un tipus que es comporta de manera semblant al Tipus III, però amb certs canvis: les zona de convergència apareix més desplaçada cap al sud de la costa Central i ara la zona del Alt Empordà apareix ara com una amb poca precipitació degut a la presència de la Tramuntana.

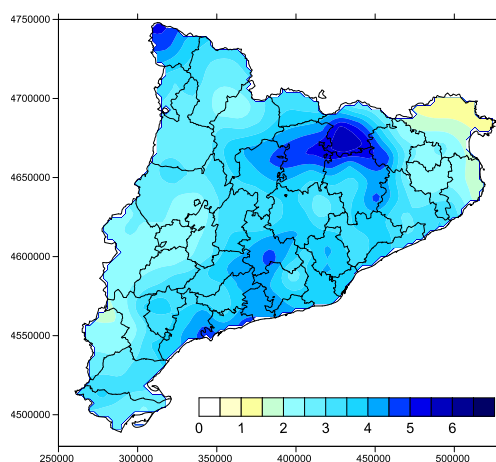


Figura 76: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus IV.

Els mapes associats amb aquest component mostren clarament una situació de Nord típica, amb la presència d'un solc el alçada (Figura 77). Pel que fa a la distribució al llarg de l'any, l'histograma mostra una preeminència en els mesos que van de l'abril al juliol (Figura 77).

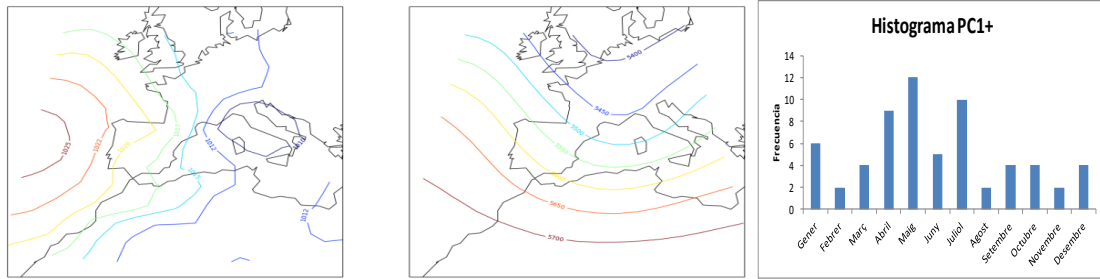


Figura 77: Pel primer PC del Tipus IV: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació

El segon PC representa el 18% de la variabilitat i el patró de precipitació associat es correspon amb precipitacions convectives sobretot al Nord-Est de Catalunya, que és la zona on apareix la màxima precipitació. A mesura que es va cap a l'Oest, la precipitació va decaient excepte a la zona del Pirineu i Val d'Aran on hi apareixen precipitacions tot i que amb menys quantitat. Apareix també una zona de convergència a cavall entre l'Alt Penedès i l'Anoia.

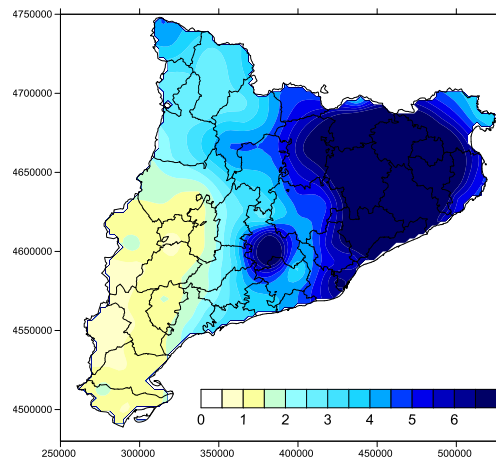


Figura 78: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus IV.

Malgrat que el mapa de pressió en superfície dominant en aquest PC dóna clarament vents del Nord, el mapa a 500 hPa ens mostra un solc en alçada just acabant de passar per sobre de Catalunya (Figura 79), la qual cosa és compatible amb la presència de precipitacions convectives a les zones que quedin més arrecerades del vent o en zones de convergència. El gruix d'aquest patró de precipitació es donaria els mesos que van del maig fins al juliol (Figura 79).

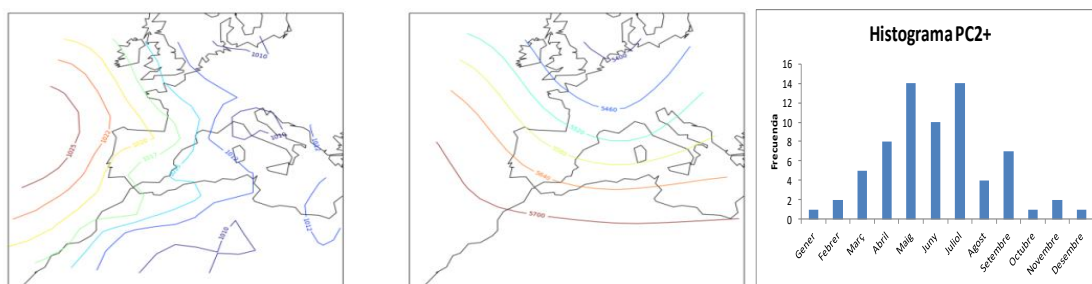


Figura 79: Pel segon PC del Tipus IV: ídem que a la figura 77.

Pel que fa al tercer PC, representa el 11.6% de la variabilitat i mostraria clarament el patró precipitació que es concentra bàsicament a la zona del Pirineu Occidental (cara Nord del Pirineu).

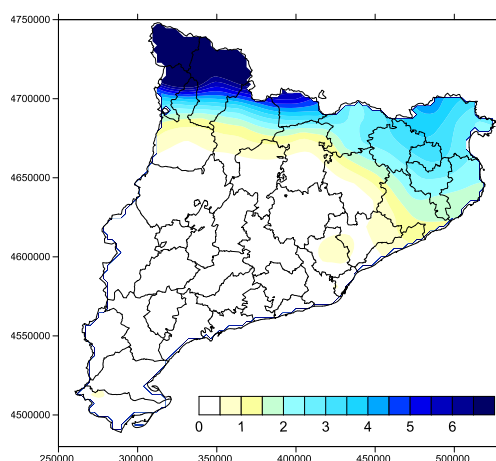


Figura 80: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus IV.

Els mapes són conseqüents amb aquesta patró de precipitació ja que en aquest cas el solc ja estaria sobre el Golf de Gènova (Figura 81) i l'únic que rebria Catalunya seria l'advecció del Nord que implicaria precipitacions orogràfiques a la cara Nord del Pirineu. Aquestes precipitacions es donen principalment entre l'octubre i l'abril (Figura 81) i representarà un patró hivernal complementari al patró estival amb més precipitacions a la zona del Nord-Est de Catalunya d'origen convectiu.

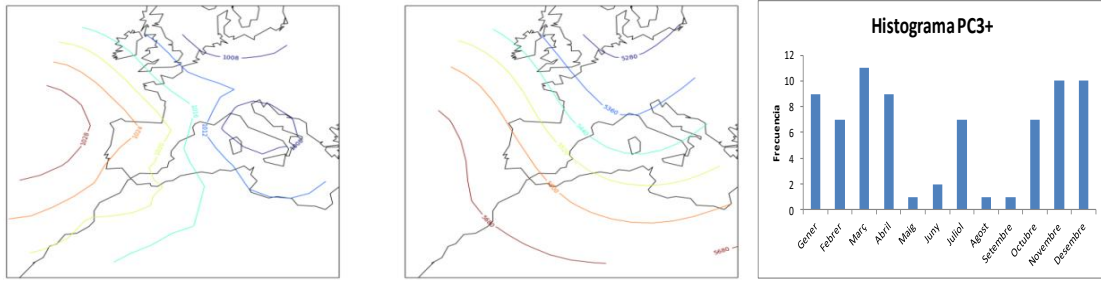


Figura 81: Pel tercer PC del Tipus IV: ídem que a la figura 77.

El quart PC representa l'11.1 % de variabilitat de la precipitació per aquest tipus sinòptic. Els scores positius es corresponen amb un patró de precipitació que mostraria les precipitacions convectives pirinenques que es donen en aquesta situació sinòptica sobretot durant els mesos càlids.

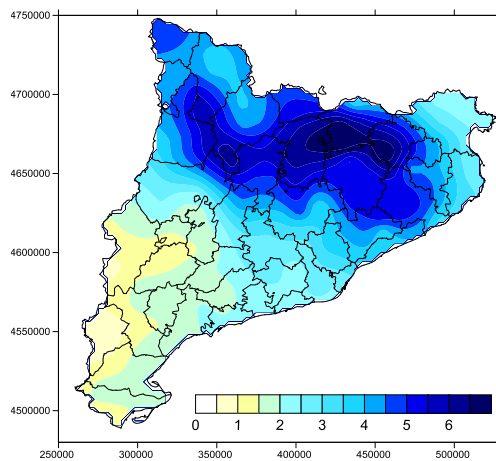


Figura 82: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del quart PC del Tipus IV.

Els mapes associats a aquesta precipitació mostren una entrada del Nord amb una situació ja postfrontal amb la presència d'aire fred en altura (Figura 83). Els histogrames confirmen que el gruix d'aquesta precipitació es produeix durant l'estiu (Figura 83).

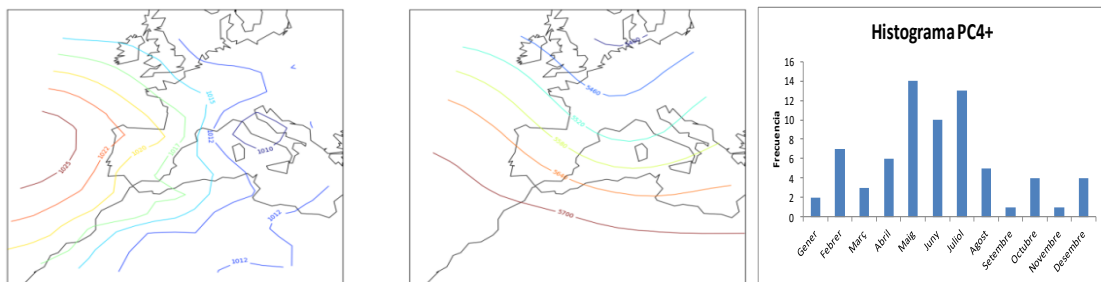


Figura 83: Pel quart PC del Tipus IV: ídem que a la figura 77.

- **Tipus V**

Aquest tipus es correspondria amb Advecció del Nord-Est de Martín-Vide. Amb aquesta situació es dona poca precipitació en general, tot i que en alguns casos té un comportament semblant a una situació de Nord. La precipitació que es dóna per aquest tipus solen ser sobretot estivals i de tipus convectiu.

Amb aquesta situació retenim 4 PC.

El primer PC representa 21.9 % de la variabilitat. El patró de precipitació associat que amb aquest component seria el més típic per aquest tipus de temps, que donaria precipitacions al Pirineu i Prepirineu més occidentals i al Litoral (sobretot Central i Sud).

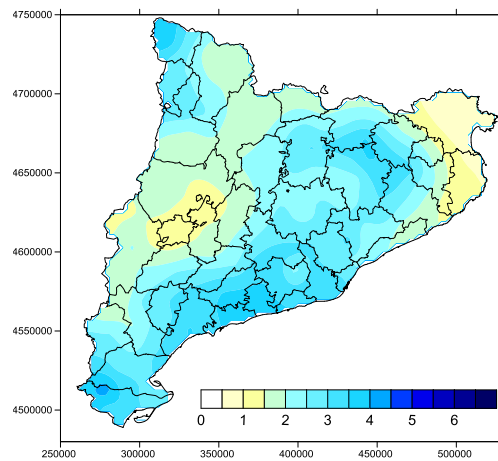


Figura 84: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus V.

Els mapes de pressió en superfície mostren clarament una situació de NE associada amb el pas d'un solc en altura (Figura 85). L'histograma ens mostra com malgrat que apareix la precipitació repartida durant tot l'any, els mesos estivals són els més propensos.

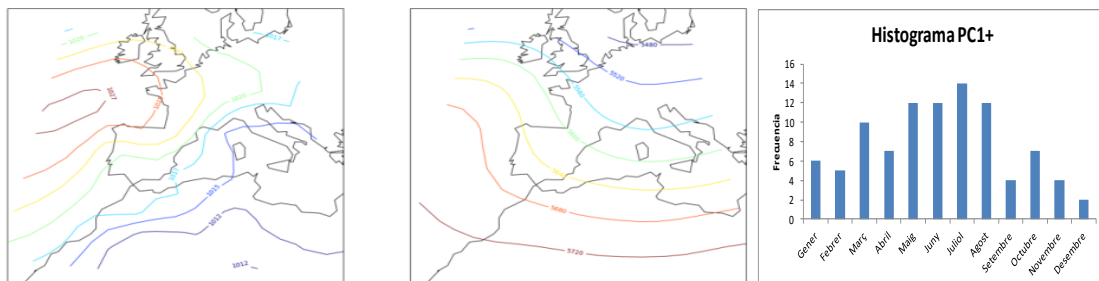


Figura 85: Pel primer PC del Tipus V: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació

El segon PC explica un 18.9% de la variància del problema. El patró de precipitació donaria pluges principalment al Litoral Nord i Central d'origen convectiu, quedant al marge el Litoral Sud i l'extrem Nord del Litoral Nord, on el vent hi impediria el desenvolupament de núvols convectius.

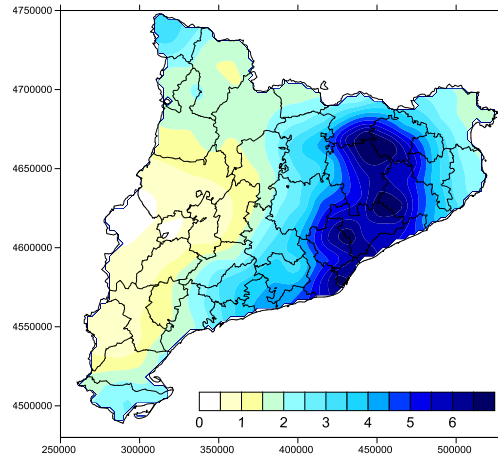


Figura 86: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus V.

Els mapes mostren una situació de Nord-Est en superfície amb un solc marcat en alçada (Figura 87) el qual implicaria les precipitacions del NE de Catalunya. El màxim d'aquest patró es produiria en el mes d'agost i seria bàsicament de l'època càlida (Figura 87).

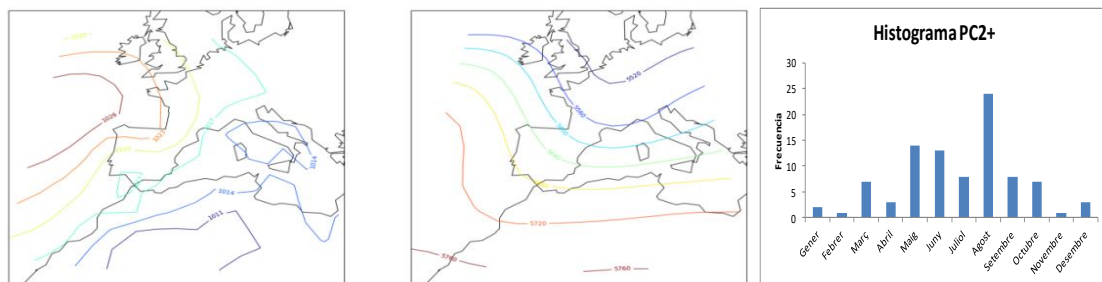


Figura 87: Pel segon PC del Tipus V: ídem que a la figura 85.

Amb una explicació del 13.7%, el tercer PC es correspon a un patró de precipitació que sobretot es donen en zones del Pirineu propenses a la convecció. Aquest fet es veu notòriament quan dibuixem les precipitacions que es corresponen als scores positius:

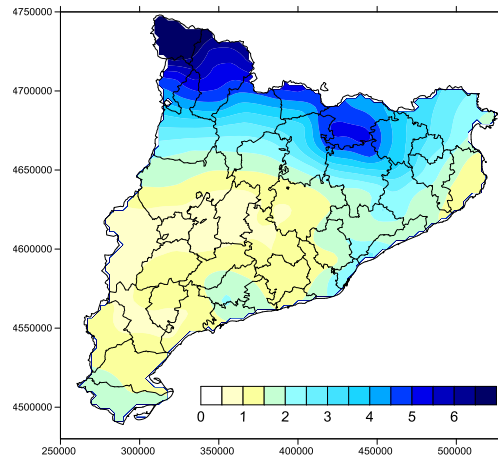


Figura 88: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus V.

Aquesta precipitació es donarien per la presència d'un solc en alçada sobre el Mediterrani (Figura 89). Cal notar que en aquest cas, el solc apareix més desplaçat cap a la dreta que en el segon PC, la qual cosa implica tenir una menor inestabilitat. Això explicaria el fet que ara la precipitació es restringeixin sobretot a les muntanyes més altes del Pirineu, ja que aquestes afavoreixen la precipitació convectiva. Pel que fa a l'època de l'any en que es produeixen aquestes precipitacions seria durant els mesos estivals (Figura 89).

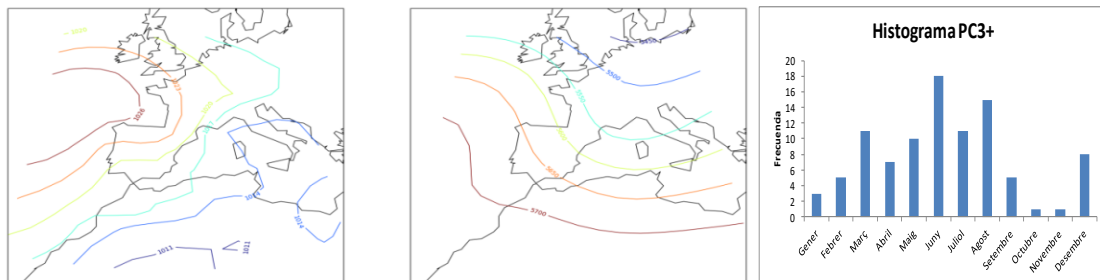


Figura 89: Pel tercer PC del Tipus V: ídem que a la figura 85

El quart i últim PC representa al voltant del 10.4% de variabilitat i estaria relacionada amb el patró de precipitació convectiva que a l'estiu afecta tota la zona del Prepirineu.

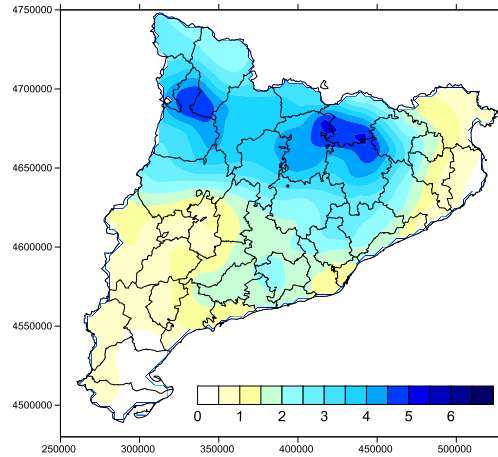


Figura 90: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del quart PC del Tipus V

Els mapes sinòtics ens donen el pas d'un solc dèbil sobre Catalunya i els valors de l'histograma demostren la naturalesa estival d'aquestes precipitacions (Figura 91).

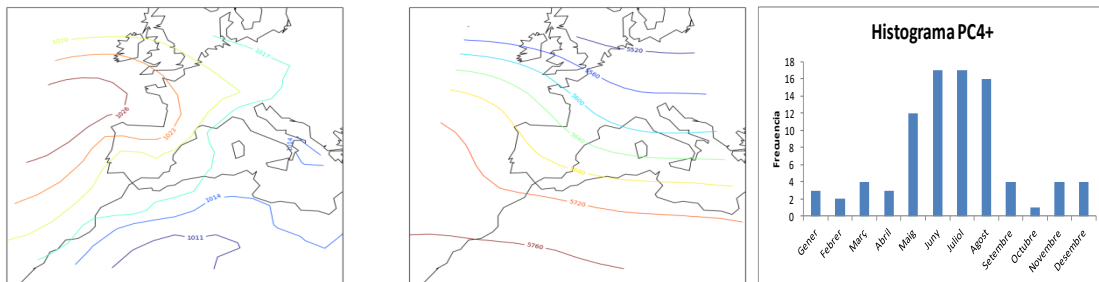


Figura 91: Pel quart PC del Tipus V: ídem que a la figura 85

- **Tipus VI**

Aquest tipus es correspondria amb Advecció de l'Est de Martín-Vide. Aquesta situació, malgrat anar associada a vent humit de la Mediterrània, en general dóna pocs dies de precipitació i està molt lligada a l'orografia, la qual actua sovint com a disparador de la precipitació. La major part de precipitació se l'enduria la costa, degut a la presència de les muntanyes Litorals i Prelitorals. El Pirineu oriental també rebria precipitacions però l'occidental en quedaria més al marge. Només la zona de la Vall Fosca tindria precipitacions més destacables. La Depressió Central seria la zona amb menys precipitació.

