

F. Javier Sigró Rodríguez

**VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE LA
TEMPERATURA DEL AIRE EN CATALUÑA**

Tesis de Doctorado

Departament d'Història, Història de l'Art i Geografia
Universitat Rovira i Virgili
Tarragona, Abril de 2004

Departament d'Història, Història de l'Art i Geografia
Universitat Rovira i Virgili
Tarragona, Abril de 2004

VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE LA TEMPERATURA DEL AIRE EN CATALUÑA

Memoria presentada por
F. JAVIER SIGRÓ RODRÍGUEZ
Para optar al título de Doctor

La Directora de la Tesis

Manuela C. Brunet Índia
Profesora Titular Geografía Física
Universitat Rovira i Virgili

Índice

Índice	i
Índice de figuras	v
Índice de tablas	xi
Abreviaturas	xiv
Introducción	1
1 El Análisis de Componentes Principales y el Análisis de Conglomerados y su aplicación al estudio de la variabilidad de la temperatura en Cataluña	21
1.1 Características del Análisis de Componentes Principales	24
1.2 Rotación de Componentes Principales	27
1.3 Principales características del análisis de conglomerados	29
1.4 Aplicación del PCA y el CA al estudio de la variabilidad de la temperatura en Cataluña.	32
1.5. Principales características del relieve en el territorio catalán	40
1.6. La base de datos homogeneizados de la temperatura del aire en Cataluña: NESAT.	43
1.7. Distribución espacial, evolución y tendencias generales de la temperatura en Cataluña	46
2 El comportamiento espacio-temporal de la temperatura del aire en Cataluña	53
2.1 La variabilidad interanual de la temperatura del aire en Cataluña	54
2.2 Variaciones espaciales y temporales de la temperatura del aire en Cataluña a escala mensual	61
2.2.1. <i>Patrones intranuales de los componentes principales rotados extraídos de los promedios mensuales de la temperatura media diaria</i>	63

2.2.2. <i>Evolución intranual de los componentes principales rotados extraídos de los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria</i>	74
2.2.3. <i>Comportamiento intranual de los componentes principales rotados extraídos de los promedios mensuales de la temperatura mínima diaria</i>	90
2.3 Evaluación de la influencia del Mediterráneo Occidental sobre la temperatura del aire en Cataluña	104
2.4 Síntesis del capítulo	109
3 Los patrones espaciales de la temperatura del aire en Cataluña definidos tras el análisis de conglomerados . .	113
3.1 Conglomerados definidos para cada uno de los tres parámetros de la temperatura diaria.	114
3.1.1 <i>Resultados del análisis de conglomerados sobre los componentes extraídos del promedio mensual de la temperatura media diaria</i>	115
3.1.2 <i>Resultados del análisis de conglomerados sobre los componentes extraídos del promedio mensual de temperatura máxima diaria</i>	122
3.1.3 <i>Resultados del análisis de conglomerados sobre los componentes extraídos del promedio mensual de la temperatura mínima diaria</i>	129
3.2 Descripción y análisis de los Patrones Espaciales deducidos del Análisis de Conglomerados aplicado a los promedios mensuales de las temperaturas diarias.	138
3.2.1 <i>Patrón Litoral</i>	138
3.2.2 <i>Patrón Noroccidental</i>	141
3.2.3 <i>Patrón de Depresión Occidental</i>	143
3.2.4 <i>Patrón de Montaña</i>	144
3.3 Diferencias estacionales y variaciones espacio-temporales de la temperatura del aire en Cataluña.	146
3.3.1 <i>Diferencias estacionales de los patrones espaciales de temperatura</i>	147
3.3.2 <i>Diferencias espacio-temporales entre los parámetros extremos de la temperatura diaria</i>	149
3.3.3 <i>El comportamiento de la Amplitud Térmica Diaria en los diferentes patrones espaciales</i>	152

3.4 Síntesis del capítulo	154
4 La influencia de los modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia sobre los patrones térmicos catalanes.	159
4.1 Descripción de los patrones teleconectivos examinados	163
4.1.1 <i>Oscilación del Atlántico Norte.</i>	165
4.1.2 <i>Patrón del Atlántico Este.</i>	167
4.1.3 <i>Patrón del Atlántico Este-Jet</i>	169
4.1.4 <i>Patrón del Pacífico Oeste</i>	169
4.1.5 <i>Patrón del Pacífico Este</i>	170
4.1.6 <i>Patrón del Pacífico Norte</i>	172
4.1.7 <i>Patrón del Pacífico/Norte América</i>	173
4.1.8 <i>Patrón del Atlántico Este/Rusia Occidental</i>	175
4.1.9 <i>Patrón de Escandinavia</i>	175
4.1.10 <i>Patrón Polar/Euroasiático</i>	176
4.1.11 <i>Patrón Tropical/Hemisferio Norte</i>	178
4.1.12 <i>Patrón de Transición del Pacífico</i>	178
4.1.13 <i>Patrón Asiático de Verano</i>	179
4.1.14 <i>Patrón Zonal Subtropical</i>	180
4.1.15 <i>Oscilación Austral</i>	180
4.2 Relación estadística entre los patrones espaciales de la temperatura del aire en Cataluña y los índices teleconectivos analizados	183
4.2.1 <i>Correlaciones con fases negativas y positivas de los índices teleconectivos</i>	185
4.2.2 <i>La influencia de los modos de variabilidad de baja frecuencia sobre la temperatura del aire en Cataluña</i>	187
4.3 El ciclo anual de los modos acoplados de variabilidad térmica en Cataluña	199
4.3.1 <i>Modos de variabilidad atmosférica relacionados con las variaciones térmicas intranuales en el patrón Litoral</i>	203
4.3.2 <i>Modos de variabilidad atmosférica relacionados con las variaciones térmicas intranuales del patrón Noroccidental</i>	207

4.3.3 <i>Modos de variabilidad atmosférica relacionados con las variaciones térmicas intranuales en el patrón de Montaña .</i>	210
4.3.4 <i>Modos de variabilidad atmosférica relacionados con las variaciones térmicas intranuales en el patrón de Depresión Occidental</i>	212
4.4 Síntesis del capítulo	214
5 Conclusiones	221
6 Bibliografía	231
Apéndices	247
APÉNDICE I. Resultados del Análisis de Componentes Principales sin rotación Varimax	249
APÉNDICE II. Series regionales correspondientes a los promedios mensuales de la temperatura superficial del aire media, máxima y mínima diarias en el conjunto del territorio catalán	261
APÉNDICE III. Evolución de la temperatura superficial en el Mediterráneo Occidental	267
APÉNDICE IV. Dendrogramas	271
APÉNDICE V. Correlaciones entre los patrones espaciales de la temperatura superficial del aire en Cataluña y los índices teleconectivos	275