Amb aquesta situació retenim 4 PC.

El primer PC representa el 21.9% de la variància. Per aquesta component la precipitació associada respon al patró típic de precipitació esperable per aquest tipus sinòptic. Amb precipitacions produïdes per la combinació entre vents humits i orografia.

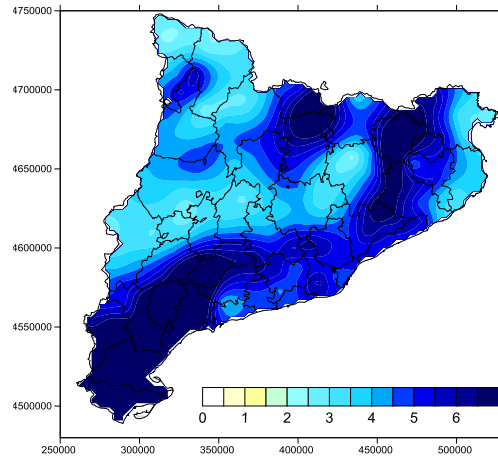


Figura 92: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus VI.

Els mapes de superfície per aquest cas, ens mostren un flux de vent de l'Est intens sobre Catalunya i una situació poc definida en altura: entre un solc situat a l'Oest de Península Ibèrica i una dèbil dorsal sobre Catalunya (Figura 93). Es pot pensar en un cas amb inestabilitat dèbil en altura que es veuria reforçada en les zones de muntanya. Aquest tipus de temps sol donar-se sobretot al final de la tardor i principi de l'hivern.

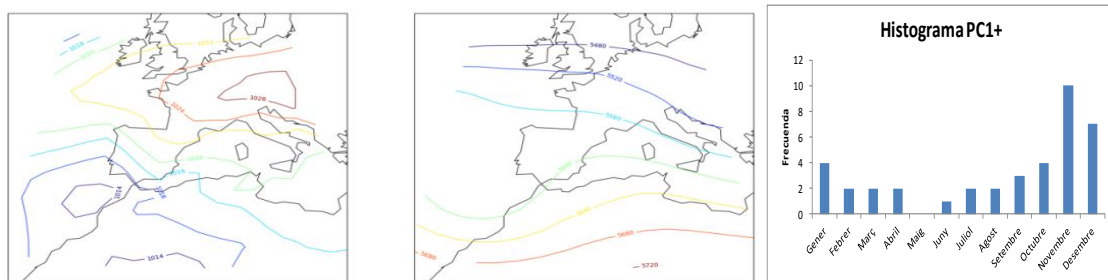


Figura 93: Pel primer PC del Tipus VI: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació

El segon PC representa el 18.9% de variabilitat i representa el patró de precipitació que dona precipitacions a la costa i meitat Est de Catalunya, deixant al marge l'interior:

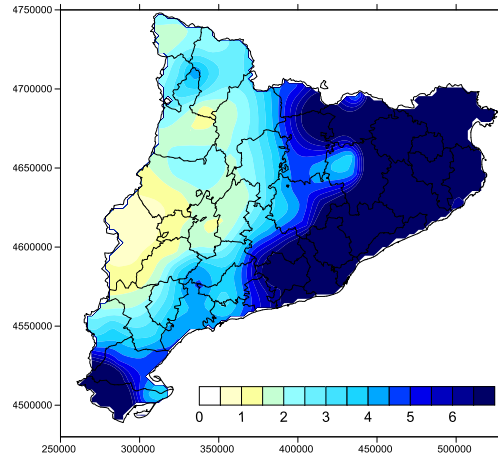


Figura 94: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus VI.

Els mapes mostren un flux incident sobre la costa i una situació poc definida en altura com en el primer PC, amb la presència d'una minidorsal sobre Catalunya, amb la qual cosa estariem parlant d'una situació poc inestable. En aquest cas, la precipitació aniria lligada molt a l'orografia i degut a la seva proximitat al Pirineu, la meitat Est de Catalunya seria la més plujosa, com també passaria a l'extrem Sud de Catalunya que la presència dels Ports de Besseit afavorirà la precipitació. La zona del Litoral Sud en quedaria més al marge per no haver-hi una orografia propensa a l'acumulació de núvols sinó que més aviat propensa a acanalar el vent que des del mar es dirigeix cap a la vall de l'Ebre (Figura 95), l'excepció estaria però en la zona de les Muntanyes de Prades, que és una zona molt propensa a la precipitació d'origen convectiu. Aquesta precipitació es donaria sobretot fora dels mesos estivals.

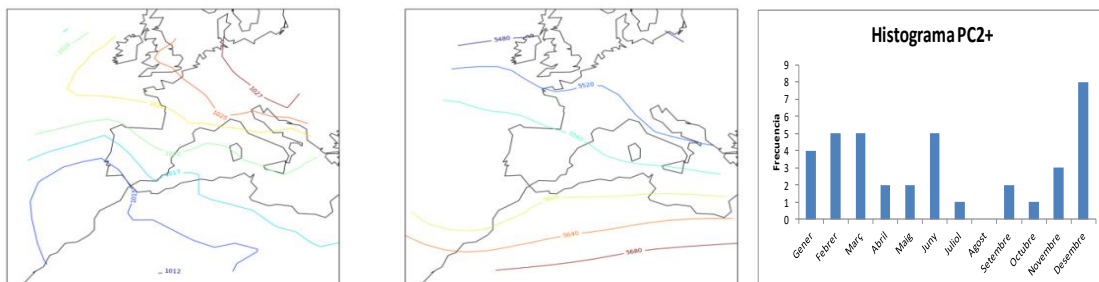


Figura 95: Pel segon PC del Tipus VI: ídem que a la figura 93

El tercer PC representa el 13.7% de la variabilitat. En aquest cas el patró de precipitació sí que aniria lligat a l'orografia:

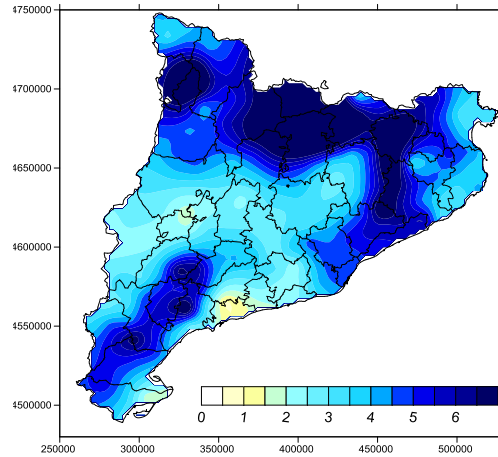


Figura 96: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus VI

La situació sinòptica és molt semblant a la del segon PC però en aquest cas no apareix una minidorsal sobre Catalunya sinò que més aviat el que tindria seria una zona inestable sobre la Península Ibèrica (Figura 97). Pel que fa a les precipitacions, a diferència del segon PC, l'època en què es donarien seria sobretot en els mesos estivals (Figura 97). Tot plegat fa pensar amb que la precipitació associada a aquest component, serà més de caire convectiu que l'anterior i circumscrita a les zones de muntanya.

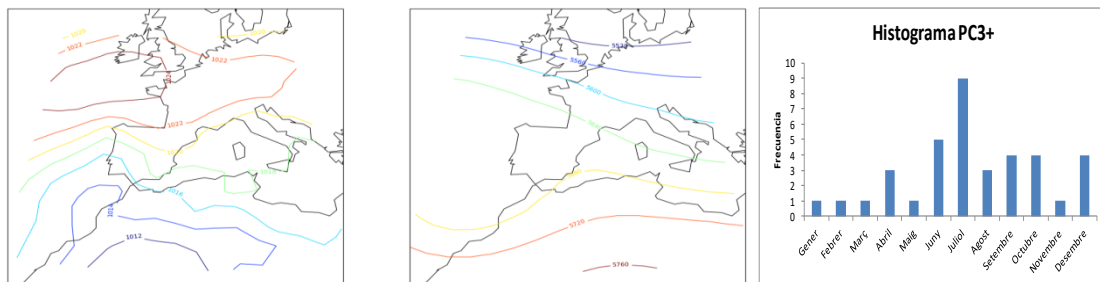


Figura 97: Pel tercer PC del Tipus VI: ídem que a la figura 93

Finalment, el quart PC representa el 10.4% de variabilitat. Els scores positius representarien un patró intermig entre el tercer i segon PC, apareixent una combinació entre precipitació d'origen convectiu i d'origen estratiforme generada per núvols de retenció. Aquesta precipitació seria de màxima eficiència ja que combinaria els dos mecanismes. Amb aquesta situació es veu clarament com el Sud del Litoral Central i el Nord del Litoral Sud serien les que rebrien menys precipitació.

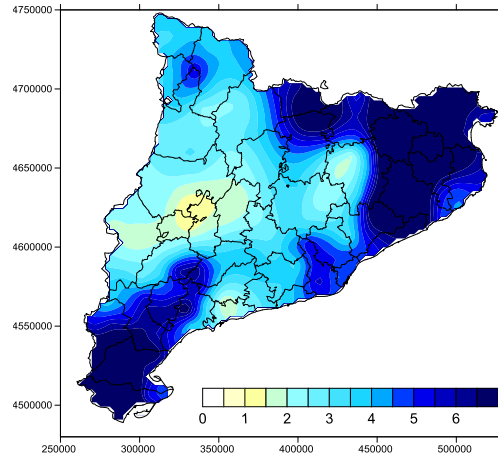


Figura 98: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del quart PC del Tipus VI.

Els mapes sinòptics ens mostren una situació molt semblant a la del tercer PC però ara els períodes de màxima ocurrència es donarien durant els mesos de primavera i tardor (Figura 99).

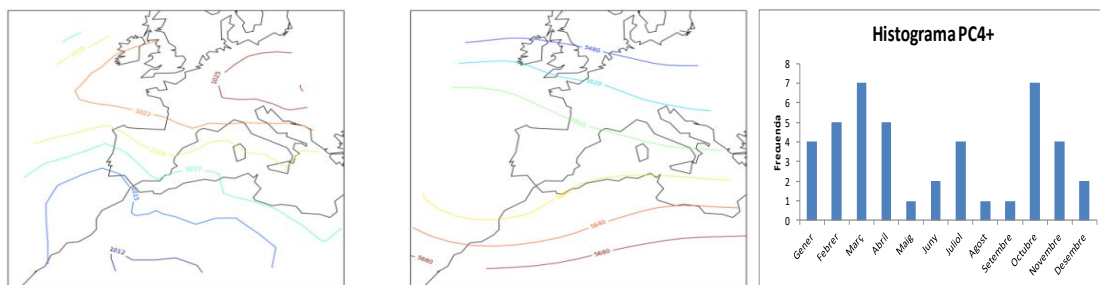


Figura 99: Pel quart PC del Tipus VI: ídem que a la figura 93

- **Tipus VII**

Aquest tipus es correspondria amb Advecció de l'Est amb Gota Freda de Martín-Vide. Amb aquesta situació la precipitació és molt més abundants que en el Tipus VI però afecta a la mateixa zona: bàsicament la zona de la costa i amb menys importància l'interior. El Litoral Nord i el Litoral Sud són els llocs on es dona més precipitació i el Litoral Central en quedaria més al marge.

Amb aquesta situació retenim 3 PC.

El primer PC representa el 26.1% de la variabilitat i els scores positius representen el patró de precipitació que afecta al Litoral Sud i en menor mesura a la zona de les Guilleries i Collsacabra (Figura 100).

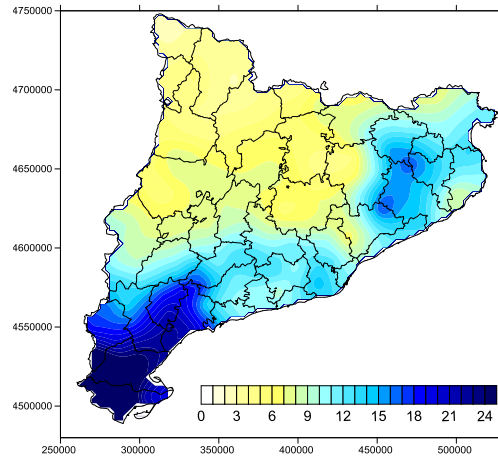


Figura 100: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus VII.

La situació ens mostra clarament una advecció de l'Est amb una baixa tancada en altura situada al Sud-Oest de la Península Ibèrica, la qual cosa és coherent amb les precipitacions associades a aquest component. Aquestes precipitacions tindrien lloc sobretot a l'hivern (Figura 101).

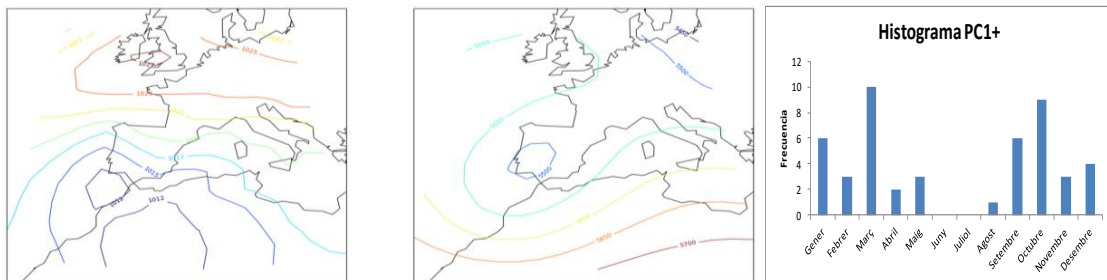


Figura 101: Pel primer PC del Tipus VII: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació.

El segon PC representa el 23.6 % de la variància. El patró de precipitació les concentra sobretot al quadrant Nord-Est i també als Ports de Besseit.

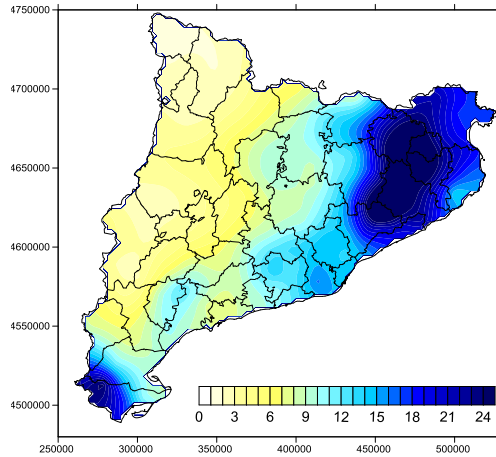


Figura 102: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus VII

La situació sinòptica d'aquest cas (Figura 103), és molt semblant al del primer PC (Figura 101) i a més els períodes d'ocurrència serien semblants, la qual cosa fa complex deduir el perquè d'aquests dos patrons tan ben diferenciats. La hipòtesi més plausible és que es tracti del mateix sistema que es desplaça afectant en primer lloc la zona situada més al Sud i després la situada més al Nord, segons la posició de la baixa en altura.

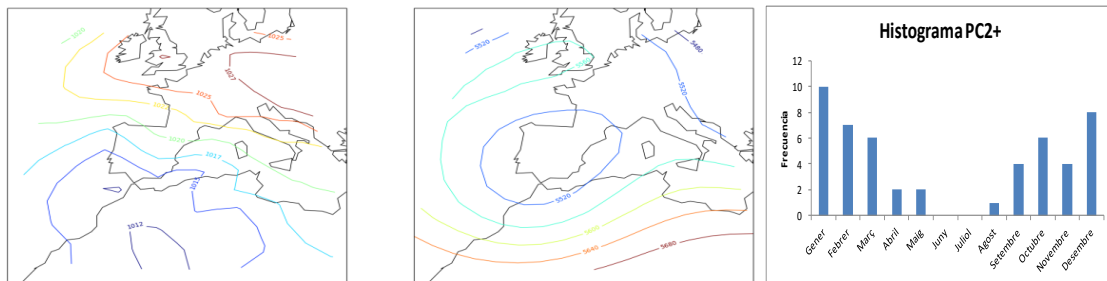


Figura 103: Pel segon PC del Tipus VII: ídem que a la figura 101

Pel que fa al tercer PC, amb el 21.4% de la variabilitat representaria el patró de precipitació que donaria precipitacions sobretot al Pirineu Oriental, com es veu en el mapa de precipitació associat als scores positius. Per la seva distribució espacial, aquestes precipitacions tenen naturalesa convectiva.

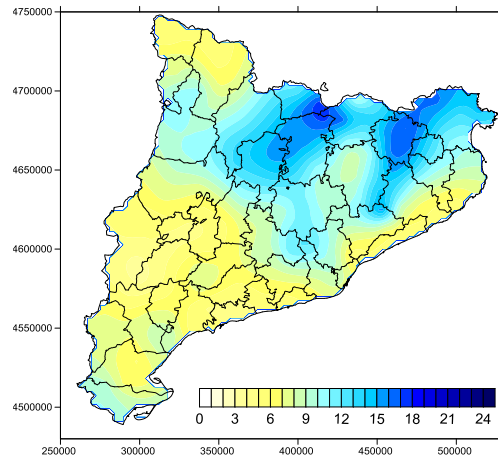


Figura 104: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus VII.

Els mapes sinòptics per aquest cas, són semblants als que han donat els altres components. Ara però, la major ocurrència de la precipitació es situaria en els mesos de primavera, a finals d'estiu i principis de tardor (Figura 105).

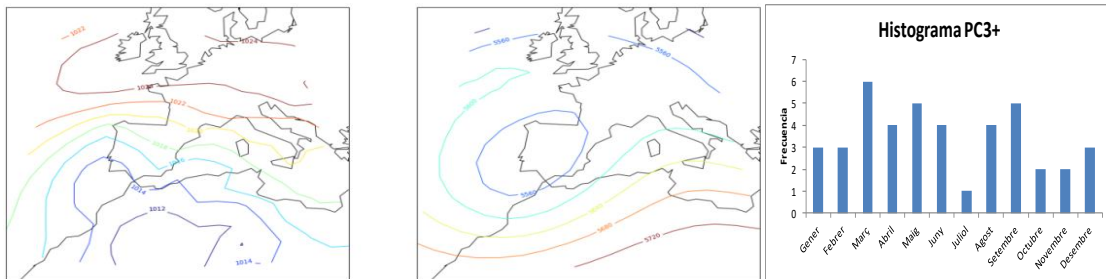


Figura 105: Pel tercer PC del Tipus VII: ídem que a la figura 101.

- **Tipus VIII**

Aquest tipus es correspondria amb Advecció del Sud de Martín-Vide. Amb aquest tipus de situacions, les precipitacions se situarien sobretot al Pirineu Oriental i a la zona dels Ports de Besseit i en menor mesura al Pirineu Occidental.

Amb aquesta situació retenim 4 PC.

El primer PC representa el 24.2% de la variabilitat i els scores positius mostren un patró de precipitació típic, que bàsicament afectaria el Nord-Est de Catalunya i sobretot a les zones del Pirineu Oriental, però també afectaria a la zona dels Ports de Besseit.

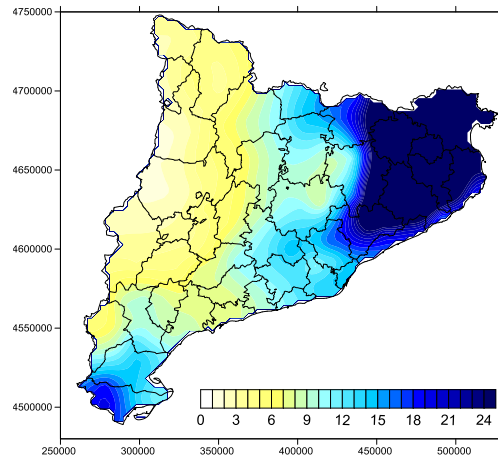


Figura 106: Composite de la precipitació associada als scores del primer PC del Tipus VIII.

La situació sinòptica corresponent ens mostra un flux del Sud tirant cap a Sud-Est de Catalunya amb un solc en alçada entrant per l'Oest de la Península Ibèrica. Catalunya estaria situada entre aquest solc i la dorsal situada sobre el mar Mediterrani. Aquest patró sol donar-se els mesos d'hivern (Figura 107).

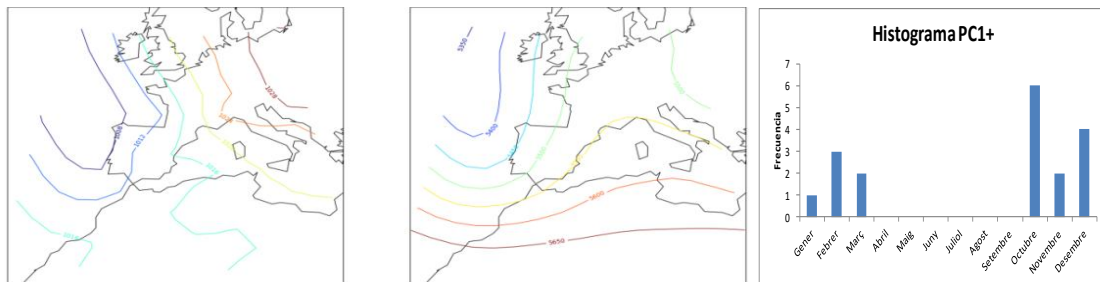


Figura 107: Pel primer PC del Tipus VIII: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació.