Índice de figuras

Figura A. Imagen de satélite coloreada de la cuenca del Mediterráneo y zonas cercanas. Fuente: Proyecto GLOBE, National Geophysical Data Center, NOAA.	7
Figura B. Campo de presión a nivel del mar típico de una situación: a) de advección del suroeste; b) advección del oeste. Fuente: Maheras et al., 1999.	9
Figura C. Campo de presión a nivel del mar típico de una situación: a) de advección del norte; b) advección del noreste; c) advección del este. Fuente: Maheras et al., 1999.	10
Figura D. Campo de presión a nivel del mar típico de una situación de advección del noreste. Fuente: Maheras et al., 1999.	11
Figura 1.1. Dendrograma resultante de la aplicación del Análisis de Conglomerados a un conjunto de variables	33
Figura 1.2. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales determinados para los promedios anuales de la temperatura media diaria, la temperatura máxima diaria y la temperatura mínima diaria.	36
Figura 1.3. Principales unidades de relieve diferenciadas en el territorio catalán	41
Figura 1.4. Distribución en el territorio catalán de los observatorios meteorológicos utilizados en este trabajo	47
Figura 1.5. Distribución de los promedios anuales de temperatura media diaria en Cataluña obtenidos a partir de los datos de las estaciones integradas en la NESATv2	48
Figura 1.6. Distribución sobre el territorio catalán de los promedios anuales de la temperatura máxima diaria (izquierda) y de la temperatura mínima diaria (derecha) de los observatorios incluidos en la base NESATv2	48
Figura 1.7. Evolución de los promedios anuales correspondientes a la temperatura media, máxima y mínima diarias en Cataluña, 1950 – 1998	49
Figura 1.8. Distribución espacial de los promedios estacionales de temperatura media diaria en Cataluña obtenidos a partir de los datos de las estaciones integradas en la NESATv2	50
Figura 1.9. Evolución de los promedios estacionales correspondientes a la temperatura media diaria en Cataluña, 1950 – 1998	51

Figura 2.1. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados de la temperatura media anual (izquierda) y series temporales normalizadas de los mismos componentes (derecha)	56
Figura 2.2. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados de la temperatura máxima anual (izquierda) y serie temporal normalizada del mismo componente (derecha)	58
Figura 2.3. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados de la temperatura mínima anual (izquierda) y serie temporal normalizada del mismo componente (derecha)	60
Figura 2.4. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura media diaria del mes de enero (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	65
Figura 2.5. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura media diaria del mes de marzo (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	66
Figura 2.6. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura media diaria del mes de abril (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	67
Figura 2.7. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura media diaria del mes de julio (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	68
Figura 2.8. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura media diaria del mes de agosto (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	70
Figura 2.9. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura media diaria del mes de noviembre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	71
Figura 2.10. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura media diaria del mes de diciembre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	73
Figura 2.11. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de enero (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	76
Figura 2.12. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de febrero (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	78

Figura 2.13. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de marzo (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	79
Figura 2.14. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de abril (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	80
Figura 2.15. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de junio (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	82
Figura 2.16. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de julio (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	83
Figura 2.17. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de agosto (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	84
Figura 2.18. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de septiembre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	85
Figura 2.19. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de noviembre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	87
Figura 2.20. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de diciembre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	88
Figura 2.21. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de enero (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	91
Figura 2.22. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de marzo (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	93
Figura 2.23. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de abril (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	94

Figura 2.24. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de mayo (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	96
Figura 2.25. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de junio (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	97
Figura 2.26. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de julio (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	98
Figura 2.27. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de agosto (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha).	99
Figura 2.28. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de octubre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha)	100
Figura 2.29. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de noviembre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha)	102
Figura 2.30. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de diciembre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha)	103
Figura 3.1. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMED1 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha). Las columnas representan los valores del componente	117
Figura 3.2. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMED3 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha).	118
Figura 3.3. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMED2 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha).	120
Figura 3.4. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMED4 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha).	121
Figura 3.5. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMAX3 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha).	123

Figura 3.6. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMAX4 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha)	125
Figura 3.7. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMAX2 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha)	128
Figura 3.8. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMAX1 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha)	129
Figura 3.9. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMAX5 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha)	130
Figura 3.10. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMIN1 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha)	131
Figura 3.11. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMIN3 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha)	133
Figura 3.12. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMIN4 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha)	135
Figura 3.13. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMIN2 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha)	137
Figura 4.1. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva de la NAO.	166
Figura 4.2. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del EA	168
Figura 4.3. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del EA-JET	170
Figura 4.4. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del WP	171
Figura 4.5. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del EP	172
Figura 4.6. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del NP	173
Figura 4.7. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del PNA	174
Figura 4.8. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del EA/WR	176

Figura 4.9. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del SCA	177
Figura 4.10. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del POL	178
Figura 4.11. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del TNH	179
Figura 4.12. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del PT	180
Figura 4.13. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del ASU	181
Figura 4.14. Esquema de la circulación de Walker en condiciones normales . . .	181
Figura 4.15. Esquema de la circulación de Walker en condiciones El Niño . . .	182

Índice de tablas

Tabla 1.1. Modos operacionales básicos en que puede especificarse el PCA en estudios climáticos	27
Tabla 1.2. Porcentaje de la varianza de las series explicado por los componentes principales y los componentes principales rotados para cada mes y promedio mensual de la temperatura diaria	38
Tabla 1.3. Nombre y datos geográficos de los observatorios seleccionados para el análisis	46
Tabla 1.4. Tendencias anuales e incrementos totales de los promedios anuales de temperatura media máxima y mínima diaria en Cataluña para el periodo 1950-1998	50
Tabla 1.5. Tendencias estacionales e incrementos totales de los promedios anuales de temperatura media máxima y mínima diaria en Cataluña para el periodo 1950-1998	52
Tabla 2.1. Valor de la pendiente de las tendencias totales de las series temporales normalizadas de los componentes principales rotados de los promedios anuales de las temperaturas diarias	57
Tabla 2.2. Numero de componentes principales aislado para los tres promedios mensuales de temperatura en cada uno de los meses del año	62
Tabla 2.3. Tendencias anuales de los RPCs extraídos de los promedios mensuales de temperatura media diaria	64
Tabla 2.4. Tendencias anuales de los RPCs extraídos de los promedios mensuales de temperatura máxima diaria	75
Tabla 2.5. Tendencias anuales de los RPCs extraídos de los promedios mensuales de temperatura mínima diaria	92
Tabla 2.6. Coeficientes de correlación entre los diferentes RPCs extraídos de los promedios mensuales de la temperatura diaria y las series anuales de la temperatura superficial del mar del HadSST1	107
Tabla 2.7. Coeficientes de correlación entre los diferentes RPCs extraídos de los promedios mensuales de la temperatura diaria y las series anuales de la temperatura superficial del mar de L'Estatit	108
Tabla 3.1. Tendencias anuales de los componentes principales rotados integrados en los conglomerados determinados para los promedios mensuales de temperatura media diaria	116