El segon PC representa el 21.3 % de variabilitat es correspon amb el patró de precipitació que es dona al Pirineu Occidental. Seria el patró més esperable de precipitacions amb advecció del Sud.

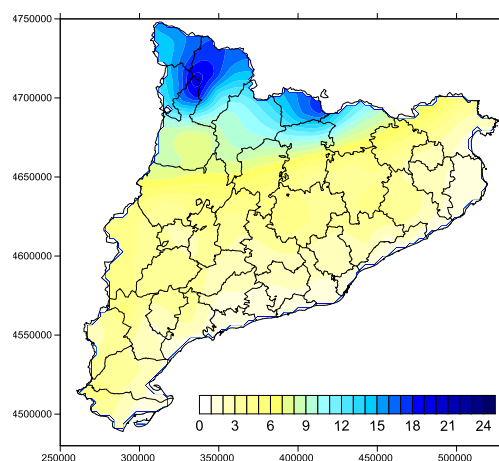


Figura 108: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus VIII.

Pel que fa a la situació sinòptica associada a aquest tipus de temps, el mapa de pressió en superfície ens indica un flux de component Sud més pur que en el cas anterior. Aquesta incidència del flux de vent del Sud, perpendicular al Pirineu afavoreix les precipitacions a la seva vessant Sud. Per altra banda, el mapa de 500 hPa mostra un solc tocant a Catalunya (Figura 109) que justificaria la presència de precipitacions a la meitat Occidental de la serralada. Les precipitacions per aquest tipus es concentrarien durant els mesos d'hivern i primavera (Figura 109).

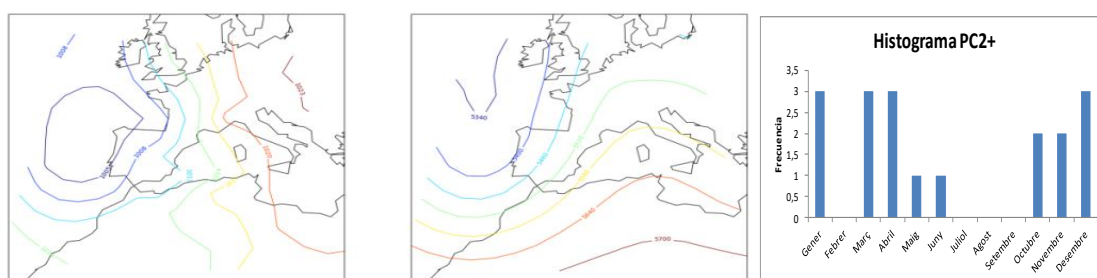


Figura 109: Pel segon PC del Tipus VIII: ídem que en figura 107.

El tercer PC representa el 17.2% de la variabilitat i es correspon amb un patró de precipitació local, molt probablement d'origen convectiu. Els scores positius mostren un patró de precipitació amb un màxim en el centre del Prepirineu, però amb precipitació més escassa.

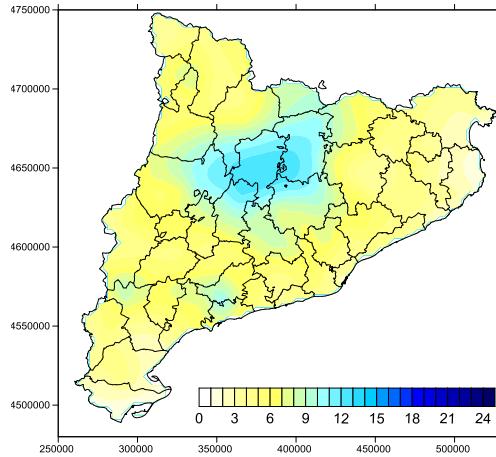


Figura 110: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus VIII.

La situació sinòptica que es correspon amb aquest patró es caracteritza per la presència d'un flux de Sud acompanyat d'un solc en alçada arribant per l'Oest de la Península Ibèrica. Aquest patró sol donar-se sobretot a la primavera i a la tardor.

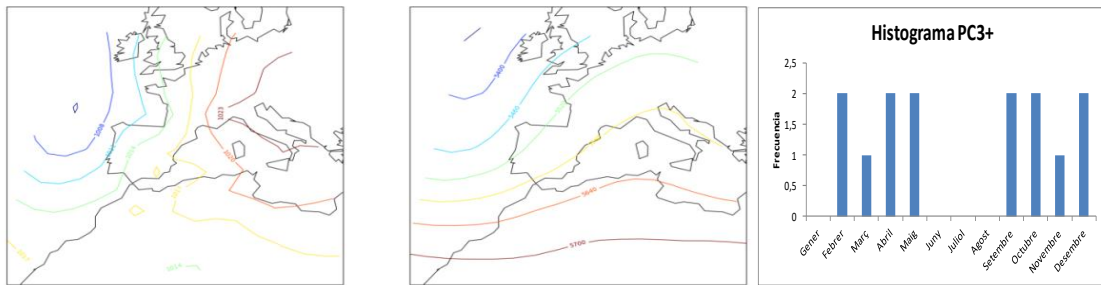


Figura 111: Pel tercer PC del Tipus VIII: ídem que en figura 107.

Pel que fa al quart PC, aquest representa el 16% de la variabilitat de la precipitació per aquest tipus de temps. La precipitació associada als scores ens dona precipitació concentrada sobretot al sud de Catalunya i a Ponent tot i que en menor mesura, també apareixen precipitacions al nord de l'Alt Empordà.

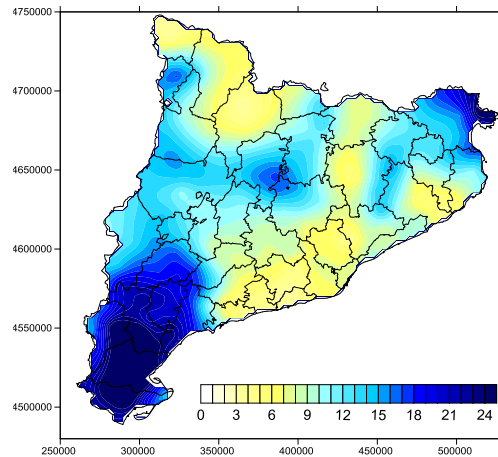


Figura 112: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del quart PC del Tipus VIII.

Els mapes sinòptics associats a aquest patró ens donen una situació molt semblant a la que s'apreciava en els del primer PC, en la qual el flux de superfície era de Sud, virant cap a Sud-Est (Figura 113). La diferència radica en que ara, tenim el solc en alçada prop de Catalunya i això provoca la presència de precipitacions sobretot a l'oest i al sud del país. Aquesta precipitació sol concentrar-se durant el mes d'octubre (Figura 113).

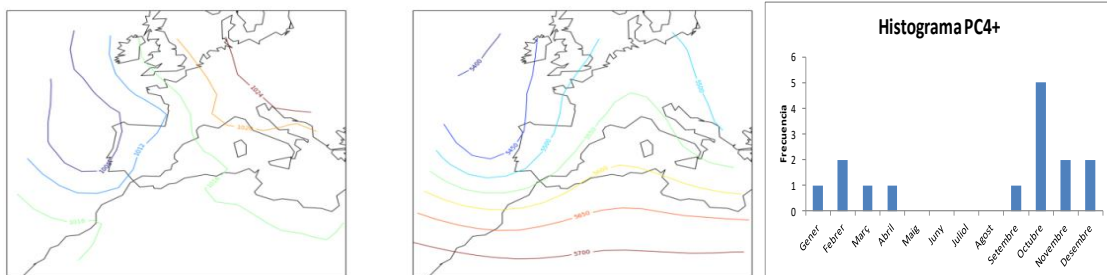


Figura 113: Pel quart PC del Tipus VIII: ídem que en figura 107.

- **Tipus IX**

Aquest tipus es correspondria amb Advecció del Sud-Oest de Martín-Vide. En aquesta situació la precipitació també es concentrarien a les zones de muntanya de manera semblant amb el tipus anterior. Però ara la precipitació més important es concentraria al Pirineu Occidental, les altres precipitacions es reparteixen per tot el territori. Apareixerien més precipitacions de caràcter convectiu.

Amb aquesta situació retenim 3 PC, anem a estudiar-los amb detall per entendre la variabilitat espacial de la precipitació per aquest tipus de temps.

El primer PC representa el 24.7% de la variabilitat. Els scores positius per aquest tipus de temps donen la major part de precipitacions a l'Oest de Catalunya, sobretot al Sud i de caràcter més aviat dèbil (Figura 114).

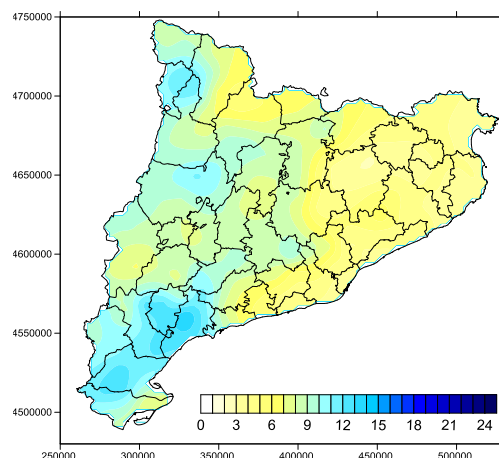


Figura 114: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus IX.

Els mapes que es corresponen amb aquest tipus, impliquen una clara advecció del Sud-Oest a la zona de Catalunya tant en superfície com a nivells mitjans (500 hPa) amb un solc profund situat davant les costes de Portugal (Figura 115). Aquestes precipitacions són més freqüents durant els mesos hivernals, presentant un mínim durant l'estiu però amb un màxim secundari al mes de maig (Figura 115).

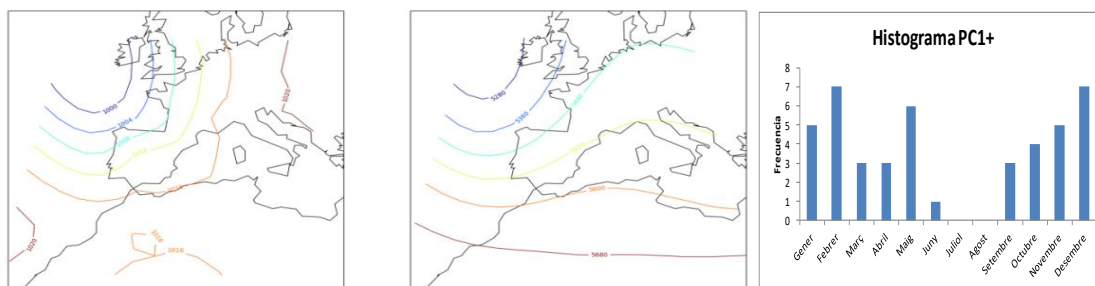


Figura 115: Pel primer PC del Tipus IX: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació.

El segon PC, que representa el 24% de la variabilitat, ens mostra un patró de precipitació que es correspon amb el cas en què aquestes incideixen sobretot al Pirineu Occidental.

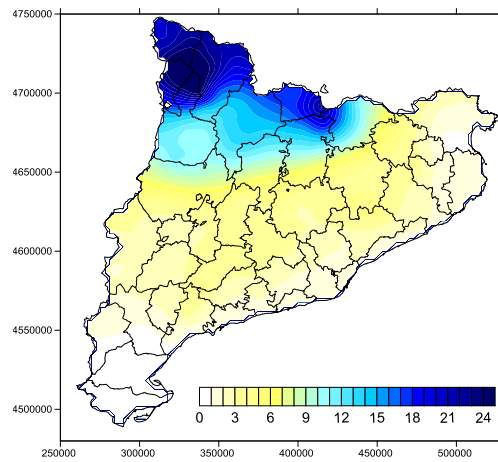


Figura 116: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus IX.

En aquest cas el mapa de pressió en superfície mostra un flux del Sud-Oest molt més marcat que en el component anterior, que se suposa que afavoriria les precipitacions orogràfiques al Pirineu. A l'Oest de la Península Ibèrica hi hauria un solc en alçada que inestabilitzaria el temps (Figura 117). És un tipus de temps que es donaria sobretot en l'època freda de l'any (Figura 117).

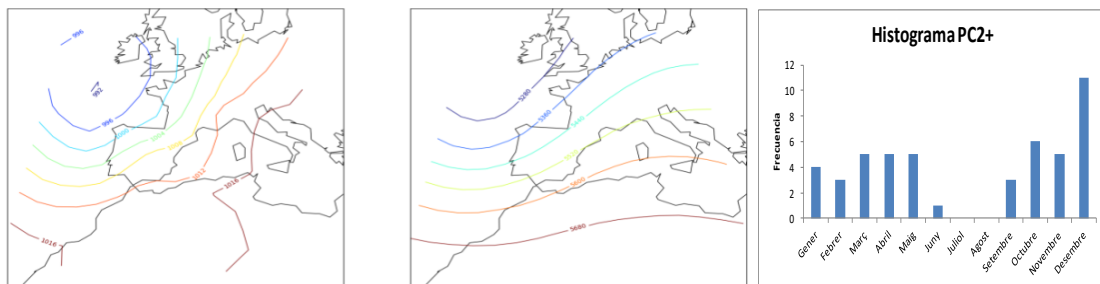


Figura 117: Pel segon PC del Tipus IX: ídem que a la figura 115.

El tercer PC representa el 23.8%, i els scores positius estan relacionats amb el patró en el qual es donarien precipitacions a la meitat oriental de Catalunya (Figura 118).

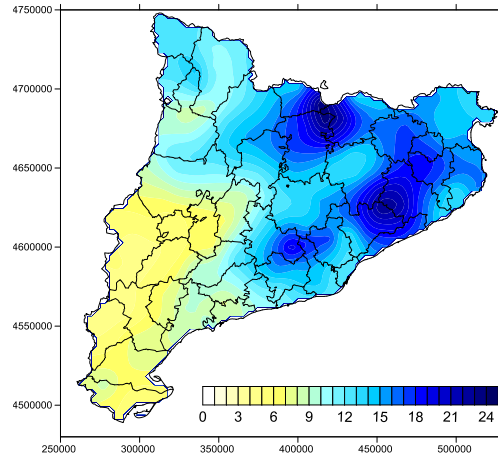


Figura 118: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus IX.

La situació sinòptica mostra un flux del Sud-Oest associat a una borrasca atlàntica amb la presència d'un solc marcat a l'Oest de la Península Ibèrica (Figura 119). El gruix de la precipitació es donaria entre els mesos d'octubre i febrer tenint el seu màxim el mes de novembre (Figura 119).

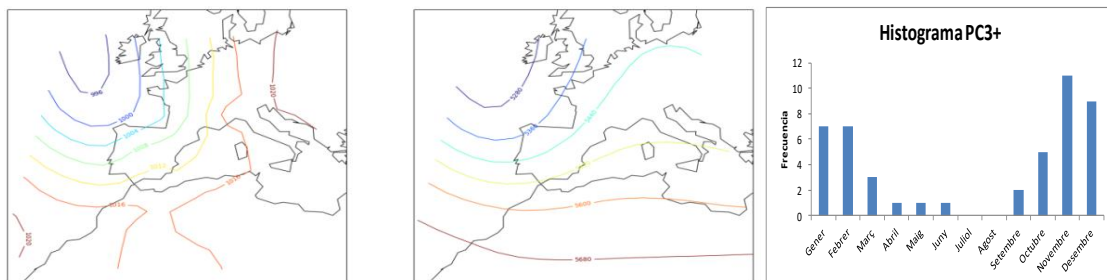


Figura 119: Pel tercer PC del Tipus IX: ídem que a la figura 115.

- **Tipus X**

Aquest tipus es correspondria amb el pas d'un Solc en la classificació de Martín-Vide. En aquesta situació sinòptica la precipitació es concentra sobretot al Pirineu i al zona a cavall entre el Pla de l'Estany, la Garrotxa i el Ripollès. Aquestes precipitacions solen ser de caràcter convectiu i es donen principalment als llocs més propensos a aquest tipus de precipitació.

Amb aquesta situació retenim 3 PC, anem a estudiar-les amb detall per entendre la variabilitat espacial de la precipitació per aquest tipus de temps.

El primer PC representa el 22.3% de la variabilitat i els scores estan relacionats amb el patró de precipitació que afecta la meitat Oest de Catalunya i sobretot al Sud i al Litoral.

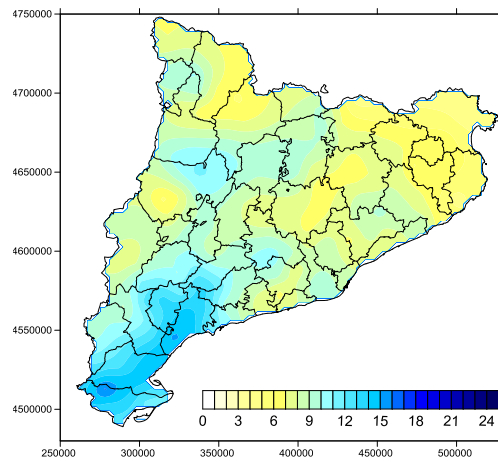


Figura 120: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus X.

Els mapes sinòptics mostren una situació indefinida en superfície i la presència d'un solc marcat en altura a l'Oest de la Península Ibèrica. Aquest partó de precipitació es donaria sobretot durant els mesos càlids de l'any amb dos màxims al Maig i al Setembre (Figura 121). Seria una situació en que la marineda del Sud de Catalunya es trobaria amb la presència d'un solc entrant per l'Oest de la Península Ibèrica donant lloc a precipitacions.

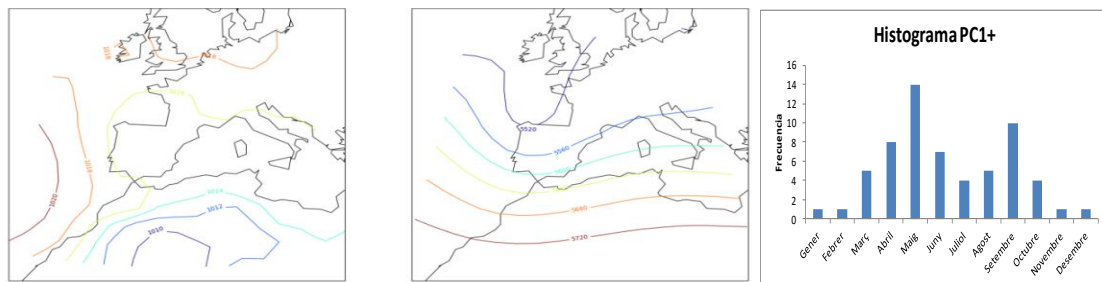


Figura 121: Pel primer PC del Tipus X: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació.

El segon PC explicaria el 18.3% de variabilitat i els scores positius mostren la precipitació que es forma, normalment de naturalesa convectiva, al Pirineu durant els mesos d'estiu.

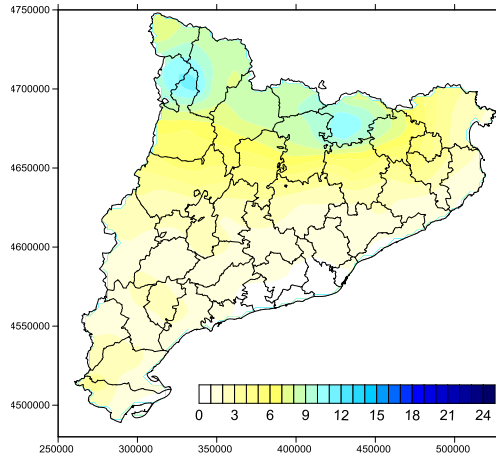


Figura 122: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus X.

La configuració sinòptica mostra el solc (més dèbil) sobre la Península Ibèrica amb una situació poc definida en superfície, situació amb la qual es dona gran part de l'activitat convectiva estival. (Figura 123)

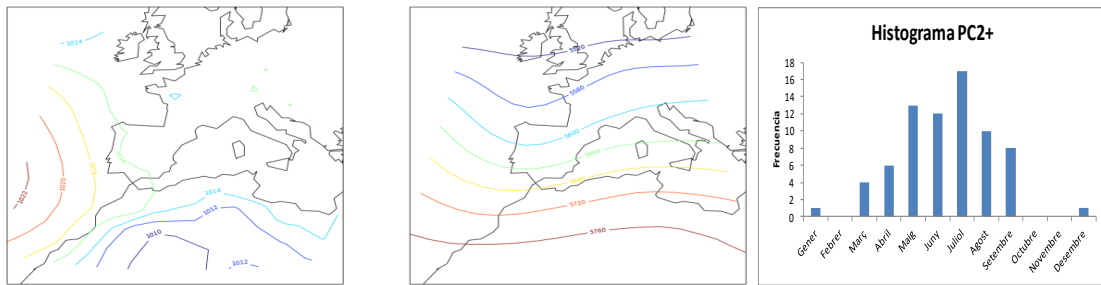


Figura 123: Pel segon PC del Tipus X: ídem que a la figura 121.

Per últim, explicant el 16.4% de la variància, es troba el tercer PC, els scores positius de la qual explicarien la precipitació que es dona sobretot a la zona del Nord-Est de Catalunya, més concretament a la zona de les Guilleries i Collsacabra:

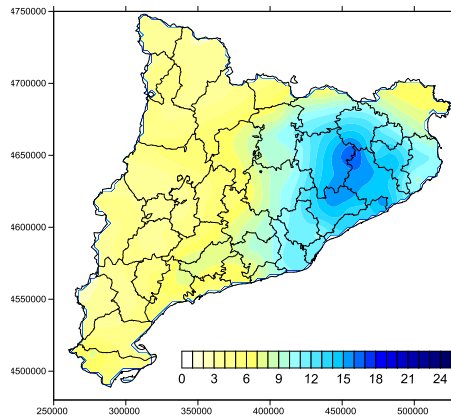


Figura 124: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus X.

En la situació sinòptica apareix un solc ben marcat en altura més desplaçat cap a l'Est respecte el component anterior, amb una situació poc definida en superfície. Aquesta es donaria sobretot entre Març i Setembre, de marcat caràcter convectiu.

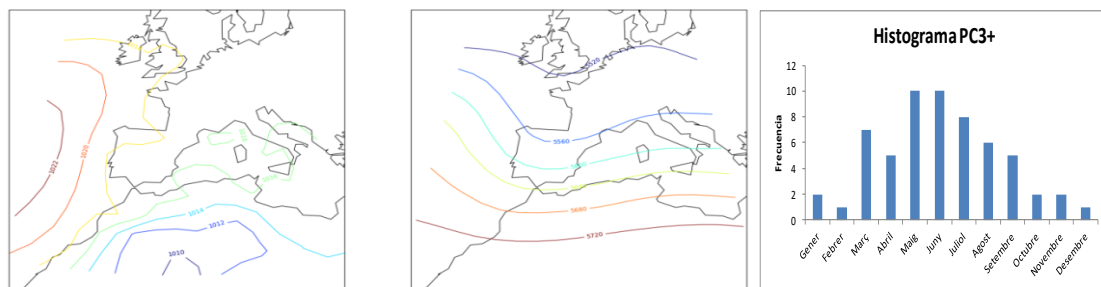


Figura 125: Pel tercer PC del Tipus X: ídem que a la figura 121.

En general, hi ha pocs dies i poca precipitació amb aquesta situació ja que força casos de solc en alçada queden com casos d'advecció de l'Oest.

- **Tipus XI**

Aquest tipus es correspon amb l'existència d'una Gota Freda al Sud-Oest de la Península Ibèrica de Martín-Vide. Amb aquest tipus de temps la major part de precipitació es dona al Pirineu, tant a l'oriental com a l'occidental, però també n'apareixen de repartides pel Litoral i el Prelitoral de Catalunya. En general, hi ha pocs casos de precipitació, la qual cosa dificulta l'obtenció de les EOF i la posterior interpretació.

Amb aquesta situació tenim 3 PC, que estudiarem amb detall.

El primer PC representa el 23.7% de la variabilitat i es relaciona amb la precipitació que es donaria a la meitat Sud de Catalunya, sobretot, concentrada a la zona del Litoral.

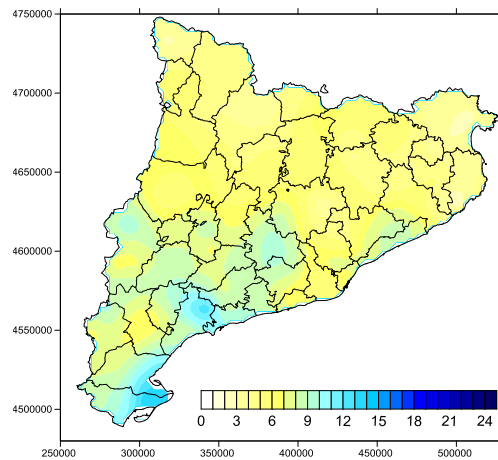


Figura 126: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus XI.

Els mapes de pressió en superfície i altura geopotencial a 500 hPa, mostren una baixa en superfície a l'Oest de la Península Ibèrica que va acompanyada d'un solc profund en altura. Situació més freqüent sobretot els mesos càlids de l'any amb un màxim al Maig i al Setembre, tot i que amb pocs casos (Figura 127). La precipitació seria de caràcter convectiu, combinació d'un flux marítim amb la presència d'un tàlveg en altura a l'Oest de la Península Ibèrica.

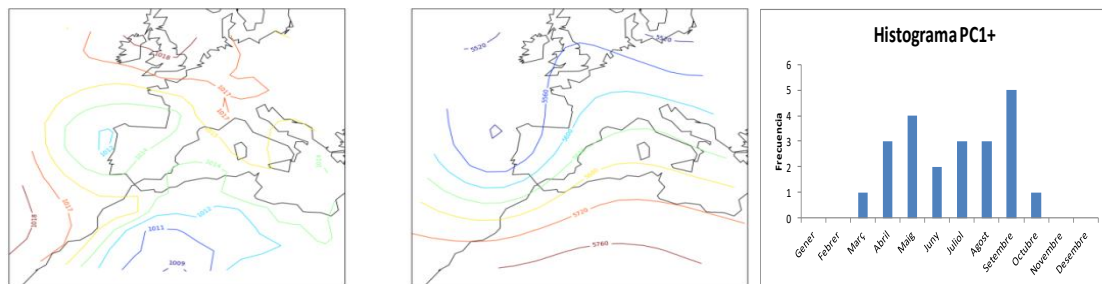


Figura 127: Pel primer PC del Tipus XI: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació.

El segon PC, que representa el 20.5% de la variabilitat, marca la precipitació que es dona al Litoral en general, però sobretot al Litoral Nord i al Nord-Est de Catalunya, amb un màxim de precipitació a cavall del Maresme i la Selva. La zona de ponent en queda al marge d'aquestes.

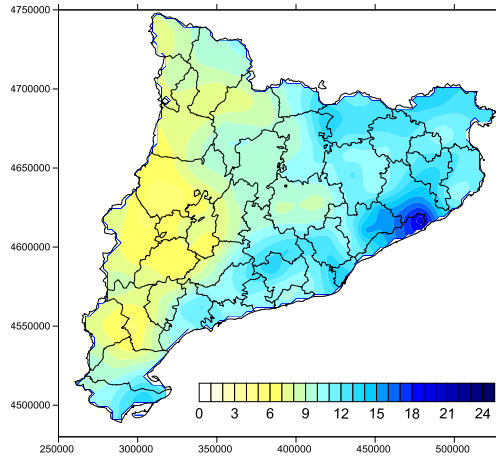


Figura 128: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus XI.

De manera semblant al cas anterior es tracta d'un cas en el qual hi ha una baixa a l'Oest de la Península Ibèrica acompanyada d'un solc profund en altura. Aquesta situació sol donar-se principalment també en els mesos càlids de l'any, essent Maig-Juny i Agost-Setembre els mesos amb més incidència de les precipitacions, tot i que apareixen molts pocs casos (Figura 129). Solen ser precipitacions de caire convectiu.

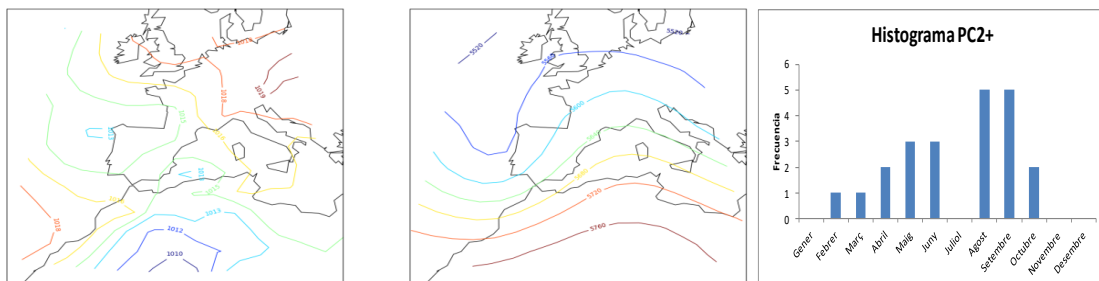


Figura 129: Pel segon PC del Tipus XI: ídem que a la figura 127.

El tercer PC, que representa el 16.1% de la variabilitat, marca el patró que correspon a les precipitacions que es donen al Pirineu Occidental (Figura 130).

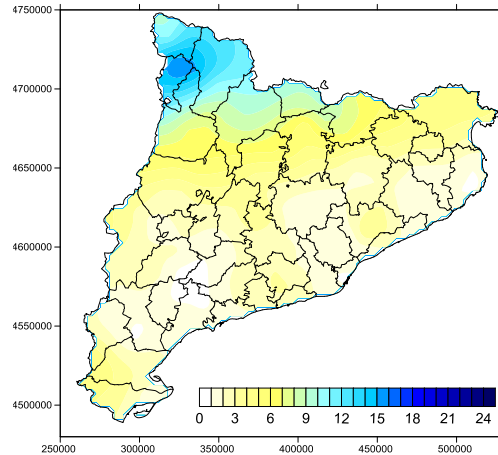


Figura 130: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus XI.

Aquesta precipitació va associada amb la presència d'una zona amb molt baix gradient bàric sobre la Península Ibèrica i un solc profund en altura situat a l'Oest de la Península Ibèrica, la qual cosa dona precipitacions en zones de muntanya principalment en forma de tempestes d'estiu. Al igual que en els altres components, hi ha molts pocs casos (Figura 131).

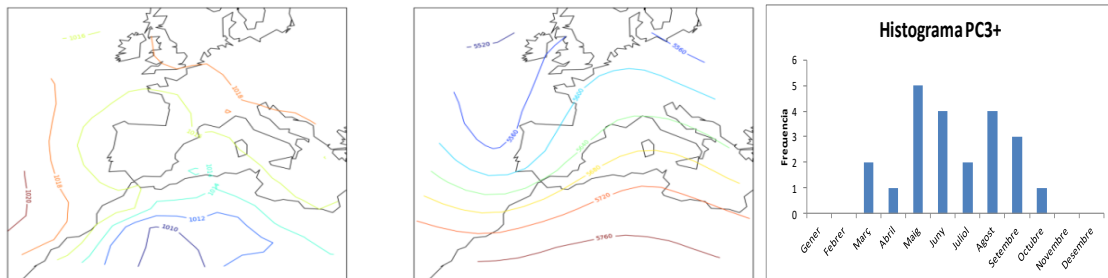


Figura 131: Pel tercer PC del Tipus XI: ídem que a la figura 127.

- **Tipus XII**

Aquest tipus es correspon amb l'existència d'una baixa (dinàmica) tancada de Martín-Vide. La major part d'aquests casos es corresponen amb: mesociclons mediterranis, baixes situades al Sud de França que passen fregant el Nord de Catalunya i baixes que es formen al golf de Lleó (lloc ciclogènètic per excel·lència). La precipitació per aquest tipus de temps sol donar-se a la zona del Litoral, però també al Pirineu. La zona que en queda més al marge és el Pla de Lleida.

Amb aquesta situació retenim 3 components.

El primer PC representa el 24.5% de la variabilitat i els scores positius ens expliquen el patró de precipitació que té sobretot incidència a la Litoral Sud del país (Figura 132).

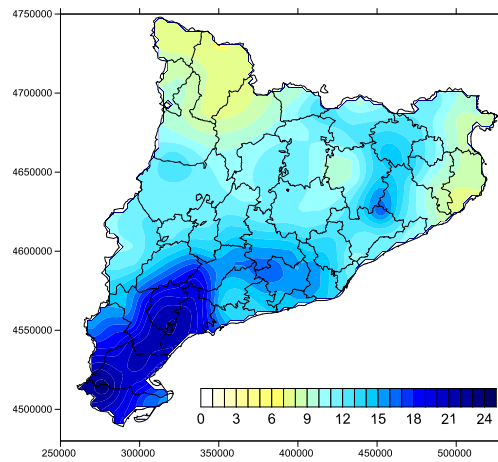


Figura 132: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus XII.

La situació sinòptica que correspon a aquest patró respon a una baixa sobre la Mediterrània Occidental en superfície i un solc en alçada molt profund que comprèn tota la Península Ibèrica. Una situació que tindria el seu màxim durant els mesos de primavera (Figura 133).

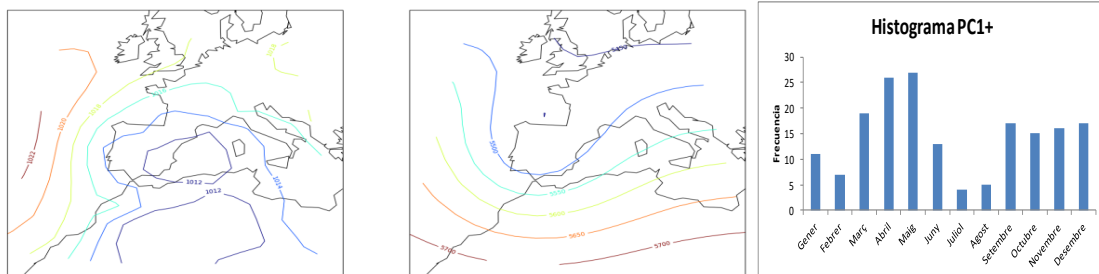


Figura 133: Pel primer PC del Tipus XII: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació.

El segon PC representa el 21.4% de la variància i el patró de precipitació associat es dona sobretot per la zona del Nord-Est de Catalunya (Figura 134).

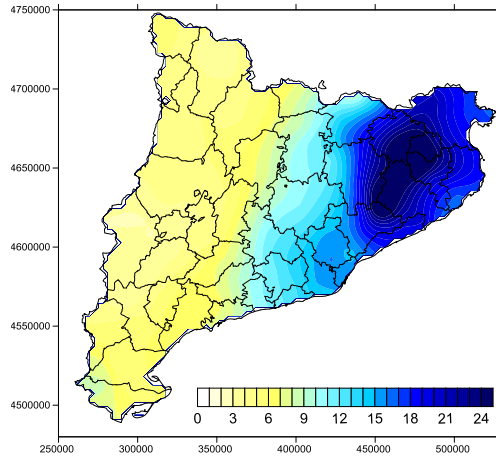


Figura 134: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus XII.

Per aquest component la situació en superfície marca una zona de baixes pressions a la mediterrània amb flux de llevant sobre la costa, sobretot a la Litoral Nord. Al Litoral Sud estaria més al marge d'aquesta situació ja que el flux li arribaria més del Nord i Nord-Est la qual cosa està en consonància amb la poca precipitació que s'hi dona. Al igual que en el primer component, la precipitació per aquest tipus de temps es dona sobretot a la primavera (Figura 135).

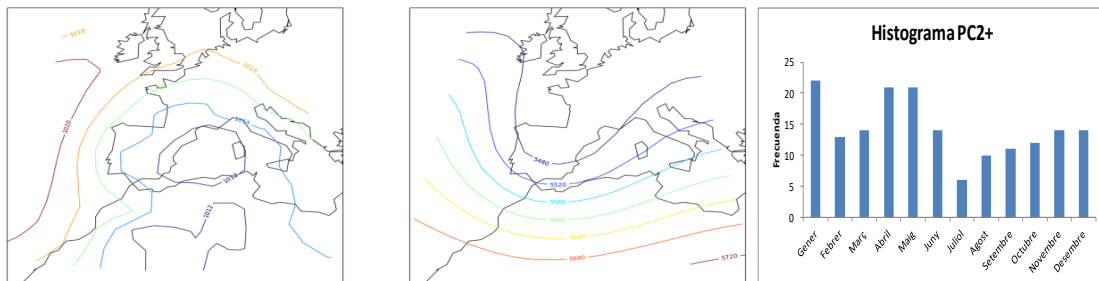


Figura 135: Pel segon PC del Tipus XII: ídem que a la figura 133.

El tercer PC representa el 17.9% de la variància i representa el patró de precipitació que afecta sobretot al Pirineu més Occidental (Figura 136).

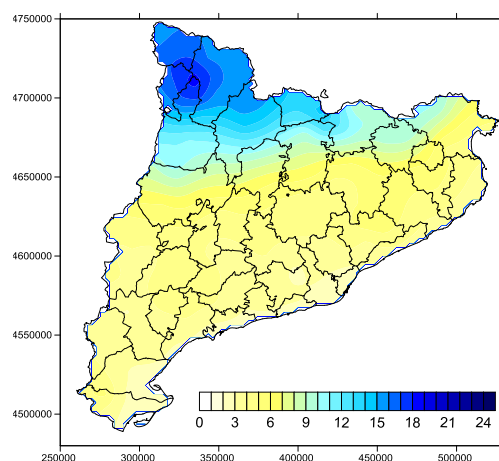


Figura 136: Composite de la precipitació associada als scores del tercer PC del Tipus XII.

En aquest cas, apareix una zona de baixes pressions sobre Catalunya amb incidència de vent de Nord sobre l'extrem Nord-Oest de Catalunya, que seria el responsable de les precipitacions. En una situació com aquesta, segurament la zona del Golf de Lleó rebria fortes precipitacions. Aquesta situació es dóna sobretot a l'època càlida amb un màxim al mes de maig (Figura 137).

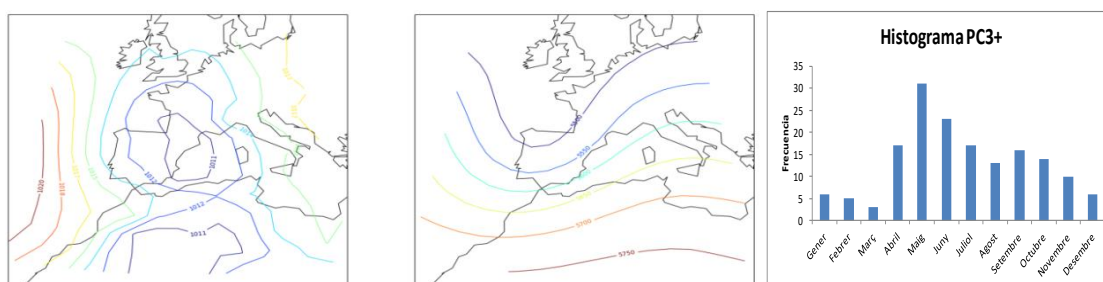


Figura 137: Pel tercer PC del Tipus XII: ídem que a la figura 133.

El que diferencia bàsicament aquests 3 patrons del Tipus XII és la posició de la baixa. Segona la posició d'aquesta la precipitació es concentrarà més en unes zones o unes altres.

- **Tipus XIII**

Aquest tipus es correspon amb el tipus Baixa Tèrmica de Martín-Vide. Amb aquest tipus sinòptic la major part de la precipitació és convectiva i es concentra sobretot al Pirineu.

La baixa tèrmica és un tipus sinòptic difícil de definir de manera automàtica i la seva definició no queda del tot clara i això es reflecteix en els composites: es veu com a la Península, sobretot la seva part més Oriental, està afectada per una zona de baixes pressions que

abraçaria tota la Mediterrània Occidental i en altura hi hauria la presència d'una dèbil dorsal (Figura 32), la qual cosa es contradiu una mica amb la idea que es té de baixa tèrmica, que es centraria sobretot al Sud-Oest de la Península Ibèrica.

Amb aquesta situació tenim 3 PC.

Analitzant el primer PC, que presenta el 24.5% de la variabilitat, s'observa que els scores representen un patró de precipitació que sobretot afecta la Litoral Sud i zones disperses de la Catalunya Central (Figura 138). Un patró que es fa difícil d'explicar en el cas de baixa tèrmica.

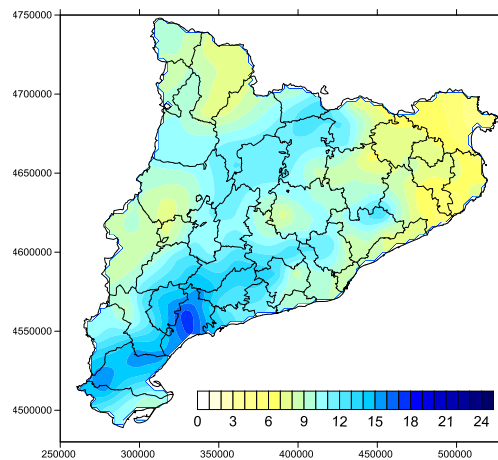


Figura 138: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus XIII.