Tabla 3.2. Tendencias anuales de las series regionales catalanas de los promedios mensuales de la temperatura media diaria para aquellos meses representados en los COMED	119
Tabla 3.3. Tendencias anuales de los componentes principales rotados integrados en los conglomerados determinados para los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria	127
Tabla 3.4. Tendencias anuales de las series regionales catalanas de los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria para aquellos meses representados en los COMAX	127
Tabla 3.5. Tendencias anuales de los componentes principales rotados integrados en los conglomerados determinados para los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria	131
Tabla 3.6. Tendencias anuales de las series regionales catalanas de los promedios mensuales de la temperatura mínima diaria para aquellos meses representados en los COMIN	134
Tabla 3.7. Componentes principales rotados que forman parte de los diversos patrones espaciales en cada uno de los meses del año	139
Tabla 3.8. Tendencias anuales de la ATD en los diferentes patrones espaciales para aquellos meses en que existen componentes de los promedios de temperatura máxima y mínima	154
Tabla 4.1. Meses en que se distinguen los diferentes patrones teleconectivos. Los números indican el componente rotado en que aparecen para cada mes. Los espacios sin número indican los meses en que el patrón no se ha diferenciado en el análisis	165
Tabla 4.2. Numero de componentes, número de índices teleconectivos y total de correlaciones obtenidas para cada mes. Se incluye el número de coeficientes de correlaciones significativos al 95 % y al 99%, y el porcentaje que representan respecto el total	184
Tabla 4.3. Número de correlaciones obtenidas para los tres parámetros de la temperatura con niveles de significación del 95 % y el 99 %	184
Tabla 4.4. Índices teleconectivos que presentan mayor número de correlaciones significativas con las series mensuales de los componentes de temperatura	185
Tabla 4.5. Número de correlaciones significativas al 95 % que presentan los diferentes índices teleconectivos al correlacionarlos con los componentes del mismo mes, y con uno y dos meses de desfase	186
Tabla 4.6. Número de correlaciones significativas obtenidas para los tres parámetros de la temperatura con los valores positivos y negativos de los índices teleconectivos, para los niveles de significación del 95 % y el 99 %	187
Tabla 4.7. Índices teleconectivos cuyas series mensuales de valores positivos y negativos presentan mayor número de correlaciones significativas (al 95%) con las series mensuales de los componentes de temperatura	187

Tabla 4.8. Índices teleconectivos que presentan mejor correlación con los diferentes patrones espaciales en cada uno de los meses. Se han incluido únicamente aquellos índices que presentan correlaciones significativas con todos los componentes del patrón espacial.	189
Tabla 4.9. Índices teleconectivos con relación estadística significativa al 95 % con los componentes de temperatura integrados en el patrón Litoral	204
Tabla 4.10. Índices teleconectivos con relación estadística significativa al 95 % con los componentes de temperatura integrados en el patrón Noroccidental.	209
Tabla 4.11. Índices teleconectivos con relación estadística significativa al 95 % con los componentes de temperatura integrados en el patrón de Montaña.	211
Tabla 4.12. Índices teleconectivos con relación estadística significativa al 95 % con los componentes de temperatura integrados en el patrón de Depresión Occidental	213

Abreviaturas

ARM	Análisis de Regresión Múltiple
ASU	Patrón Asiático de Verano
ATD	Amplitud Térmica Diaria
CA	Análisis de Conglomerados
CICYT	Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología
CRU	<i>Climatic Research Unit</i>
EA	Patrón del Atlántico Este
EA/WR	Patrón del Atlántico Este/Rusia Occidental
EA-JET	Patrón Atlántico Este-Jet
ENOA	El Niño- Oscilación Austral
ENSO	<i>El Niño- Southern Oscillation</i>
EOF	Funciones Ortogonales Empíricas
EP	Patrón del Pacífico Este
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
NAO	Oscilación del Atlántico Norte
NAOJON	Índice de la Oscilación del Atlántico Norte de P. D. Jones
NCEP	<i>National Center for Environmental Prediction</i>
NESAT	<i>Northeastern Spain Adjusted Temperature</i>
NP	Patrón del Pacífico Norte
PC	Componentes Principales
PCA	Análisis de Componentes Principales
PNA	Patrón Pacífico/Norte América
POL	Patrón Polar/Euroasiático
PT	Patrón de Transición del Pacífico
QBO	Oscilación Cuasi-Bienal
RPC	Componentes Principales Rotados
RPCA	Análisis de Componentes Principales con rotación Varimax
SCA	Patrón de Escandinavia
SNHT	<i>Standard Normal Homogeneity Test</i>
SOI	Índice de la Oscilación Austral
SST	<i>Sea Surface Temperature</i>
SZ	Patrón Zonal Subtropical
TNH	Patrón Tropical/Hemisferio Norte
WP	Patrón del Pacífico Oeste

Introducción

El tiempo atmosférico de cualquier ubicación geográfica hace referencia a las condiciones de diversas variables atmosféricas en un breve periodo de tiempo. El clima, sin embargo, representa las condiciones atmosféricas en un periodo de tiempo suficientemente largo, refiriéndose habitualmente al estado medio de esas variables atmosféricas.

La Organización de las Naciones Unidas (UN, 1997) define el clima de un lugar o región como “el conjunto de los elementos atmosféricos y sus variaciones en un periodo dilatado de tiempo”. Este periodo clásico propuesto por la Organización Meteorológica Mundial es de 30 años.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2001a) en su definición de clima indica que es “la descripción estadística en términos de promedios y variabilidad de diversas variables, normalmente variables de superficie como la temperatura, la precipitación y el viento, por periodos de tiempo que abarcan desde meses hasta millones de años”. El clima varía en el espacio en función de multitud de factores de carácter geográfico, tales como la latitud, la distancia al mar, la vegetación y la presencia o ausencia de sistemas orográficos, entre otros. Y varía en el tiempo, de estación en estación, de año en año y en escalas temporales mayores.

El concepto de clima ha evolucionado en las últimas décadas a una concepción sistémica. El clima se define como “un conjunto estadístico de estados del sistema atmósfera-océano-tierra durante un periodo de varias décadas” (Monin, 1986). Actualmente, el sistema climático se entiende como un sistema de cinco componentes interrelacionados de forma dinámica: atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera (Peixoto y Oort, 1992). El clima depende no sólo de las variables atmosféricas, sino también del conjunto de interacciones que se producen entre los componentes de este sistema climático.

La variabilidad del clima en el tiempo es una característica derivada del carácter dinámico del sistema climático. Estas variaciones, que pueden expresarse como diferencias en los estadísticos de los elementos climáticos calculados para diferentes periodos (Geer, 1996), obedecen a multitud de factores, que se dividen en dos grandes grupos.

Un primer grupo lo constituyen los denominados factores de forzamiento externo. Entre éstos los hay de carácter astronómico, que incluyen cambios en:

- la intensidad de la radiación solar,
- los parámetros orbitales de la Tierra (excentricidad de la órbita, oscilación del eje y oblicuidad de la elíptica),

y factores de forzamiento de carácter terrestre, entre los que se destacan:

- variaciones en la composición atmosférica, derivadas de las erupciones volcánicas y la actividad antrópica,
- variaciones en la superficie terrestre derivados de modificaciones de los casquetes polares y cambios en el uso del suelo,
- cambios a largo plazo debidos a factores tectónicos, como la deriva continental y procesos orogénicos.

Por otro lado están los factores de forzamiento interno, que se relacionan con la multitud de interrelaciones que se producen entre los diferentes subsistemas que configuran el sistema climático, aunque los tiempos de respuesta varían extraordinariamente de unos a otros, desde minutos u horas para la capa límite atmosférica a siglos o milenios para la criosfera. Si bien estos subsistemas tienen profundas diferencias en su composición, propiedades físicas y químicas y estructura, están todos conectados mediante flujos de masa y de energía, de forma que todos ellos pueden considerarse abiertos.

Algunas de estas relaciones son conocidas. La atmósfera y océano están estrechamente acoplados e intercambian, entre otros, vapor de agua y calor, la precipitación influye sobre la salinidad y la circulación termohalina. Se produce un importante intercambio de gases, controlando el océano entre

otros el balance de dióxido de carbono, con fuentes de este gas en las aguas superficiales ecuatoriales y sumideros en las frías aguas polares. Otros ejemplos son: la influencia de la biosfera en las concentraciones de carbono y vapor de agua atmosférico, así como en el albedo de la superficie; la influencia que sobre el albedo ejercen también las variaciones producidas en la extensión de la criosfera, y el efecto que los hielos ejercen sobre el intercambio atmósfera – océano.

Sin embargo, estas son solo algunas de la gran cantidad de complejas interacciones que se producen, muchas de las cuales son conocidas de forma somera o incluso desconocidas. Peixoto y Oort (1992) caracterizan la variabilidad climática como resultado de complejas interacciones de forzamiento y variaciones libres debidas a inestabilidades internas y retroalimentaciones que se producen en el sistema climático, determinado por una alta no-linealidad. Esta interactividad y la naturaleza no lineal de las inestabilidades y retroalimentaciones del sistema climático dificultan extraordinariamente la obtención de interpretaciones sencillas de las causas y efectos.

La compleja evolución temporal de las variables climáticas es resultado de la superposición de diversas señales que pueden descomponerse para su análisis en diversos tipos (Wallace, 1996): fenómenos periódicos, cuya máxima expresión corresponde a la oscilación anual en intensidad y distribución latitudinal de la radiación solar entrante, y fenómenos cuasi periódicos, como es el caso de la Oscilación Cuasi-Bienal (QBO), con ciclos que oscilan entre los dos y tres años; variabilidad aperiódica y aleatoria, como en la evolución del fenómeno El Niño-Oscilación Austral (ENSO) en escalas de decenas de años o siglos; tendencias decadales y seculares, presentes en muchas variables climáticas, como la temperatura y la concentración de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico; y eventos extraordinarios, caso de los valores extremos.

La temperatura, indicador por antonomasia del estado del sistema climático, ha experimentado enormes variaciones a lo largo de la existencia de nuestro planeta, presentando derivas que han determinado vastos cambios

del clima global, siendo los más característicos la alternancia de periodos glaciares e interglaciares.

A finales del siglo XX se han realizado diversos trabajos de reconstrucción de la evolución térmica para el periodo que comprende los últimos 1000 años, mediante diversas técnicas que engloban observaciones instrumentales e información procedente de fuentes de datos indirectas, comúnmente denominadas *proxy data*. Estas últimas abarcan datos de procedencia muy diversa, algunas de las cuales son: dendroclimatológicos obtenidos a partir de la anchura y densidad de los anillos de crecimiento de los árboles; información proporcionada por la acumulación y composición isotópica de los estratos en testigos de hielo; crecimiento, concentraciones de isótopos e índices de iones metálicos en los bancos coralinos; análisis de sedimentos lacustres; y fuentes documentales históricas.

Para el Hemisferio Norte, que es el que presenta mayor densidad de información, algunos de estos estudios de reconstrucción térmica del último milenio son los realizados a escala anual por Mann *et al.*, (1999) y Crowley y Lowery (2000), así como los de Jones *et al.*, (1998), y Brifa *et al.*, (2000), estos dos últimos centrados en los meses de verano. Aunque con divergencias en ciertos aspectos de su evolución, durante el periodo preinstrumental estas series indican la existencia de un subperiodo calido entre los siglos XI y XIV, centrado básicamente en las áreas circundantes al Atlántico Norte.

Un subperiodo frío entre los siglos XV y el XIX se identifica también en estas reconstrucciones, aunque parece que no existe una sincronización global, ya que se detectan numerosas variaciones espaciales y temporales. A escala hemisférica se reduce a un ligero enfriamiento de en torno a 1° C respecto los niveles del siglo XX. En la región del Atlántico Norte este descenso térmico parece ligado a alteraciones en los patrones de circulación atmosférica (O'Brien *et al.*, 1995), de forma que los inusualmente fríos y secos inviernos identificados en Europa Central durante parte del siglo XVII aparecen asociados con un incremento en la frecuencia de flujos continentales de componente noreste (Wanner *et al.*, 1995) y relacionados

con un fase negativa de la Oscilación del Atlántico Norte (Luterbacher *et al.*, 1999). El enfriamiento durante el siglo XIX, en torno a $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a escala hemisférica, esta asociado con episodios fríos en Norteamérica, con algunas décadas con promedios que recogen disminuciones de alrededor de $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Mann *et al.*, 1998).

Sin embargo, el hecho más significativo en estas reconstrucciones térmicas lo constituye el incremento de temperatura observado durante el siglo XX, tanto por su magnitud como por su duración, que no tienen precedentes en ninguno de los análisis antes mencionados.

La evolución de la temperatura media desde mediados del siglo XIX, a escala global y hemisférica, ha sido objeto de extensos estudios, tanto sobre las áreas continentales (Jones *et al.*, 1986, 1999, 2001b; Peterson *et al.*, 1998; Hansen *et al.*, 1999), como la evolución térmica marina (Reynolds y Smith, 1994; Folland y Parker, 1995; Parker *et al.*, 1995; Kaplan *et al.*, 1998). El incremento térmico global que reflejan estos trabajos se sitúa en torno a $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ desde 1850 hasta la actualidad, y se produce básicamente en dos periodos: uno entre 1920 a 1945; y un segundo periodo que abarca desde 1975 hasta la actualidad, de una intensidad mayor, con incrementos superiores en las áreas continentales que en las zonas oceánicas.