Els mapes isobàrics representen una situació de baixa sobre el Mediterrani amb una situació del d'advecció del Oest en altura amb lleugera curvatura ciclònica, per tant no es pot parlar de la situació típica de baixa tèrmica. A més, la precipitació d'aquest patró es donaria al llarg de l'any, no només a l'estiu tal com seria en una situació típica de baixa tèrmica (Figura 139).

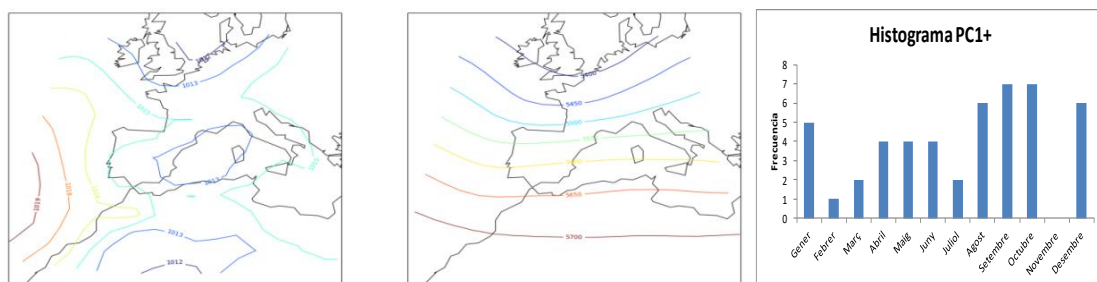


Figura 139: Pel primer PC del Tipus XIII: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació.

Tot plegat indica que la es classifica com a baixa tèrmica els casos en què el pas d'un sistema frontal acaba formant una baixa al Golf de Lleó, malgrat que al definir els tipus s'ha intentat evitar.

El segon PC representa el 21% de la variància i representa un patró de precipitació irregular afectant sobretot el Nord-Est de Catalunya:

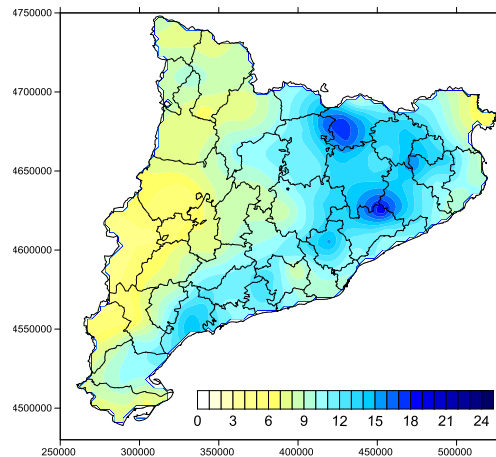


Figura 140: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus XIII.

Pel que fa a la situació sinòptica, de la mateixa manera com passava amb el primer PC, no hi ha un comportament típic de baixa tèrmica, pel fet que apareix un solc dèbil en altura. Però en aquest cas, sí que es correspondria a les precipitacions estivals que es donen en aquesta situació quan hi ha inestabilitat en altura (Figura 141).

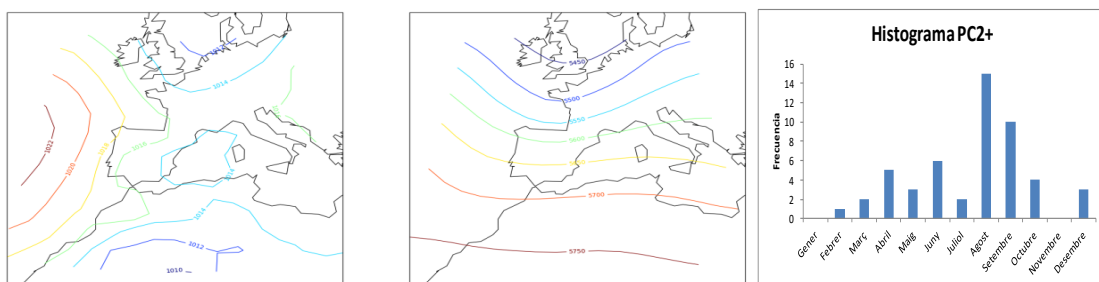


Figura 141: Pel segon PC del Tipus XIII: ídem que a la figura 139.

Per últim, el tercer PC, que explica el 15.5% de la variància, mostra un patró més semblant al que caldria esperar en el cas de baixa tèrmica amb precipitacions concentrades sobretot al Pirineu (Figura 142).

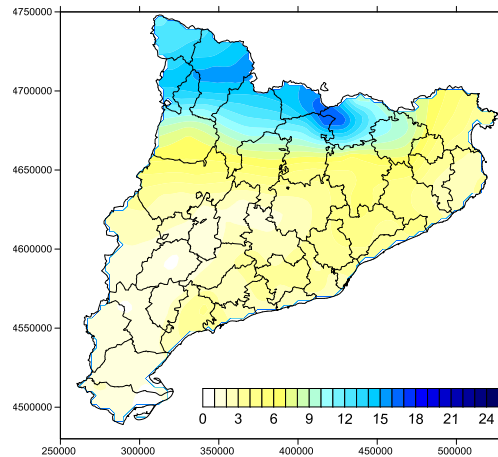


Figura 142: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus XIII.

La situació sinòptica però, tampoc es correspon més amb el que s'espera en una situació de baixa tèrmica. S'observa una situació poc definida en superfície amb una dorsal en altura sobre el Mediterrani i un solc a l'Oest de la Península Ibèrica.

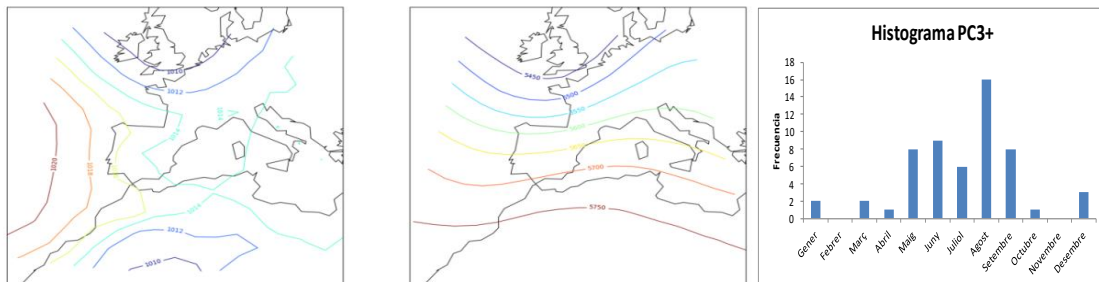


Figura 143: Pel tercer PC del Tipus XIII: ídem que a la figura 139.

Els patrons de precipitació obtinguts amb baixa tèrmica no es corresponen amb els que caldria esperar sinó que més aviat es corresponen a pas de sistemes frontals que generen una baixa al arribar al Mediterrani. També cal tenir en compte que les baixes tèrmiques solen aparèixer durant les hores centrals del dia, quan es té la màxima insolació. El fet d'usar mapes de les 0000 UTC per definir els tipus sinòptics dificulta l'aparició de Baixes tèrmiques.

- **Tipus XIV**

Aquest tipus es correspon amb el de Pantà Baromètric de Martín-Vide. Amb aquest tipus de temps en general s'espera que la precipitació es centri al Pirineu i sigui en general de caràcter convectiu. Amb aquesta situació retenim sis PC.

El primer PC representa el 18.8% de la variabilitat, i els scores positius representen un patró de precipitació molt irregular per tot Catalunya (Figura 144).

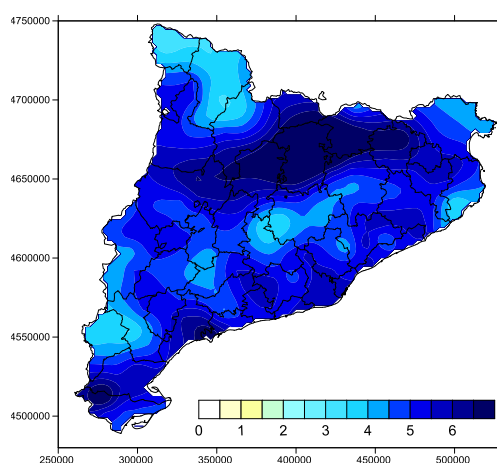


Figura 144: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus XIV.

La situació sinòptica relacionada amb aquest tipus de temps ens mostra una situació en terra de ningú amb una dorsal sobre el Mediterrani i un solc a l'Oest de la Península Ibèrica (Figura 145), la qual cosa implica una situació amb precipitacions de caràcter convectiu. En general, la mitjana de precipitació dona quantitats molt minses (veure escala) repartides per tot Catalunya però sobretot en les zones muntanyoses. Aquestes precipitacions es donen sobretot durant els mesos de tardor (Figura 145).

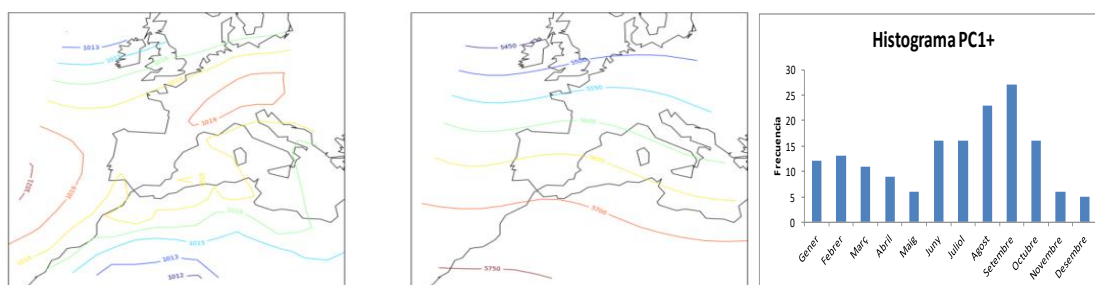


Figura 145: Pel primer PC del Tipus XIV: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació.

El segon PC representa el 16.3% de variabilitat i els scores positius donen el patró de precipitació a la meitat oriental de Catalunya:

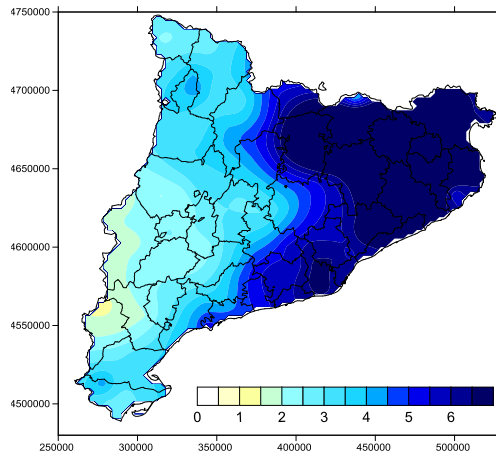


Figura 146: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus XIV.

La situació sinòptica associada a aquest patró de precipitació mostra en superfície una situació poc definida, però si s'observa al Sud-Oest de la Península Ibèrica apareix una baixa relativa, fet que es correspondria amb una baixa tèrmica. Aquest fet es corroboraria pel fet d'haver-hi en altura el pas d'un solc molt dèbil que seria el responsable de les precipitacions i que aquestes es donin sobretot durant els mesos d'estiu i principis de tardor (Figura 147).

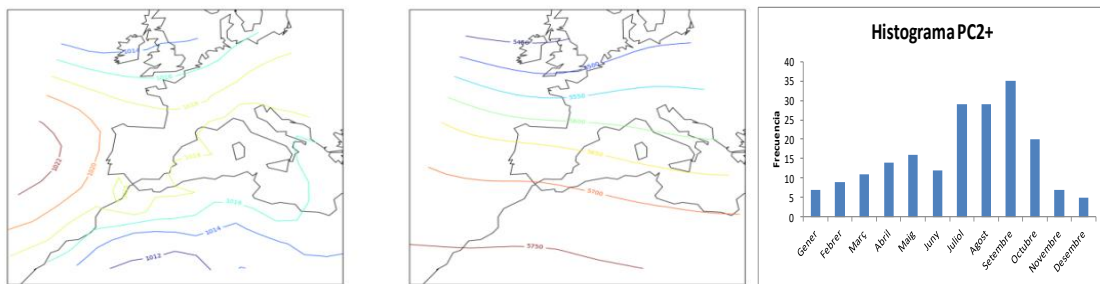


Figura 147: Pel segon PC del Tipus XIV: ídem que a la figura 145.

El tercer PC, representant el 8.9% de variabilitat, representa un patró de precipitació concentrat al Pirineu Occidental (Figura 148).

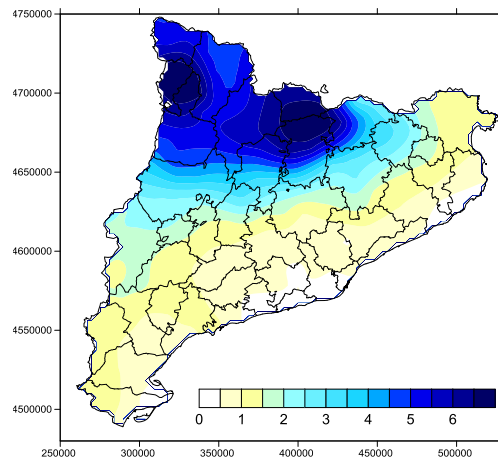


Figura 148: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus XIV.

De manera semblant al patró anterior, la situació sinòptica es correspon amb una situació isobàrica poc definida, amb la presència d'una baixa relativa al Sud-Oest de la Península Ibèrica. En els mapes d'isohipses s'observa una dorsal sobre el Mediterrani i una vaguada entrant per la Península Ibèrica. Les precipitacions es concentren sobretot durant els mesos d'estiu (Figura 149). Tot plegat força coherent amb el que s'espera amb el tipus de situació de Baixa Tèrmica.

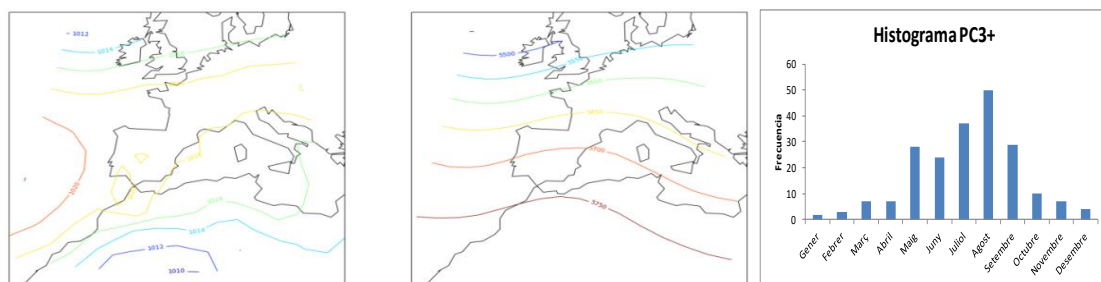


Figura 149: Pel tercer PC del Tipus XIV: ídem que a la figura 145.

El quart PC representa el 7.5% de la variabilitat, i mostra un patró de precipitació al Pirineu, que és on solen concentrar-se les precipitacions per aquest tipus de temps, sobretot durant l'època estival (Figura 150).

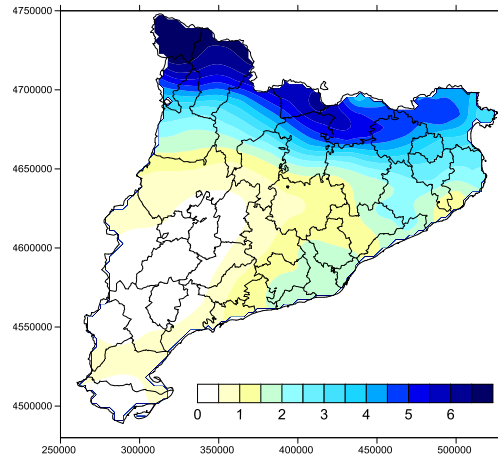


Figura 150: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del quart PC del Tipus XIV.

Els composites de pressió en superfície i la geopotencial a 500 hPa mostren una situació indefinida en superfície. En altura hi hauria una dorsal en altura sobre el Mediterrani i un dèbil solc a l'Oest de la Península Ibèrica. Situació típica d'estiu i que va associada amb tempestes al Pirineu (Figura 151). Una situació sinòptica molt semblant a la que es mostrava en el tercer PC.

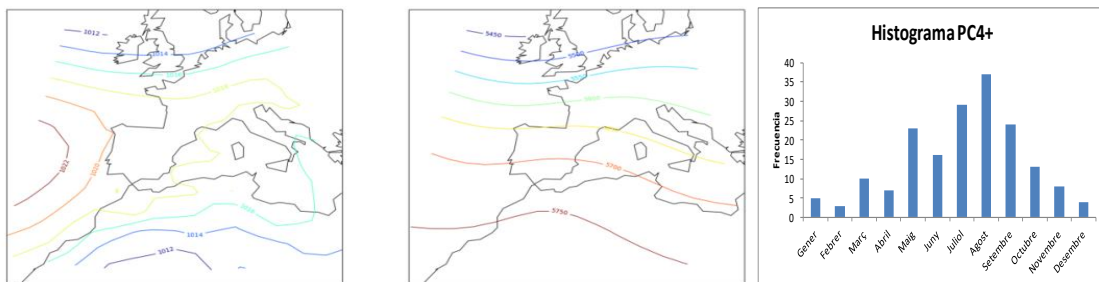


Figura 151: Pel quart PC del Tipus XIV: ídem que a la figura 145.

Pel que fa al cinquè PC, representa només el 6.9% de la variabilitat i els scores estan relacionats amb precipitacions estivals a la Catalunya Central de caràcter molt dèbil (Figura 152).

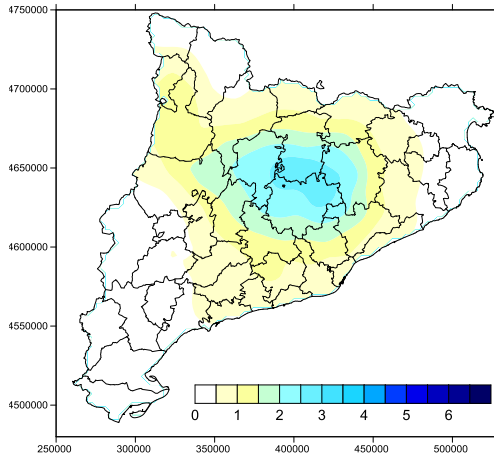


Figura 152: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del cinquè PC del Tipus XIV.

La situació sinòptica per aquest patró de precipitació és la d'una situació en superfície poc definida i estable en altura, amb l'aparició d'una baixa tèrmica al Sud-Oest de la Península Ibèrica (Figura 153).

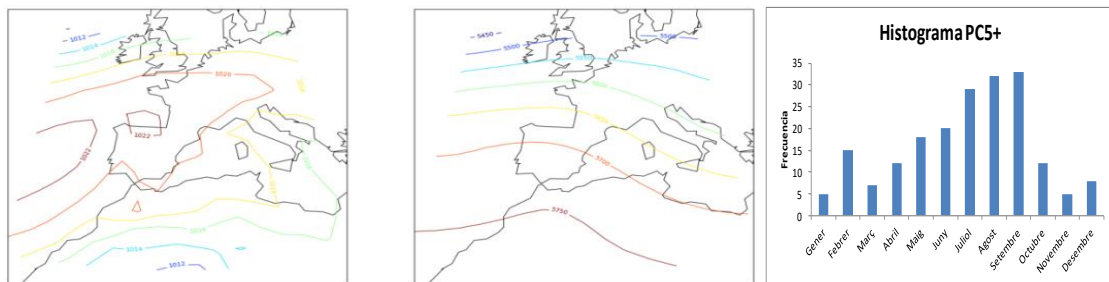


Figura 153: Pel cinquè PC del Tipus XIV: ídem que a la figura 145.

Finalment, el sisè PC representa el 4.2% de la variabilitat i els scores positius estan relacionats amb un patró de precipitació irregular que afecta tot Catalunya però de manera més clara a la zona dels Ports de Besseit (Figura 154).

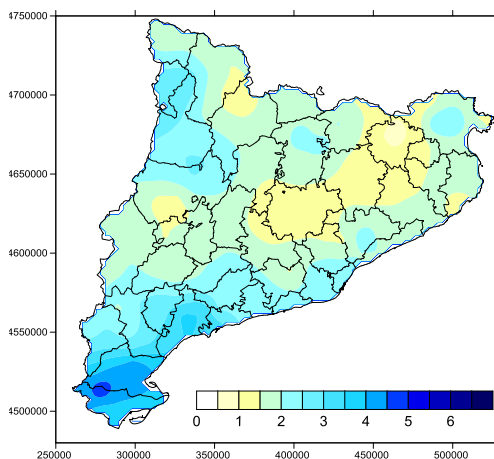


Figura 154: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del sisè PC del Tipus XIV.

La situació dominant és semblant a les dels casos anteriors amb indefinició pel que fa als mapes de pressió en superfície: la presència d'una baixa tèrmica al Sud-Oest de la Península Ibèrica. En altura hi ha una dorsal sobre el Mediterrani i un solc a l'Oest de la Península Ibèrica. La precipitació per aquest patró també es dóna sobretot els mesos estivals (Figura 155).

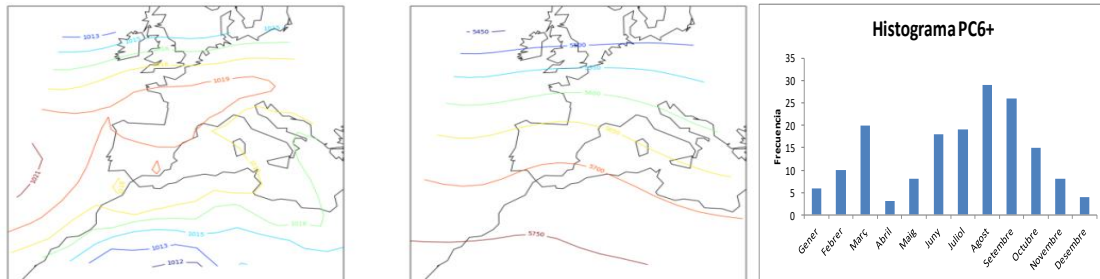


Figura 155: Pel sisè PC del Tipus XIV: ídem que a la figura 145.

S'observa com en el tipus de Pantà Baromètric, excepte en el primer patró, la resta es correspondrien amb la presència d'una baixa tèrmica al Sud-Oest de la Península Ibèrica.

- **Tipus XV**

Aquest tipus es correspon amb el d'Anticicló (dinàmic) de la classificació manual de Martín-Vide. En aquest cas, com és d'esperar hi ha pocs dies de precipitació i poca quantitat i aplicar EOF en aquests casos pot donar resultats poc conclouents.

Amb aquesta situació es retenen 6 PC.

El primer PC, representa el 18.8% de la variabilitat, i mostra un patró amb precipitació a l'extrem Sud de Catalunya (Figura 156).

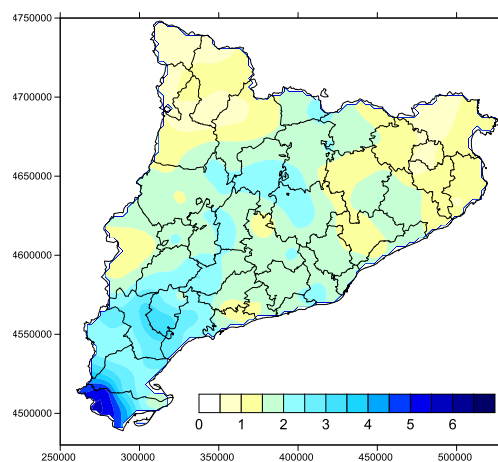


Figura 156: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del primer PC del Tipus XV.

Els mapes en superfície i en altura, mostren una situació amb circulació anticiclònica que implica una dèbil advecció de l'Est sobre la costa Mediterrània i en altura hi ha una situació que implica estabilitat (Figura 157), la qual cosa és coherent amb la minsa quantitat de precipitació i amb què, si apareix, ho fa en zones de muntanya. Aquesta situació se sol donar més a fora del mesos estivals i en molt pocs casos (Figura 157).

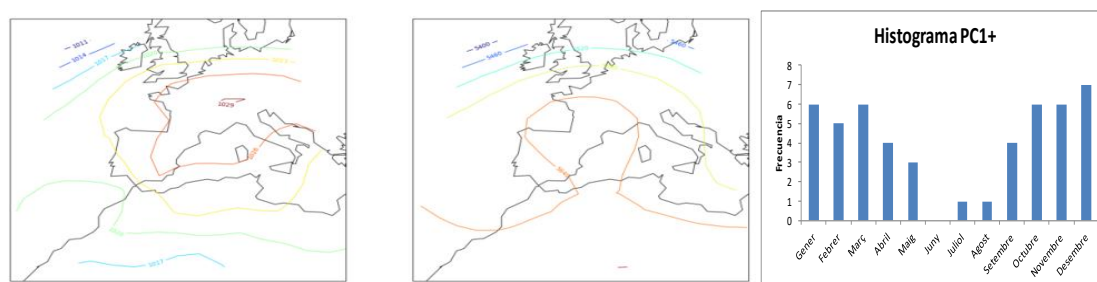


Figura 157: Pel primer PC del Tipus XV: la primera figura representa el composite de la pressió en superfície, la segona el composite de l'altura geopotencial a 500 hPa i la tercera figura és l'histograma de la distribució anual de la precipitació.

El segon PC representaria el 16.3% de la variabilitat i el patró de precipitació associat dona precipitacions en zones de muntanya sobretot del Nord-Est i extrem Sud de Catalunya, totes elles molt dèbils (Figura 158).

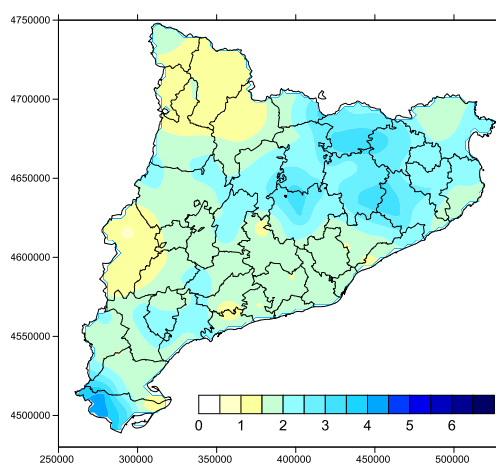


Figura 158: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del segon PC del Tipus XV.

De manera similar a la primera component principal, en aquest cas, el patró també va associat a la presència de l'anticicló centreeuropeu que envia aire humit a la costa Mediterrània de la Península Ibèrica. En aquest cas, la situació en altura és una situació molt poc definida amb

dèbil gradient isobàric la qual cosa explica la presència de precipitacions més generals que solen donar-se durant els mesos freds de l'any (Figura 159).

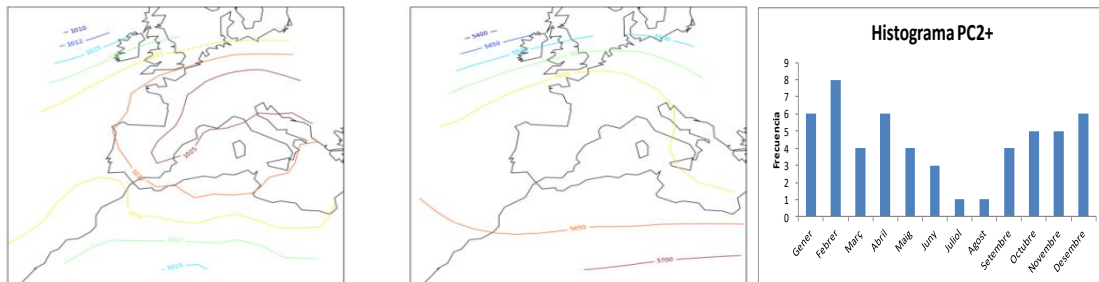


Figura 159: Pel segon PC del Tipus XV: ídem que a la figura 157.

El tercer PC representa el 8.9% de la variabilitat i presenta un patró de precipitació molt semblant al cas de la primera component principal d'aquest mateix tipus: la precipitació es concentra bàsicament al sud de Catalunya (Figura 160).

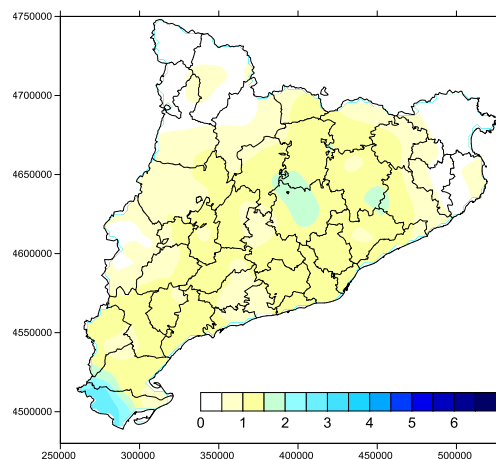


Figura 160: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del tercer PC del Tipus XV.

La situació sinòptica mostra una altra vegada la presència de l'anticicló sobre el continent europeu que implica un flux humit sobre el Mediterrani i que es dona preferentment fora dels mesos estivals (Figura 161).

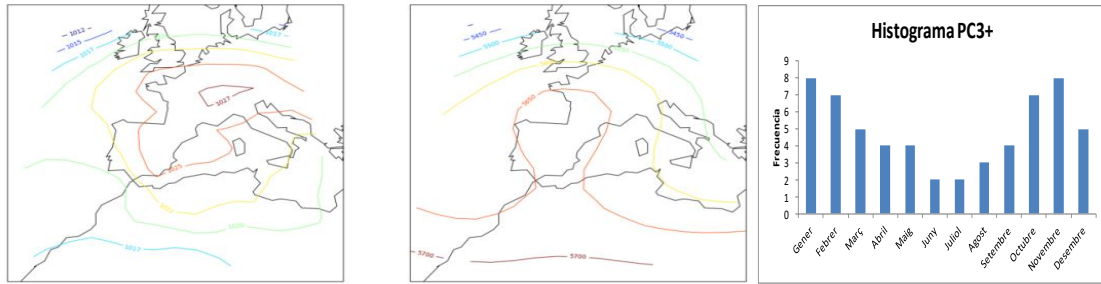


Figura 161: Pel tercer PC del Tipus XV: ídem que a la figura 157.

El quart PC representa el 7.5% de la variabilitat i representa sobretot precipitacions a la zona del Berguedà i dels Ports. En general es corresponen amb precipitacions molt dèbils que de la mateixa manera que els components anteriors, és complex treure'n algun patró o alguna explicació física.

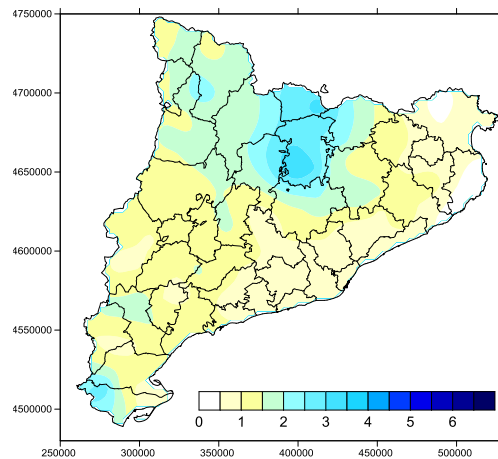


Figura 162: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del quart PC del Tipus XV.

La situació sinòptica és semblant als casos anteriors i té el seu màxim durant el mes de Maig tot i que es repartiria força al llarg de tot l'any (Figura 163).

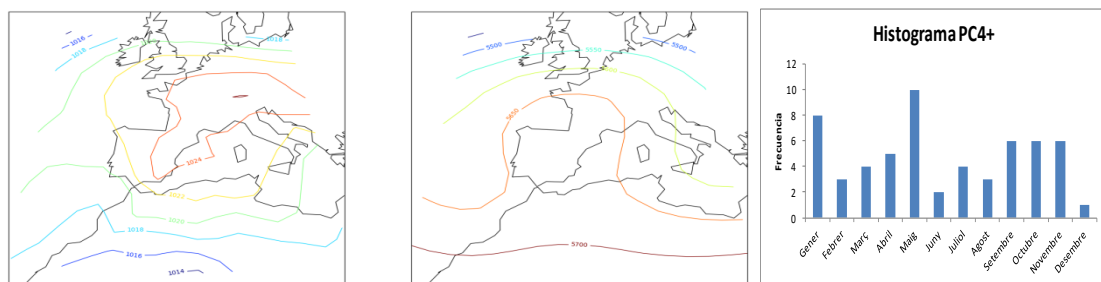


Figura 163: Pel quart PC del Tipus XV: ídem que a la figura 157.

El cinquè PC representa el 6.9% de la variabilitat i el patró de precipitació que hi té associat marca precipitacions sobretot a la zona de la Val d'Aran (Figura 164).

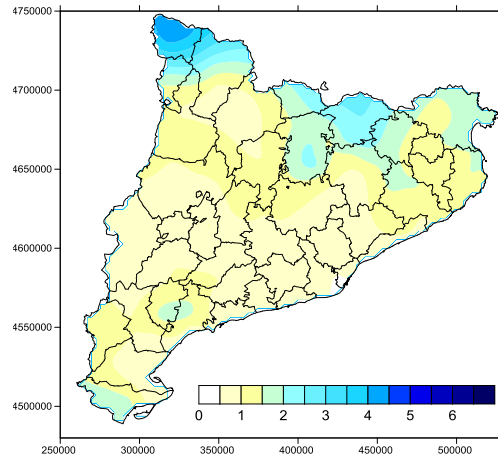


Figura 164: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del cinquè PC del Tipus XV.

Mirant els mapes sinòptics es fa difícil deduir els mecanismes d'aquesta precipitació. Una possible hipòtesi seria que es tracta de precipitacions que es donarien en la transició d'un episodi d'anticicló a un de precipitació, ja que la precipitació acumulada diària és desde les 0700 UTC del dia actual, fins les 0700 UTC del dia següent. La distribució temporal de la precipitació seria força homogènea al llarg l'any, però amb molts pocs casos (Figura 165).

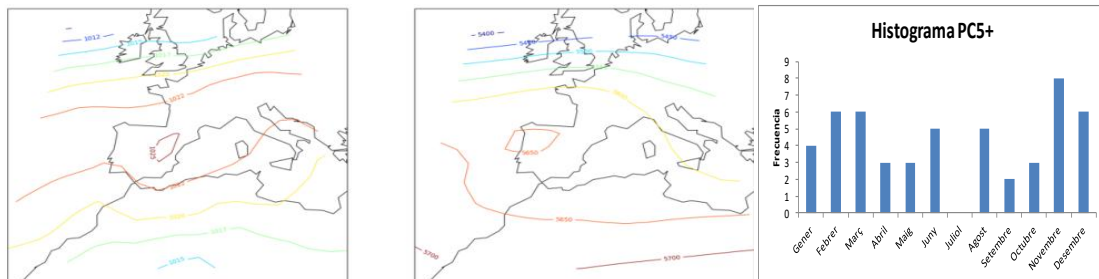


Figura 165: Pel cinquè PC del Tipus XV: ídem que a la figura 157.

Finalment, el sisè PC explica un 4.2% de la variabilitat i representa precipitacions a la zona dels voltants de la Garrotxa, el Berguedà i el Ripollès, zona amb un màxim pluviomètric de Catalunya.

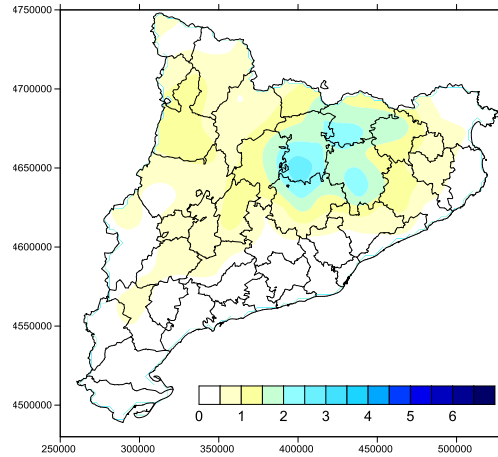


Figura 166: Composite de la precipitació (en mm) associada als scores del sisè PC del Tipus XV.

La situació sinòptica ens explica poc sobre els orígens d'aquesta precipitació que es fa difícil de caracteritzar (Figura 167), al igual que la precipitació associada a la resta de components principals. Al igual que en la component anterior es podria deure a precipitacions que es donen en la transició entre un anticicló i un episodi de precipitació.

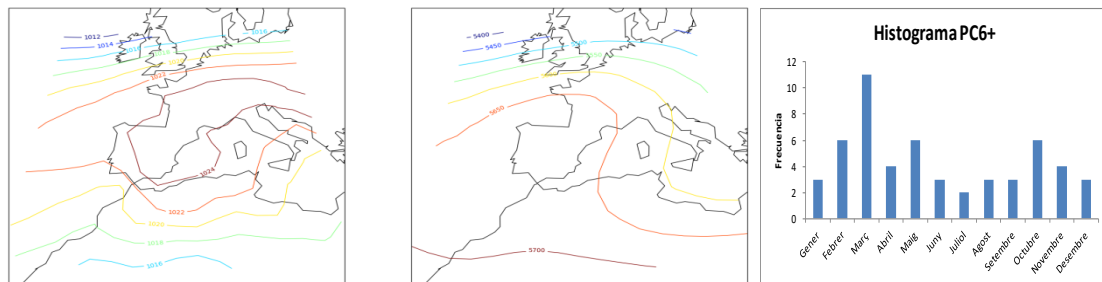


Figura 167: Pel sisè PC del Tipus XV: ídem que a la figura 157.

- **Tipus XVI**

Aquest tipus es correspon amb l'anticicló tèrmic de Martín-Vide. En aquest cas, les precipitacions encara són més escasses que al cas Tipus XV, amb precipitacions totals acumulades pel període entre 1971-2007 de només 70 mm, aquests repartits en 8 dies. Tot plegat fa que no tingui sentit calcular les EOF per aquest tipus de temps.

5.6 Discussió

Una de les principals conclusions de la segona part d'aquesta tesi doctoral és que, per cada un dels tipus de temps, la precipitació queda ben discriminada, és a dir, tipus sinòptics diferents donen patrons de precipitació diferenciats. Tot i això, per cada un dels tipus sinòptics solen aparèixer, a grans trets, tres patrons de precipitació que es solen donar sempre per separat:

- Les precipitacions del Pirineu Occidental.
- Les precipitacions del Nord-Est de Catalunya.
- Les precipitacions del Sud de Catalunya.

Aquests patrons no apareixen sempre amb la mateixa extensió i intensitat, però donen la idea que la precipitació diària, per cada una de les zones, presenta un comportament diferenciat que respondria a mecanismes mesoscalars. Els resultats trobats confirmen que, en la majoria dels casos de precipitació a Catalunya, no es dona un patró de precipitació general que afecti tot el territori. Aquesta idea es podria extrapolar a la resta de l'àrea mediterrània, com corrobora en el treball de Cortesi et al (2013a), en el qual demostra que la precipitació de l'àrea mediterrània en general es difícil d'explicar només amb informació sinòptica.

Aquests tres patrons tant ben diferenciats, també els descriu Fernández-Mills et al. (1994) en el seu treball d'estudi de la variabilitat de la precipitació, on després d'aplicar una PCA a la precipitació, posa de manifest que, per una banda hi ha un dipol Est-Oest en les precipitacions del Pirineu i per altra banda un dipol Nord-Sud (Figura 38). En el treball de Lana et al (2004) també dedicat a l'estudi de la variabilitat de la precipitació, on aplica de manera simultània components principals i clústers a les mitjanes mensuals de precipitació, també apareixen els patrons de precipitació del Sud i del Nord-Est de Catalunya (Figura 40). En aquest cas però, no apareixeria el patró diferenciat del Pirineu Occidental malgrat que és el més singular, ja que representa el desacoblament entre la dinàmica atlàntica i la Mediterrània. Més endavant, Martínez et al. (2009) va usar una metodologia semblant a la de Lana et al. (2004) i va trobar els patrons de precipitació associats a les precipitacions diàries i en aquest cas els clústers sí van agafar les peculiaritats de la precipitació del Nord-Est de Catalunya, les de l'extrem Sud i les del Pirineu Occidental (Figura 42). Tot i això, el treball en el qual les tres zones queden més ben representades és el de Romero et al. (1999a,b) en el qual, després d'aplicar components

principals i clústers a la precipitació de la costa Mediterrània de la Península Ibèrica, divideix Catalunya en tres regions segons la seva variabilitat (Figura 44):

- El Nord-Est amb la part central de Catalunya.
- El Sud i Ponent.
- El Pirineu Occidental.

Pel que fa a la variabilitat espacial de la precipitació es conclou la gran variabilitat que presenta aquesta per la zona de Catalunya, degut a tota una sèrie de factors, tant climàtics com geogràfics. El treball de Cortesi et al. (2013b) marca Catalunya com una zona amb poca homogeneïtat de precipitacions. També els treballs de Fernández-Mills et al. (1994), de Lana et al. (2004) o de Martínez et al. (2009), mostren fins a 9 zones de variabilitat de precipitació a Catalunya, el qual és un nombre important tenint en compte l'extensió de Catalunya. L'anàlisi de clústers que va dur a terme Periago (1991) dona una visió molt clara sobre la variabilitat de la precipitació a Catalunya en el que apareixen moltes zones de comportaments singulars.