El periodo intermedio de 1946 – 1975 presenta una evolución diferenciada en los dos hemisferios. Mientras en el Hemisferio Norte se produce un descenso de los valores de la temperatura media, en el Hemisferio Sur las tendencias mantienen su carácter positivo.

Este incremento experimentado por la temperatura media del planeta durante las últimas décadas aparece reflejado en la evolución de los promedios de la temperatura máxima y mínima diaria, aunque con una intensidad diferente para ambas variables. La temperatura mínima ha experimentado tendencias mayores que la temperatura máxima en muchas regiones continentales del globo, que se traduce en una tendencia negativa de la Amplitud Térmica Diaria (ATD), cuantificada en torno a $-0.1\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{década}$ (Jones *et al.*, 1999; Easterling *et al.*, 1997; Karl *et al.*, 1994). No obstante, la evolución de los diferentes parámetros térmicos no es homogénea

espacialmente, con notables diferencias entre diferentes regiones, de modo que la disminución en la ATD que se produce a escala global tampoco presenta una distribución homogénea en el globo. En diversas áreas del planeta la ATD no presenta variaciones, debido a similares tendencias en las máximas y mínimas, o incluso presenta incrementos debido a tendencias mayores en las máximas respecto las mínimas.

Así, regiones con un decremento mucho menor o incluso con un incremento en la ATD corresponden a sectores del este de estados Unidos, el centro de Canadá, porciones de Europa, partes del sur de África, India, Nepal, Japón, Nueva Zelanda, Australia y la Antártida (Brunet *et al.*, 1999b, 2001b; Brunetti *et al.*, 2000; Brázdil *et al.*, 1996; Horton, 1995; Jones, 1995; Plummer *et al.*, 1995; Salinger, 1995; Karl *et al.*, 1993; Rupa Kumar *et al.*, 1994; Weber *et al.*, 1994).

Cataluña, el territorio que es objeto de estudio en este trabajo, se enmarca dentro de la región del Mediterráneo Occidental, que constituye, junto con el resto del área mediterránea, un sector de gran interés climático, dado que tanto el mar Mediterráneo como las tierras que lo circundan se encuentran en la zona de transición entre los cálidos y secos desiertos norteafricanos, situados bajos el cinturón de altas presiones subtropicales, y la húmeda Europa Central y Septentrional, afectada durante todo el año por la circulación del Oeste.

Esta condición de sector de transición de la cuenca mediterránea se traduce en una alta variabilidad climática, resultado de la ambivalencia entre la influencia de la circulación ciclónica del Oeste y la estabilización anticiclónica subtropical.

Sin embargo, aunque la circulación regional y la latitud constituyen dos de los principales factores que controlan las condiciones climáticas en el Mediterráneo, otros factores igualmente importantes son la presencia de la masa marítima del Mediterráneo, la orografía, y la existencia de las masas continentales europea y africana situadas respectivamente al norte y sur de este área (Figura A).

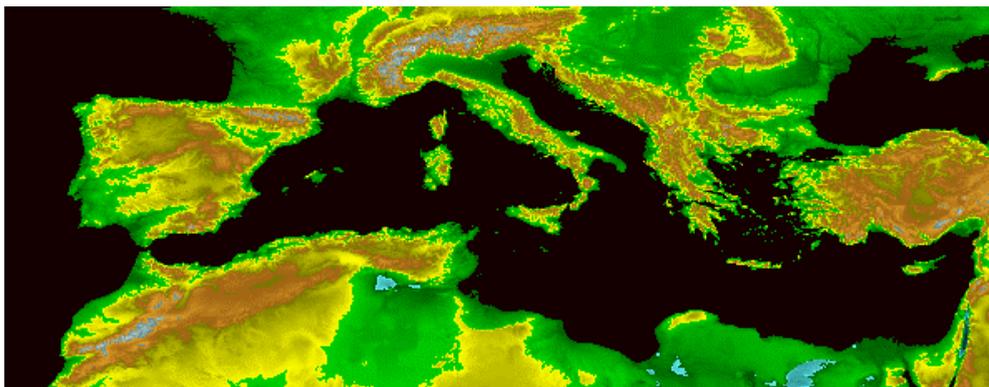


Figura A. Imagen de satélite coloreada de la cuenca del Mediterráneo y zonas cercanas. Fuente: Proyecto GLOBE, National Geophysical Data Center, NOAA.

El mar Mediterráneo cubre una extensión de 2.5 millones de Km², con una longitud de hasta 3700 Km., situada entre los continentes europeo, africano y asiático. Se trata de un mar prácticamente cerrado y situado en una zona cálida, que se traduce en una elevada insolación, limitado en gran parte de su extensión por relieves que en algunos casos presentan una considerable altitud. La conjunción de estos factores facilita el estancamiento de las masas de aire que penetran en esta cuenca y la desnaturalización de sus caracteres originarios.

Las tierras que rodean el Mediterráneo Occidental muestran en su práctica totalidad la existencia de relieves de altitud variable, que bloquean y canalizan las masas de aire procedentes del exterior y modifican sus características termohigrométricas. También sobre las advecciones procedentes del interior del mar Mediterráneo estos relieves ejercen un efecto claramente dinamizador, con un agravamiento de las situaciones de inestabilidad.

La presencia de las masas continentales europea y africana se traduce en influencias en el sentido meridiano, con influencias que se debilitan en el sentido de los paralelos. Durante el invierno el anticiclón de origen térmico situado sobre la parte central de Europa envía coladas de aire seco y frío, que ejercen una acción fundamental sobre los niveles térmicos. En cambio, el continente africano, ocupado normalmente por una masa de aire cálido afecta a la región mediterránea principalmente en verano, con advecciones de aire cálido y seco.

El factor termodinámico que constituye el eje director de la circulación atmosférica en las latitudes medias es la corriente en chorro. La cuenca del Mediterráneo Occidental, situada en la parte meridional de este dominio, solo es afectada directamente en determinadas ocasiones. El invierno es la estación en la cual la corriente en chorro sigue un trazado más meridional, situándose entre los 30° y los 45° de latitud, dirigiendo un flujo zonal que se caracteriza en superficie por el desplazamiento sucesivo de ondas ciclónicas. Éstas normalmente se introducen en el Mediterráneo a través a la mitad septentrional de la Península Ibérica, aunque no es raro que sigan la vía del Golfo de Cádiz, entrando por el sector suroccidental del área mediterránea.