L'estudi més semblant al d'aquesta tesi, que s'ha dut a terme és el que féu Serra et al. (1998), en el qual a partir d'uns quants tipus manuals, estudia la variabilitat de la precipitació a partir de la PCA. Malgrat les limitacions que presenta la metodologia aplicada per Serra et al. (1998), sobretot pel que fa a la classificació sinòptica i la llargada de la sèrie de precipitacions utilitzada, alguns dels patrons trobats coincideixen amb els trobats en aquest treball. Així doncs, en les situacions sinòptiques de l'Est i del Sud-Est (correspondència Tipus VI i VII) també s'observen bé els tres patrons bàsics de precipitació: el que apareix al llarg de tot el Litoral, el que dona precipitacions al Nord-Est i el que les dona al Sud de Catalunya (Figura 47). També per la situació sinòptica advectional del Oest (correspondència Tipus II), es dona un patró de precipitació a l'Oest de Catalunya, en consonància amb els resultats obtinguts en aquesta tesi (Figura 48). Malgrat això les diferències són força notables amb patrons de precipitació que sovint són difícils d'explicar.

Per altra banda, en treballs com el de Cortesi et al. (2014) en els quals relaciona els tipus sinòptics de JiC amb la precipitació mensual a la Península Ibèrica, es veu com en general, la precipitació obtinguda amb els tipus sinòptics de JIC i els equivalents a la classificació desenvolupada en aquest treball presenten semblances significatives. La precipitació sol distribuir-se al llarg de l'any i al llarg del territori de manera equivalent a grans trets, la qual cosa dona versemblança a la nova classificació sinòptica. El mateix s'observa amb els treballs de precipitació de Ramos et al. (2015).

5.7 Consideracions finals

Els resultats obtinguts a partir de l'anàlisi de la variabilitat de la precipitació que s'ha dut a terme en aquest capítol, ens permeten concloure que els principals mecanismes de la precipitació a Catalunya són de naturalesa mesoscalar. No es dona mai que un tipus sinòptic presenti un patró de precipitació general que cobreixi tot Catalunya malgrat que l'extensió de Catalunya és relativament petita.

En aquest treball s'ha intentat descriure una sèrie de patrons de precipitació ben diferenciats, que es dedueixen a partir de la PCA. Aquests patrons són:

- les precipitacions que es donen al Pirineu més Occidental
- les precipitacions que es donen al Nord-Est de Catalunya
- les precipitacions del Sud de Catalunya

El patró de precipitació que afecta al Pirineu més occidental és un patró que es dona en moltes situacions sinòptiques i normalment queda restringit a aquesta zona del Pirineu. És un patró que sol restringir-se únicament a la zona de muntanya del Pirineu occidental, fet que contrasta amb les precipitacions del Pirineu més oriental que solen desplaçar-se cap al Litoral i afectar tot el Nord-Est de Catalunya. El patró de precipitació del Pirineu occidental sol repetir-se en diferents situacions sinòptiques, fins i tot en aquelles en què la precipitació no es dona en cap lloc més de Catalunya. Per una banda rep les precipitacions atlàntiques produïdes pels fluxos provinents dels quadrants Oest, Nord-Oest i Nord al vessant Nord del Pirineu, que algunes vegades fins i tot travessen la serralada, fet que no es produeix al Pirineu Oriental pel fet d'estar menys exposat a la influència atlàntica. Per l'altra banda, també les precipitacions vindrien donades pels fluxos dels quadrants del Sud i Sud-Oest, que també solen ser destacables si el flux és prou marcat i hi ha condicions favorables. Els casos ciclònics també poden produir precipitació en aquesta zona, sobretot els que creuant França, toquen al Nord de Catalunya, per contra, els ciclons mediterranis no solen donar precipitació en aquesta zona, a diferència del Pirineu Oriental. Fins i tot, en casos estables, en aquesta zona poden haver-hi precipitació, sobretot en el mesos estivals on petits fronts afavoreixen la pluja convectiva en les zones de muntanya. De fet, la zona al voltant de la Val d'Aran i el Nord del Pallars Jussà i del Pallars Sobirà, el massís del Besiberri, es considera un màxim pluviomètric anual de Catalunya.

Pel que fa al patró de precipitació del Nord-Est de Catalunya, és un patró que també sol repetir-se en molts tipus de temps. De fet, la zona del Nord-Est de Catalunya és també un altre

màxim pluviomètric, però no sol donar-se simultàniament amb el patró de precipitació del Pirineu Occidental. A diferència del Pirineu Occidental, el Pirineu Oriental per una banda és més proper al mar Mediterrani i per l'altra, a la zona oriental el massís pirienc representa un mur infranquejable pels fluxos provinents del quadrants Nord i Nord-Oest i rep menys la influència atlàntica. En els casos de situació poc definida en superfície o amb gradients dèbils i amb condicions d'instabilitat en altura, la zona del Nord-Est sol rebre precipitacions convectives, sobretot durant l'època estival, afavorides per la proximitat al Pirineu. Pel que fa als casos de vents de component marítim: Sud-Oest, Sud i Est, tenim que en tots apareix clarament el patró de precipitació a la zona del Nord-Est, conjuntament amb precipitacions a la resta del Litoral però amb el senyal més dèbil.

De fet, aquesta diferenciació entre els patrons de precipitació al llarg del Litoral es veu sobretot entre les precipitacions del Litoral Nord i del Litoral Sud. Les situacions en què aquestes diferències entre la precipitació del Litoral Nord i Sud s'observen millor és en les que apareix un flux d'origen marítim (cicló mediterrani, fluxos del Est, del Sud i Sud-Oest). El patró de precipitació del nord-est de Catalunya solen anar lligades a precipitacions també al extrem sud de Catalunya, la qual cosa aniria lligada a una configuració orogràfica semblant: tant el nord-est de Catalunya com l'extrem sud tenen muntanyes de gran altura que intercepten el flux marítim: els Pirineus en el cas del nord-est i els Serralada Ibèrica en el cas de l'extrem sud. La presència d'aquestes muntanyes afavoreix la precipitació sobretot al quadrant Nord-Est, on són més extenses. El cas en que no es donaria aquesta coincidència entre les precipitacions del quadrant nord-est i les del extrem sud seria en el Tipus XII (cicló) en el qual les diferències en la precipitació serien degudes a la posició de la baixa i la seva influència.

També per la seva altura i configuració la Serra de Prades, seria una zona propensa a la precipitació però en menor grau que la zona dels Ports de Besseit degut a la menor entitat de l'accident geogràfic. La resta del Prelitoral Sud sol ser una zona poc propensa a les precipitacions convectives per la complexitat orogràfica i per la presència de la vall de l'Ebre en el camí dels fluxos marítims, que en comptes d'interceptar els fluxos marítims els accelera impedit la formació de núvols prou desenvolupats per generar precipitació. La excepció estaria en el cas de la presència d'un solc profund creuant la Península Ibèrica, en aquest cas, la massa d'aire inestable associada a aquest solc inhibeix l'acanalament del vent per la vall de l'Ebre a mesura que s'acosta a Catalunya i afavoreix la precipitació. Aquesta fet sols donar-se poques vegades ja que aquests solcs solen anar associats a adveccions seques del Oest, Nord-Oest o Nord, però en el cas que es produeixi solen donar-se precipitacions intenses. La

combinació d'una important aportació d'aire humit amb l'aire fred que s'escola per la Vall de l'Ebre afavoreix aquestes precipitacions.

Finalment, quedarien zones no descrites com la zona de la Depressió Central o el Litoral Central. Per una banda, la Depressió Central és una zona àrida on la presència de la precipitació sol ser escassa i produïda principalment per situacions convectives que molt sovint tenen el seu origen en el sobreescalfament de la Depressió Central. Per altra banda, les precipitacions del Litoral Central no responen a un patró diferenciat sinó que solen ser precipitacions que algunes vegades es corresponen al patró del Sud i d'altres al patró del Nord-Est.

6. Conclusions

L'objectiu d'aquesta era l'estudi dels patrons mesoscalars de precipitació per la zona de Catalunya i per dur a terme aquest objectiu ha fet falta:

- En primer lloc construir una classificació sinòptica simple i intuïtiva però que fos representativa dels diferents tipus de temps que es donen a la Mediterrània Occidental.
- En segon lloc s'ha fet un estudi de la variabilitat de la precipitació per cada tipus sinòptic. D'aquesta manera, estudiant la variabilitat de la precipitació per cada un dels tipus sinòptics, els diferents patrons obtinguts serien de naturalesa mesoscalar.

Construir una classificació sinòptica presentava moltes dificultats, sobretot a l'hora d'escollir la metodologia per dur-la a terme. Al final es va escollir desenvolupar una classificació basada en l'indici sobre diferents paràmetres meteorològics, inspirada directament de la classificació de JiC. Aquesta classificació havia de tenir com a característiques bàsiques: la capacitat de diferenciació entre els diferents mecanismes de precipitació i la senzillesa. Per una banda, afegir el nivell de 500 hPa ajudava a resoldre el tema dels mecanismes de precipitació, però també afegí molts nous tipus sinòptics que complicaven molt la classificació, per això es va simplificar a partir de la construcció de 16 tipus, basats en els 16 tipus de la classificació manual de Martín-Vide.

En general, els tipus sinòptics obtinguts discriminen de manera satisfactòria la precipitació, però hi ha alguns casos en què els tipus no estan prou ben definits i s'obtenen resultats poc clars. Aquest seria el cas del tipus baixa tèrmica, que com hem dit costa de diferenciar-la d'un cicló orogràfic posterior al pas d'un sistema frontal, cal pensar que la baixa tèrmica és una baixa dèbil que té poc reflex en superfície i que per tant és complexa de determinar. De fet, al estudiar la variabilitat de la precipitació s'ha vist que en el Tipus XIV (Pantà Baromètric) és on apareixen les estructures típiques de Baixa Tèrmica, la qual cosa fa pensar que els dos tipus es sol·lapen. Un altre tipus que genera certa confusió serien les adveccions de l'Oest que en alguns casos podrien ser considerades com solcs, ja que en altura apareixeria un solc ben configurat. També quan es treballa amb els tipus que solen ser secs, la interpretació de dades

es fa complexa o fins i tot impossible, com en el cas de l'anticicló tèrmic. En general, però l'estudi de la variabilitat de la precipitació corrobora la bondat de la classificació sinòptica obtinguda.

Pel que fa als patrons mesoscalars de precipitació obtinguts, l'experiència demostra que aquests solen donar-se, de fet, altres autors també han arribat a conclusions semblants, tal com s'ha discutit al punt 6.8. El perquè dels diferents patrons no té una resposta senzilla però caldria buscar-los en la pròpia complexitat orogràfica de Catalunya: la presència de la Vall de l'Ebre, la serralada Pirinenca i prepirinenca, les serralades Litorals i Prelitorals, les depressions interiors, tot plegat fa que les precipitacions convectives siguin molt irregulars espacialment i les estratiformes tinguin efectes molt diferents depenent de la posició geogràfica. És a dir, malgrat que l'origen de les masses d'aire i dels centres depressionaris i anticiclònics tant en superfície com en nivells mitjans siguin d'escala sinòptica els mecanismes pels qual es dona la precipitació a Catalunya estan molt influïts per la escala mesoscalar. Malgrat que el gradient de precipitació Nord-Sud s'emmarca dins la lògica del que caldria esperar, pel fet d'haver-hi al Nord les muntanyes més altes del principat; el gradient Est-Oest, tot i la seva evidència observacional, té una explicació menys evident: algunes vegades, precipitacions d'origen convectiu que poden ser intenses a l'Oest es desgasten en pocs quilòmetres i no passen la vertical del Llobregat, que sembla que actuï com a barrera climàtica, o bé, en situacions inestables a tot Catalunya les precipitacions convectives només es formen en la zona Nord-Est de Catalunya, o bé, que el pas del sistema frontal no es reactivi fins arribar a la zona de Prades. Quedaria com a treball futur estudiar el a fons aquests mecanismes que donen aquestes diferències. Que estarien molt relacionats amb l'orografia circundant que en alguns cassos actua afavorint la precipitació (precipitacions orogràfiques) i d'altres la inhibeix (efecte Föhn).

Per estudiar aquests mecanismes mesoscalars, seria desitjable poder realitzar reclassificacions mesoscalars per cada situació sinòptica prefixada. La possibilitat de córrer models mesoscalars de previsió del temps de manera massiva, gràcies als recents avenços en potència de càlcul dels moderns supercomputadors, fa que alguns centres estiguin desenvolupant reanàlisi a nivell mesoscalar que cobriran bona part del planeta (ERA5 del ECMWF). Seria el moment de, un cop fixada cada una de les situacions sinòptiques, desenvolupar classificacions mesoscalars que ajudessin a entendre els processos mesoscalars que intervenen en la precipitació a Catalunya i entendre el perquè de les grans diferències entre els patrons de precipitació que es donen al Nord-Est i al Sud de Catalunya o perquè en situacions convectives algunes vegades afecten més el Pirineu Occidental i altres vegades afecten més el Pirineu Oriental.

Referències

Albentosa, L.M., (1973): Los climas de Cataluña. Estudio de Climatología dinámica (Tesis de Doctorado), Univ. Barna. (Resumen publicado por la Univ. Barna, sec. de Publicaciones, 1975).

Azorin-Molina, C., Guijarro, J. A., McVicar, T. R., Vicente-Serrano, S. M., Chen, D., Jerez, S., i Espírito-Santo, F. (2016). Trends of daily peak wind gusts in Spain and Portugal, 1961–2014. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*.

Barry, R. G., i Carleton, A. M. (2001): Synoptic and dynamic climatology. Psychology Press.

Baur F, Hess P, Nagel H. (1944): Kalender der Grosswetterlagen Europas 1881–1939. DWD: Bad Homburg.

Bebbington, D., Rae, S., Bech, J., Codina, B., i Picanyol, M. (2007). Modelling of weather radar echoes from anomalous propagation using a hybrid parabolic equation method and NWP model data. *Natural Hazards and Earth System Science*, 7(3), 391-398.

Bech, J., Vilaclara, E., Pineda, N., Rigo, T., López, J., O'Hora, F., ... i Fàbregas, F. X. (2004): The weather radar network of the Catalan Meteorological Service: description and applications. In *Proceedings of ERAD*(Vol. 1, No. 5).

Bech, J., Rigo, T., Pineda, N., Segalà, S., Vilaclara, E., Sánchez-Diezma, R., ... i Velasco, E. (2005): Implementation of the EHIMI software package in the weather radar operational chain of the catalan meteorological service. In *Proceedings of 32nd Conference on Radar Meteorology*, Albuquerque-EUA, AMS, P13R (Vol. 3).

Beck, C. (2000): Zirculationdynamische Variabilitat im Bereich NordAtlantik-Europa Seit 1780. *Würzbuger Geographische Arbeiten* 95.

Benestad, R. E., Hanssen-Bauer, I., i Chen, D. (2008): Empirical-statistical downscaling. Singapore: World Scientific Publishing Company Incorporated.

Buishand TA, Brandsma T (1997): Comparison of circulation classification schemes for predicting temperature and precipitation in the Netherlands. *Int J Climatol* 17:875 – 889

Buyss-Ballot, C. H. D. (1857). Note sur le rapport de l'intensité et de la direction du vent avec les écarts simultanés du baromètre.

Cacciamani, C., Nanni, S., i Tibaldi, S. (1994): Mesoclimatology of winter temperature and precipitation in the Po Valley of Northern Italy. *International Journal of Climatology*, 14(7), 777-814.

Campins, J., Jansa, A., Benech, B., Koffi, E., i Bessemoulin, P. (1995). PYREX observation and model diagnosis of the Tramontane wind. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 56(3-4), 209-228.

Campo, G. (1936). Distribució horaria de la pluja a Barcelona. *Notes d'Estudi del Servei Meteorològic de Catalunya*, vol. V, num. 65, 293-316.

Capel-Molina, J. J. (2000): *El Clima de la Península Ibérica*. Ariel, 282 pp.

Casas, M. C., Rodríguez, R., Nieto, R., i Redaño, A. (2008): The Estimation of Probable Maximum Precipitation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1146(1), 291-302.

Cattell, R. B. (1966): The scree test for the number of factors. *Multivariate behavioral research*, 1(2), 245-276.

Chen, D (2000): A monthly circulation climatology for Sweden and its application to a winter temperature case study. *Int J Climatol* 20: 1067 –1076

Clavero, P., i RASO, J. (1979): Catálogo de tipos sinópticos para un estudio climático del Este de la Península Ibérica y Baleares. Aportacions en homenatge del geògraf Salvador Llobet, pp. 63-86, Dep. Geograf., Univ. Barna.

Clavero, P., Martín-Vide, J., i Raso Nadal, J. M. (1996): *Atles climàtic de Catalunya*. Termopluiometria, Generalitat de Catalunya (Departament de Política Territorial i Obres Públiques), Institut Cartogràfic de Catalunya i Departament de Medi Ambient, Barcelona.

Conway, D. and Jones, P.D. (1998): The use of weather types and air flow indices for GCM downscaling. *J. Hydrology*, 212-3, 348-361.

Corte-Real, J., Qian, B., i Xu, H. (1998): Regional climate change in Portugal: precipitation variability associated with large-scale atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*, 18(6), 619-635.

Cortesi, N., Trigo, R. M., González-Hidalgo, J. C., i Ramos, A. M. (2013a): Modelling monthly precipitation with circulation weather types for a dense network of stations over Iberia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(2), 665-678.

Cortesi, N., González-Hidalgo, J.C., Brunetti, M. i Martín Luis. (2013b): Spatial variability of precipitation in Spain. *Regional Environmental Change*. Online publication date: 16-Jan-2013.

Cortesi, N., Gonzalez-Hidalgo, J. C., Trigo, R. M., i Ramos, A. M. (2014). Weather types and spatial variability of precipitation in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 34(8), 2661-2677.

Cramér, H. (1928). On the composition of elementary errors: First paper: Mathematical deductions. *Scandinavian Actuarial Journal*, 1928(1), 13-74.

De Lathauwer, L., De Moor, B., Vandewalle, J., i by Higher-Order, B. S. S. (1994): Singular Value Decomposition. In *Proc. EUSIPCO-94, Edinburgh, Scotland, UK* (Vol. 1, pp. 175-178).

De Luís, M.; González Hidalgo, J.C .; Raventós, J.; Cortina, J.; Sánchez, J.R. (1998): Estudio espacial y temporal de las tendencias de la lluvia en la Comunidad Valenciana (1961-1990). *Cuadernos de Investigación Geográfica* Vol XXIV, 7-24.

De Luís, M., Raventós, J., González-Hidalgo, J.C., Sánchez, J.R., and J. Cortina (2000): Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (east Spain). *International Journal of Climatology*. Volume 20, Issue 12, pages 1451–1469

Dünkeloh, A., i Jacobeit, J. (2003): Circulation dynamics of Mediterranean precipitation variability 1948–98. *International Journal of Climatology*, 23(15), 1843-1866.

Egozcue, J. J., i Ramis, C. (2001): Bayesian hazard analysis of heavy precipitation in eastern Spain. *International Journal of Climatology*, 21(10), 1263-1279.

El Dessouky, T. M. i Jenkinson, A. F. (1975): An objective daily catalogue of surface pressure, flow and vorticity indices for Egypt and its use in monthly rainfall forecasting. *Synop. Climatol. Branch Memo, No. 46, Meteorological Office, Bracknell*

Esteban P., J. Martín-Víde, M. Mases (2006): Daily atmospheric circulation catalogue for western Europe using multivariate techniques. *Int. J. Climatology*, 26, 1501-1515.

Esteban, P. (2012): Classificació de tipus de circulació atmosfèrica: proposta metodològica i aplicacions. Tesis doctoral.

Esteban-Parra, M.J., Rodrigo, F.C. and Castro-Díez, Y. (1998): Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992. *Int. J. Climatol.*, 18, 1557-1574.

Fernández, A.J.; Martín-Vide, J.; Díaz, Y.A. y Mestre, A. (2003): Aplicación de los procesos sinópticos objetivos a la Península Ibérica en otoño. *Investigaciones Geográficas*, 31, 37-65, Alicante, Universidad de Alicante.

Fernández-Mills G, Lana X, Serra C. (1994): Catalanian rainfall patterns: principal component analysis and automated regionalisation. *Theoretical and Applied Climatology* 49: 201–212.

Fernández-Mills G. (1995): Principal component analysis of precipitation and rainfall regionalization in Spain. *Theoretical and Applied Climatology* 50: 169–183.

Fernandez-Raga, M., Castro, A., Marcos, E., Palencia, C., i Fraile, R. (2016). Weather types and rainfall microstructure in Leon, Spain. *International Journal of Climatology*.

Font Tullot I. (1983): Atlas climático de España. Instituto Nacional de Meteorología, 43 láminas.

García-Sellés, C., Peña, J. C., Martí, G., Oller, P., i Martínez, P. (2010): WeMOI and NAOi influence on major avalanche activity in the Eastern Pyrenees. *Cold Regions Science and Technology*, 64(2), 137-145.

Gibergans Baguena, J., Ortego Martínez, M. I., i Tolosana Delgado, R. (2011): Pluviometric regionalization of Catalunya: a compositional data methodology. In 4th International Workshop on Compositional Data Analysis (pp. 1-9). Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE).