Las condiciones térmicas en la región mediterránea occidental dependen de las situaciones advectivas que facilitan la llegada de masas de aire de características diversas. Durante la estación invernal los meses que presentan temperaturas relativamente cálidas para la época del año se identifican con predominio de situaciones advectivas del SW y W (Maheras *et al.*, 1999; Albentosa, 1973). Ambas se relacionan con la presencia en superficie de un área de bajas presiones situada al oeste de las Islas Británicas, con el anticiclón de las Azores en posición submeridiana (advección del SW) o meridional (advección del W). Suelen impulsar masas de carácter marítimo y cálido hacia el Mediterráneo Occidental aunque, especialmente en el caso de las advecciones del W, suelen sufrir variaciones en sus características termohigrométricas originales al atravesar el obstáculo que representa la Península Ibérica (Figura B).

En cambio, los meses invernales con valores térmicos más rigurosos se relacionan con la entrada de masas de aire de carácter continental del interior de Europa, debido a situaciones advectivas predominantes del N, NE y E (Figura C). Las advecciones septentrionales se producen con la conjunción de un anticiclón situado sobre el Atlántico, que bloquea la corriente zonal, y un área de bajas presiones en el Mediterráneo, impulsando masas de aire frías y relativamente secas. Las advecciones del Noreste se originan cuando altas presiones de origen térmico se sitúan sobre una parte extensa de continente europeo, con centro en las islas británicas y abarcando bajo su

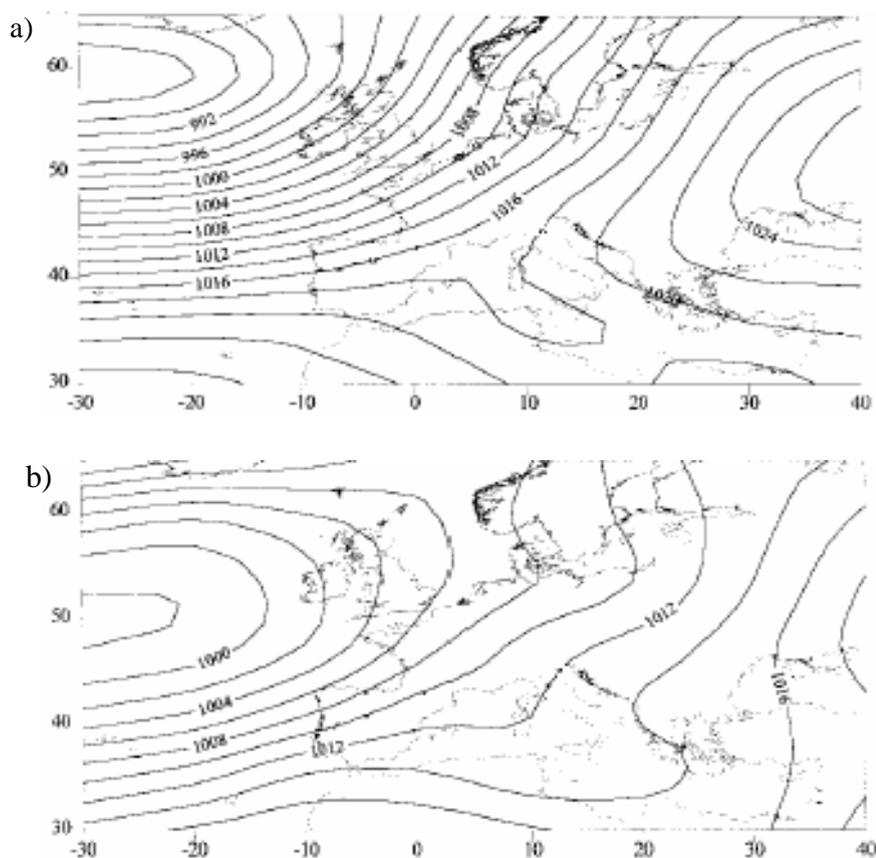


Figura B. Campo de presión a nivel del mar típico de una situación: a) de advección del suroeste; b) advección del oeste. Fuente: Maheras *et al.*, 1999.

radio de acción Europa Occidental y buena parte de la Península Ibérica. Por otra parte, suele combinarse con la existencia de una depresión en el Mediterráneo Central, canalizando entre ambos centros de acción masas de aire muy frío y seco hacia la región mediterránea occidental. Si el anticiclón se sitúa sobre Europa orientado en sentido zonal y el centro de bajas presiones se ubica sobre el norte de África, la advección es del Este, propiciando la entrada de aire polar modificado por su recorrido marítimo.

En verano la corriente en chorro suele ser de índice bajo, dirigiendo una circulación que describe grandes sinuosidades. Acostumbra a seguir trayectorias septentrionales, al norte del paralelo 50°, desapareciendo los vientos del oeste en la zona mediterránea occidental y dominando las situaciones anticiclónicas de origen subtropical y las configuraciones de pantano barométrico. Una de las situaciones más típicas es la disposición del