González-Hidalgo, J. C.; de Luis, M.; Raventós, J.; Sánchez, J. R. (2001): Spatial distribution of seasonal rainfall trends in a western Mediterranean area. *International Journal of Climatology*, vol. 21, Issue 7, pp.843-860

González-Hidalgo, J. C., López-Bustins, J. A., Štěpánek, P., Martín-Vide, J., i de Luis, M. (2009): Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second-half of the twentieth century (1951–2000). *International Journal of Climatology*, 29(10), 1415-1429.

González-Hidalgo, J. C., Brunetti, M., i de Luis, M. (2011): A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945–November 2005). *International Journal of Climatology*, 31(5), 715-731.

Goodess, C. M., i Jones, P. D. (2002): Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall. *International Journal of Climatology*, 22(13), 1593-1615.

Goodess, C. M., Palutikof, J. P. (1998): Development of daily rainfall scenarios for southeast Spain using a circulation-type approach to downscaling. *Int. J. Climatol.*, 18: 1051-1083.

Grimalt, M., Tomàs, M., Alomar, G., Martín-Vide, J. y Moreno-García, M. C. (2013): Determination of the Jenkinson and Collison's weather types for the western Mediterranean basin over the 1948-2009 period. Temporal analysis. *Atmósfera* 26(1), 75-94.

Gutiérrez, J. M., Galván, A., Cofino, A. S., i Primo, C. (2006): Chaos game characterization of temporal precipitation variability: application to regionalization. *Fractals*, 14(02), 87-99.

Hair, J. F. (1999): *Análisis multivariante* (Vol. 491). Madrid: Prentice Hall.

Hannachi, A., Jolliffe, I. T., i Stephenson, D. B. (2007): Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review. *International Journal of Climatology*, 27(9), 1119-1152.

Hartigan, J. A. (1975): *Clustering Algorithms*. Wiley

Herrera, S., Fernández, J. and Gutiérrez, J.M. (2016): Update of the Spain02 Gridded Observational Dataset) for Euro-CORDEX evaluation: Assessing the Effect of the Interpolation Methodology *International Journal of Climatology*, 36:900–908

Hess P, Brezowsky H. (1952): *Katalog der Grosswetterlagen Europas*. Ber. Dt. Wetterdienstes in der US-Zone, Nr. 33, 39.

Hewitson, B. C. i Crane, R. G. (1996): Climate downscaling techniques and applications. *Climate Research*, 7: 85-95.

Homar, V., Ramis, C., Romero, R., Alonso, S., García-Moya, J. A., i Alarcón, M. (1999): A case of convection development over the western Mediterranean Sea: A study through numerical simulations. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 71(3-4), 169-188.

James P.M. (2007): An objective classification for Hess and Brezowsky Grosswetterlagen over Europe. *Theor. Appl. Climatology.*, 88, 17-42.

Jansà, J.M. (1961) : *Nociones de climatología general y de Menorca*". Maó Impremta Sintes

Jansa, A. (1995): *Peculiaritats meteorològiques de la Mediterrània Occidental*. I Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè, Barcelona.

Jardí, R. (1927). *Estudis de la intensitat de la pluja a Barcelona (Vol. 1)*. Institut d'Estudis Catalans.

Jenkinson A.F. and B.P. Collison, (1977): An initial climatology of gales over the North Sea. *Synop. Climatol. Branch, Memo.Nº 62*, Meteorological Office, London, UK. 18 pp.

Jolliffe, I. T. (1990): Principal component analysis: a beginner's guide—I. Introduction and application. *Weather*, 45(10), 375-382.

Jones, P.D., Hulme, M. and Briffa, K.R., (1993): A comparison of Lamb circulation types with an objective classification scheme. *Int. J. Climatol.* 13, 655-663.

Kaiser, H. F. (1958): The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23(3), 187-200.

Kassomenos, P., A. Gryparis, E. Samoli, K. Katsouyanni, S. Lykoudis and Flocas, H.A. (2001): Atmospheric circulation types and daily mortality in Athens, Greece. *Environ. Health Persp.*, 109, 591-596

Kidson, J. W. (1994): Relationship of New Zealand daily and monthly weather patterns to synoptic weather types. *International Journal of Climatology*, 14(7), 723-737.

Kline, P. (2014): *An easy guide to factor analysis*. Routledge.

Kohonen, T. (1990): The self-organizing map. *Proceedings of the IEEE*, 78(9), 1464-1480.

Lamb, H.H. (1972): British Isles Weather types and a register of daily sequence of circulation patterns, 1861-1971. Geophysical Memoir 116, HMSO, London, 85pp.

Lana, X., Mills, F., i Fernández-Mills, G. (1994): Minimum sample size for synoptic weather type classification. Application to winter period data recorded on the catalan coast (North-East Spain). International journal of climatology, 14(9), 1051-1060.

Lana X, Martínez MD, Serra C, Burgueno A. (2004): Spatial and temporal variability of the daily rainfall regime for Catalonia (NE Spain), 1950–2000. International Journal of Climatology 24(5): 613–641.

Lana,X, Burgueño,A., Martínez,M.D., Serra,C. (2009): Una revisión de los análisis estadísticos de las precipitaciones diarias y mensuales en Cataluña. Tethys num. 6, pag. 15-30.

Llasat, M.C., (1987): Episodios de lluvias copiosas en Cataluña: génesis, evolución y factores coadyuvantes'. Tesis Doctoral, Publicacions de la Universitat de Barcelona, 2, 424-448 pp.

Llop, J. i Alomar, G. (2012): Clasificación sinóptica automática de Jenkinson y Collison para los días de precipitación mayor o igual a 200 mm en la isla de Mallorca. Territoris, 8, pp. 143-152. Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears, Palma.

Losleben, M., N. Pepin, S. Pedrick. (2000): Relationships of precipitation chemistry, atmospheric circulation, and elevation at two sites on the Colorado Front Range. Atmospheric Environment, 34, 1723-1737.

Lund, I. A. (1963): Map-pattern classification by statistical methods. Journal of Applied Meteorology, 2(1), 56-65.

Martín-Vide, J, (1980): Persistencia de los días con o sin precipitación en Barcelona. Revista de geografía, ISSN 0048-7708, Nº 14, 1980 , págs. 39-58

Martín-Vide, J. (1981): Cantidades diarias y análisis markoviano de las precipitaciones en el litoral mediterráneo sur de la Península Ibérica. Paralelo 37º, 5, 97-114.

Martín-Vide, J. (1984): Análisis de la irregularidad de la precipitación diaria en el litoral mediterráneo de la Península Ibérica. Revista de Geofísica, 40(1), 101-106.

Martín-Vide, J. (1987): Característiques climatològiques de la precipitació en la franja costera mediterrània de la Península Ibèrica. Tesi Doctoral. Institut Cartogràfic de Catalunya, Generalitat de Catalunya, Barcelona.

Martín-Vide, F. J. (1989): Precipitaciones torrenciales en España. Norba. Revista de geografía, (6), 63-70.

Martín-Vide, J. (1990): Sequera, aridesa, canvi climàtic i necessitats hídriques a Catalunya: Catalunya presenta un complex mosaic de ritmes pluviomètrics estacionals. Espais: revista del Departament de Política Territorial i Obres Públiques, (26), 22-29.

Martín-Vide, Javier (1991): Mapas del tiempo: fundamentos, interpretación e imágenes de satélite. Barcelona: oikos-tau, 1990. 170 pp

Martín-Vide, J. i Llasat, M.C. (1991): Las lluvias de barro: análisis estadístico de una serie de 43 años en Barcelona. Geographicalia, (28), 161-174.

Martín-Vide, J. (1992): El Clima. Geografia General dels Països Catalans. Enciclopèdia Catalana, Barcelona.

Martín-Vide, J.(2001): Limitations of an objective weather-typing system for the Iberian peninsula. Weather, 56, 7, 248-250, Royal Meteorological Society.

Martín-Vide, J. i Olcina, J. (2001): Climas y tiempos de España Madrid Alianza Editorial. 258 pgs.

Martín-Vide, J. i Fernández-Belmonte, D. (2001): El índice NAO y la precipitación mensual en la España peninsular. Investigaciones geográficas, nº 26, 2001; pp. 41-58.

Martín-Vide, J. (2002a): Ensayo sobre la Oscilación del Mediterráneo Occidental y su influencia en la pluviometría del este de España. El Agua y el clima, publicaciones de la AEC, 35-42.

Martín-Vide, J. (2002b): Aplicación de la clasificación sinóptica automática de Jenkinson y Collison a días de precipitación torrencial en el este de España. La información climática como herramienta de gestión ambiental, 123-127.

Martín-Vide, J. (2004): Spatial distribution of daily precipitation concentration index in Peninsular Spain. International Journal of Climatology, 24, 959-971.

Martín-Vide, F. J. i Plana Castellví, J. A. (2005). Consideraciones geográficas e históricas sobre el agua y su gestión. *Medi ambient: Tecnología i cultura*, (36), 3.

Martín-Vide, J., i López-Bustins, J. A. (2006): The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 26(11), 1455-1475.

Martín-Vide, F. J., Lorenzo, A. S., Nadal, J. M. R., López-Bustins, J. A., Cascales, M. J. C., Peña, J. C., i Cernocky, T. (2008a): Catálogo de patrones sinópticos asociados a precipitaciones torrenciales en Cataluña. In *Riesgos climáticos y cambio global en el Mediterráneo español* (pp. 39-56). Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo.

Martín-Vide, J., Sánchez Lorenzo, A., López-Bustins, J. A., Cordobilla, M. J., García, M. A., i Raso Nadal, J. M. (2008b): Torrential rainfall in northeast of the Iberian Peninsula: synoptic patterns and WeMO influence. *Advances in Science and Research*, 2008, vol. 2, p. 99-105.

Martín Vide, J., Moreno García, M. C., Artola, V. M., & Cordobilla, M. J. (2016). Los tipos sinópticos de Jenkinson & Collison y la intensidad de la isla de calor barcelonesa. In *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio* (pp. 565-574).

Martínez, M. D., Lana, X., Burgueño, A., i Serra, C. (2007): Spatial and temporal daily rainfall regime in Catalonia (NE Spain) derived from four precipitation indices, years 1950–2000. *International journal of climatology*, 27(1), 123-138

Mestas-Nunez, A. M. (2000): Orthogonality properties of rotated empirical modes. *International Journal of Climatology*, 20(12), 1509-1516.

Mercader, J., Codina, B., Sairouni, A., i Cunillera, J. (2010). Results of the meteorological model WRF-ARW over Catalonia, using different parameterizations of convection and cloud microphysics. *Journal of Weather and Climate of the Western Mediterranean*, 7, 75-86.

Meseguer-Ruiz, O., Olcina Cantos, J., Sarricolea, P., i Martín-Vide, J. (2016). The temporal fractality of precipitation in mainland Spain and the Balearic Islands and its relation to other precipitation variability indices. *International Journal of Climatology*.

Michaelides, S. C., Liassidou, F., i Schizas, C. N. (2007): Synoptic classification and establishment of analogues with artificial neural networks. In *Fog and Boundary Layer Clouds: Fog Visibility and Forecasting* (pp. 1347-1364). Birkhäuser Basel.

Michaelides, S. C., Pattichis, C. S., i Kleovoulou, G. (2001): Classification of rainfall variability by using artificial neural networks. *International Journal of Climatology*, 21(11), 1401-1414.

Miró, J.R. (2003): Assimilació de dades de radar en models de mesoscala. Treball de DEA. Dirigit per Bernat Codina. Departament d'Astronomia i Meteorologia. Universitat de Barcelona.

Morata A, Martín ML, Luna MY, Valero F. (2006): Self-similarity patterns of precipitation in the Iberian Peninsula. *Theoretical and Applied Climatology* 85: 41–59.

Ninyerola, M., Pons, X., & Roure, J. M. (2000). A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *International Journal of Climatology*, 20(14), 1823-1841.

Nuissier, O., Joly, B., Joly, A., Ducrocq, V., and Arbogast, P. (2011): A statistical downscaling to identify the large-scale circulation patterns associated with heavy precipitation events over southern France, *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 137, 1812–1827, doi:10.1002/qj.866.

Ortego, M. I., Gibergans Báguena, J., Tolosana-Delgado, R., Egozcue, J. J., i Llasat, M. C. (2010): Bayesian trend analysis for daily rainfall series of Barcelona. *Advances in Geosciences*, 26(26), 71-76.

Ortego, M. I., Egozcue, J. J., i Tolosana-Delgado, R. (2014): Modeling Extremal Dependence Using Copulas. Application to Rainfall Data. In *Mathematics of Planet Earth* (pp. 53-56). Springer Berlin Heidelberg.

Pearson, K. (1895). Note on regression and inheritance in the case of two parents. *Proceedings of the Royal Society of London*, 58, 240-242.

Pedelaborde, R (1957): *Le climat du bassin parisien*. Edit Genin. Paris

Peña, J. C., Aran, M., Pérez-Zanón, N., Casas-Castillo, M. C., Rodríguez-Solà, R., i Redaño, A. (2015). Análisis de las situaciones sinópticas correspondientes a episodios de lluvia severa en Barcelona. In XXXV Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física. Libro de Resúmenes (pp. 450-451). Real Sociedad Española de Física (RSEF).

Peña-Angulo, D., Trigo, R. M., Cortesi, N., i González-Hidalgo, J. C. (2016). The influence of weather types on the monthly average maximum and minimum temperatures in the Iberian Peninsula. *Atmospheric Research*, 178, 217-230.

Pepin, N., i Kidd, D. (2006). Spatial temperature variation in the Eastern Pyrenees. *Weather*, 61(11), 300-310.

Pepin, N., i Losleben, M. (2002). Climate change in the Colorado Rocky Mountains: free air versus surface temperature trends. *International journal of climatology*, 22(3), 311-329.

Pepin, N. C., Schaefer, M. K., i Riddey, L. D. (2009). Quantification of the cold-air pool in Kevo Valley, Finnish Lapland. *Weather*, 64(3), 60-67.

Pérez-Zanón, N., Casas-Castillo, M. C., Rodríguez-Solà, R., Peña, J. C., Rius, A., Solé, J. G., i Redaño, Á. (2016). Analysis of extreme rainfall in the Ebre Observatory (Spain). *Theoretical and Applied Climatology*, 124(3-4), 935-944.

Periago, M. C., Lana, X., Serra, C., i Mills, G. F. (1991): Precipitation regionalization: An application using a meteorological network in catalonia (Ne Spain). *International Journal of Climatology*, 11(5), 529-543.

Philipp, A., Della-Marta, P. M., Jacobeit, J., Fereday, D. R., Jones, P. D., Moberg, A., i Wanner, H. (2007): Long-term variability of daily North Atlantic-European pressure patterns since 1850 classified by simulated annealing clustering. *Journal of Climate*, 20(16), 4065-4095.

Philipp, A., Bartholy, J., Beck, C., Erpicum, M., Esteban, P., Fettweis, X., ... i Krennert, T. (2010): Cost733cat—A database of weather and circulation type classifications. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(9), 360-373.

Preisendorfer, R. W., (1988): *Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography*, posthumously compiled and edited by C. D. Mobley. *Developments in Atmospheric Science*, 17, Elsevier.

Ramis, C.; Romero, R.; Alonso, S.; Guijarro, J. A.; Sumner, G. (1999): Distribución espacial y temporal de la precipitación diaria en la zona mediterránea española, I Congreso de la AEC: La Climatología española en los albores del siglo XXI. Book chapter. review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography* 21, 530-548.

Ramis, C., Homar, V., Amengual, A., Romero, R., i Alonso Oroza, S. (2013): Daily precipitation records over mainland Spain and the Balearic Islands.

Ramos, A. M., Cortesi, N., i Trigo, R. M. (2014): Circulation weather types and spatial variability of daily precipitation in the Iberian Peninsula. *Frontiers in Earth Science*, 2, 25.

Redaño, A., i Lorente, J. (1990): Analysis of instantaneous rainfall rate during flash floods in Barcelona. *Weather*, 45(6), 215-222.

Redaño, A., i Lorente, J. (1993): Modelling the spatial and temporal distribution of rainfall intensity at local scale. *Theoretical and applied climatology*, 47(1), 25-32.

Remón, X. (2005): Estudio de la relación entre la situación meteorológica a escala sinóptica y la contaminación atmosférica a escala regional: Aplicación al ozono troposférico en Catalunya. Tesis doctoral.

Richman, M. B. (1986): Rotation of principal components. *Journal of climatology*, 6(3), 293-335.

Rodríguez-Puebla, C, Encinas A, Nieto S, Garmendia J. (1998): Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology* 18: 299–316.

Romero, R., Ramis, C., Alonso, S., Doswell III, C. A., i Stensrud, D. J. (1998): Mesoscale model simulations of three heavy precipitation events in the western Mediterranean region. *Monthly weather review*, 126(7), 1859-1881.

Romero, R., Ramis, C., Guijarro, J.A. (1999a): Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: an objective classification. *Int. J. Climatology*, 19, 95-112

Romero, R., Ramis, C., Guijarro, J.A. (1999b): Daily rainfall affinity areas in Mediterranean Spain. *Int. J. Climatology*, 19, 557-578.

Romero, R., Sumner, G., Ramis, C., and Genovés, A., (1999c): A classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the Spanish Mediterranean area. *Int. J. Climatol.*, 19, 765-785.

Sánchez-Diezma, R., Sempere-Torres, D., Bech, J., i Velasco, E. (2002). Development of a hydrometeorological flood warning system (EHIMI) based on radar data. In *Second European Conference on Radar Meteorology*, Delft, Netherlands.

Serra, C., Fernández-Mills, G., Periago, M. C., i Lana, X. (1996): Winter and autumn daily precipitation patterns in Catalonia, Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, 54(3-4), 175-186.

Serra, C., Fernández Mills, G., Periago, M. C., i Lana, X. (1998): Surface synoptic circulation and daily precipitation in Catalonia. *Theoretical and applied climatology*, 59(1), 29-49.

Serra, C., Fernández-Mills, G., Periago, M.C. and Lana, X. (1999): Winter synoptic weather types in Catalonia (NE Spain) and their linkage with minimum temperature anomalies. *Int. J. of Climatology* 19, 15, 1675-1695

Simmons, A. J., G. W. Branstator, and J. M. Wallace (1983): Barotropic 32 wave propagation, instability and atmospheric teleconnection patterns. *J. Atmos. Sci.*, 40, 1363-1392.

Soriano C., Fernández A., Martín-Vide, J. (2006): Objective synoptic classification combined with high resolution meteorological models for wind mesoscale studies. *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 91, pp. 165-181.

Spellman G. (2000): The application of an objective weather-typing system to the Iberian peninsula. *Weather* 55: 375–385.

Spellman, G. (2016). An assessment of the Jenkinson and Collison synoptic classification to a continental mid-latitude location. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-14.

Storch H von, Zwiers FW (1999): *Statistical analysis in climate research*. Cambridge University Press, pp 494.

Trapero i Bagué, L. (2014). Modelització de precipitacions intenses en zones d'orografia complexa: casos d'estudi al Pirineu Oriental. Tesi doctoral defensada per Laura Trapero el desembre del 2014.

Trigo, R.M. e DaCamara, C.C., (2000): Circulation Weather Types and their Influence on the Precipitation Regime in Portugal, *International Journal of Climatology* 20 (13), 1559-1581

Tveito, O. E. (2010): An assessment of circulation type classifications for precipitation distribution in Norway. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(9), 395-402.

Tveito, OE, Huth, R., Philipp, A., Post, P., Pasqui, M, Esteban, P., Beck, C., Demuzere, M., Prudhomme, C. (2016): COST Action 733 Harmonization and Application of Weather Type Classifications for European Regions. Final Scientific Report.

Uppala et al, (2006): The ERA-40 reanalysis. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society.*, 131, 2961-3012

van Bebber, W. J. (1898). Die Wettervorhersage: Eine gemeinverständliche praktische Anleitung zur Wettervorhersage auf Grundlage der Zeitungs-Wetterkarten und Zeitungs-Wetterberichte für alle Berufsarten. Im Auftrage der Direktion der Deutschen Seewarte bearbeitet. Enke.

Von Mises, R. (1936). Statistik und Wahrheit. Vienna: Springer-Verlag.

Vidal, J. M., i Potau, M. (1951). Intensidad de las lluvias en Barcelona. Ministerio del Aire, Servicio Meteorológico Nacional, Sección de Climatología, Série D, num. 11

Wilby, R.L. and Wigley, T.M.L. (1997): Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. Progress in Physical Geography 21, 530-548.

Yarnal, B. (1984): A procedure for the classification of synoptic weather maps from gridded atmospheric pressure surface data. Computers i Geosciences,10(4), 397-410.

Yarnal, B. (1993): Synoptic Climatology in Environmental Analysis. Belhaven Press, London.

Zimmerschied, W. (1959): Acerca de las situaciones típicas de tiempo en la Península Ibérica. Madrid, Servicio Meteorológico Nacional.