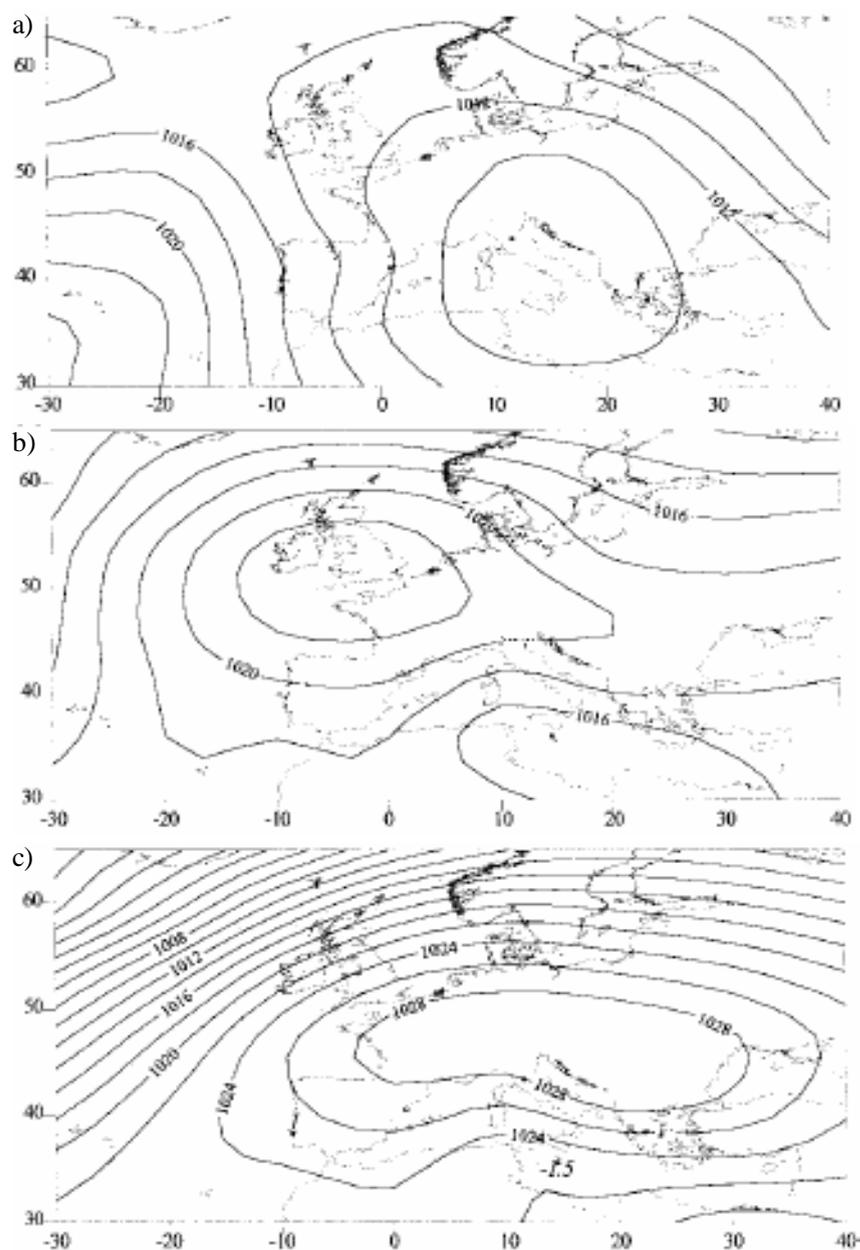


Figura C. Campo de presión a nivel del mar típico de una situación: a) de advección del norte; b) advección del noreste; c) advección del este. Fuente: Maheras *et al.*, 1999.

anticiclón de las Azores a occidente de la Península Ibérica (Figura D), que impulsa masas de aire de carácter continental sobre el Mediterráneo Occidental. Si el gradiente de presión es muy bajo, se producen configuraciones de pantano barométrico, caracterizadas por estancamiento del aire y el predominio de factores microclimáticos locales. Cuando el

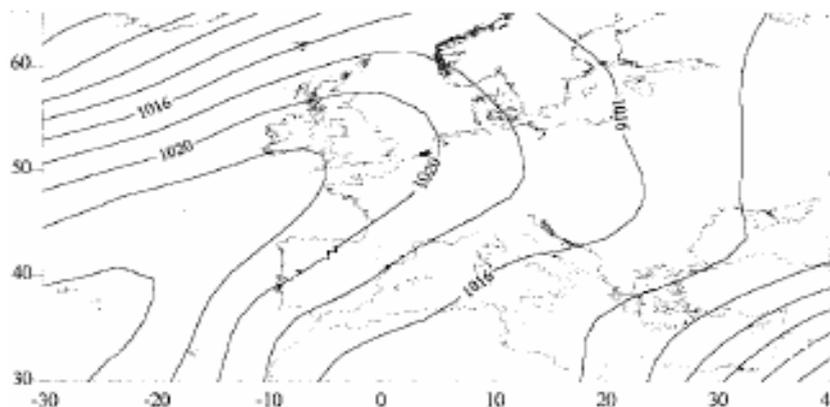


Figura D. Campo de presión a nivel del mar típico de una situación de advección del noreste. Fuente: Maheras *et al.*, 1999.

centro de altas presiones se sitúa sobre el Mediterráneo Oriental y al oeste de la Península Ibérica se emplaza un área depresionaria, se producen advecciones del sur, desplazándose sobre el Mediterráneo Occidental masas de aire muy calido de procedencia sahariana, que se van modificando con el paso sobre la masa marítima.

Durante la primavera y el otoño se suelen presentar trazados de circulación ondulada de la corriente en chorro. Según el sentido de la curvatura, se generan dorsales y vaguadas que normalmente aparecen remontando anticiclones y depresiones en el nivel de superficie. Tienen lugar situaciones de bloqueo o de ruptura de la corriente zonal, que originan cambios bruscos en el tiempo, debidos al desarrollo de corrientes meridianas. Una de las situaciones típicas en estas estaciones provocada por este bloqueo en altura es la aparición de un centro de bajas presiones sobre la Península Ibérica o el mar Cantábrico, que envía flujos de componente oeste o suroeste sobre la región mediterránea. Son también típicas de estas estaciones las advecciones del este o del sureste, fruto de la presencia de un anticiclón sobre Europa, que desplazan la masa de aire mediterránea sobre la Península Ibérica, donde los relieves paralelos a la costa producen un efecto dinamizador importante. No es extraño tampoco observar situaciones advectivas del norte y del interior del continente europeo, de carácter frío. En resumen, se trata de estaciones de transición entre el invierno y el verano,

con una alta variabilidad en las situaciones que pueden encontrarse, de manera que en pocos días pueden producirse contrastes térmicos importantes.

La temperatura media anual en el área del Mediterráneo Occidental ha experimentado, al igual que en muchos otros sectores del planeta, una tendencia al incremento durante el siglo XX. Esta tendencia es cercana a 0.5°C para el periodo 1891-1990 (Schönwiese y Rapp, 1997), y se ha detectado también un incremento en la variabilidad térmica diaria superior al 5 % (Moberg *et al.*, 2000).

Durante la segunda mitad del siglo XX, especialmente a partir de mediados de los años 70, dicha tendencia al incremento de las temperaturas se ha agudizado (Jones *et al.*, 2001a, 1999), con incremento que en algunos sectores del Mediterráneo Occidental superan los 1.6° C durante el periodo 1975-1998 (Brunet *et al.*, 2001a).

El Tercer Informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático alerta en su informe del Grupo de Trabajo II de la alta vulnerabilidad del Sur de Europa frente al cambio climático (IPCC, 2001b). El incremento de los parámetros térmicos que para el siglo XXI indican diferentes modelos climáticos, unido a modificaciones en otras variables climáticas como la precipitación y la humedad atmosférica entre otras, puede generar efectos negativos sobre los medios naturales y antrópicos.

Uno de estos efectos negativos lo constituye la disminución de los recursos hídricos debido al decremento en la precipitación y el incremento de evaporación motivado por el ascenso de las temperaturas (Arnell, 1999), con los consiguientes efectos sobre las reservas de agua, los caudales fluviales y las actividades humanas, especialmente la reducción en su disponibilidad durante el verano. Este agravamiento de las situaciones de sequía puede provocar una degradación en la calidad de los suelos, con incrementos en la salinidad motivados por la evapotranspiración (Várallyay, 1994).

En las áreas de costeras, el aumento en el nivel del mar derivado del cambio climático puede dar lugar a la anegación de zonas bajas,

especialmente sectores deltaicos, erosión de la línea de costa, incrementos en la salinidad de estuarios y acuíferos costeros. Otros impactos indirectos pueden derivarse sobre la distribución de sedimentos, cambios en los ecosistemas litorales y sobre las actividades socioeconómicas ligadas al litoral.

El incremento en las temperaturas y en el rigor de la sequía estival conduce a pensar en una migración hacia el norte de diversas comunidades vegetales (cambios en altitud en la zonas montañosas) y en una disminución de la producción forestal (Wolf y Diepen, 1995). También resulta previsible un incremento en el riesgo de incendios forestales (Colacino y Conte, 1993).

Otros efectos sobre las actividades humanas también se derivan de un incremento en las temperaturas. El incremento en la demanda energética estival, asociada básicamente a los sistemas de refrigeración de grandes edificios y sistemas de aire acondicionado domésticos, cuyo uso ha experimentado una considerable expansión (Palutikof *et al.*, 1997).

Las actividades turísticas, uno de los principales motores económicos del Mediterráneo podrían verse afectadas por el ascenso térmico. Especialmente los sectores turísticos de costa, donde los flujos de turistas provenientes de Europa pueden perder intensidad en favor de zonas de montaña y ubicaciones litorales más septentrionales, provocado por olas de calor más intensas e incrementos en el nivel del mar. También las actividades turísticas invernales asociadas a la nieve se verían afectadas, debido a la disminución en la precipitación sólida y a la reducción de la temporada.

Junto a los riesgos anteriores es previsible igualmente un incremento en los problemas de salud, motivados por un incremento en la frecuencia y severidad de las olas de calor estivales que puede traducirse en un aumento de la mortalidad ligada a problemas cardiovasculares y respiratorios (Raso, 1999). Además, un incremento en la temperatura media favorecería la extensión hacia el norte de vectores de enfermedades de carácter tropical como el dengue y la leishmaniasis.

La minimización del riesgo asociado al incremento térmico depende de la adopción de estrategias territoriales que trabajen sobre la base de una

comprensión precisa de como el cambio climático detectado afecta a la evolución térmica en estos territorios.

Una parte de la variabilidad de la temperatura puede explicarse en función de las variaciones de baja frecuencia experimentadas por el campo bórico, identificadas mediante los denominados índices teleconectivos o modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia. Diversos estudios inciden en la existencia de similitudes entre ambas variables, como los de Leathers *et al.*, (1991) y Gutzler *et al.*, (1988), que indican la existencia de correlación significativa entre el patrón del Pacífico/Norte América con la temperatura del Hemisferio Norte, o entre la temperatura en Europa y la Oscilación del Atlántico Norte, como los de Brázdil *et al.*, (2001) y Moberg *et al.*, (2000).

Otros autores cuantifican esta relación entre los patrones teleconectivos y la evolución térmica. Hurrell (1996) responsabiliza a la Oscilación del Atlántico Norte de un 31 % de la variabilidad térmica invernal del Hemisferio Norte y a la Oscilación Austral de un 16 %. Jones (2001b) apunta que entre el 30 % y el 50% de las variaciones hemisféricas de la temperatura pueden explicarse mediante los índices del fenómeno del El Niño-Oscilación Austral (ENSO).

La presente Tesis Doctoral se plantea un doble objetivo general orientado a profundizar en este conocimiento del comportamiento térmico.

En primer lugar, evaluar la evolución experimentada por la temperatura en Cataluña durante la segunda mitad del siglo XX, caracterizando la diversidad espacial y temporal térmica catalana en función de áreas climáticas definidas por una evolución térmica similar.

En segundo lugar, examinar los modos acoplados de variabilidad de la temperatura de superficie en Cataluña con diversos índices teleconectivos que rigen la evolución de la señal térmica en las diferentes áreas climáticas singularizadas en el territorio catalán.

El conocimiento preciso de la evolución térmica que se ha producido durante la última media centuria en las diferentes áreas térmicamente homogéneas del territorio catalán resulta de gran interés para la previsión del comportamiento térmico futuro, permitiendo una mayor exactitud en el

desarrollo de estrategias territoriales en todo el amplio conjunto de procesos que, de forma directa o indirecta, se ven influidos por la temperatura, tanto aquellos de carácter ambiental como en aquellos de alcance social y económico.

El análisis de los modos acoplados entre las diversas señales térmicas del territorio catalán y determinados índices teleconectivos resulta de utilidad para caracterizar relaciones existentes entre variaciones de los campos de presión y evolución de la temperatura en todas o algunas de las áreas térmicamente homogéneas de Cataluña, mejorando la capacidad de predicción climática.

La consecución del objetivo general de esta tesis, caracterizar la diversidad espacial y temporal de la temperatura en Cataluña y evaluar su relación con modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia, permitirá asumir una serie de objetivos específicos que se desarrollarán a lo largo de este trabajo. Estos objetivos específicos son:

- 1) Determinar la existencia o inexistencia de regiones con diferente evolución térmica en Cataluña para todos o alguno de los tres parámetros estudiados a escala anual y mensual: temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima, caracterizando los patrones espaciales de temperatura dominantes en diferentes periodos del año para el conjunto de las variables térmicas.
- 2) Analizar la evolución térmica en los diferentes sectores determinados por los distintos patrones espaciales de temperatura, para evaluar la contribución de cada uno a las tendencias al incremento térmico descubiertas en las series regionales catalanas (Brunet *et al.*, 2001a, 2001b). Así mismo se examinara la concordancia o discordancia en la evolución de las variables de temperatura máxima y mínima, para determinar el comportamiento de la Amplitud Térmica Diaria.
- 3) Determinar la influencia de la temperatura superficial del Mediterráneo Occidental sobre la variabilidad de la temperatura del aire en el territorio catalán.

- 4) Investigar la posible relación entre la evolución térmica de los diferentes patrones espaciales de temperatura y diversos modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia, determinando cuales de estos últimos presentan una mas íntima correlación con el comportamiento térmico de uno o varios de los primeros en los diferentes periodos del año en que se caracterizan.
- 5) Evaluar la existencia de demoras entre diversos modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia y las señales térmicas de las regiones aisladas dentro del territorio catalán.

Para la consecución de estos objetivos se empleará una metodología basada en la aplicación de diversas técnicas de análisis estadístico. Con objeto de definir áreas o patrones espaciales de temperatura con una señal térmica temporal homogénea se utilizará una aproximación estadística basada en técnicas de análisis multivariante. En primer lugar se realizará un Análisis de Componentes Principales para identificar zonas con comportamiento térmico temporal homogéneo en las dos escalas en que se realiza el análisis, anual y mensual. Esta aproximación metodológica se aplicará a cada uno de los parámetros de temperatura objeto de estudio: promedios anuales y mensuales de temperatura media diaria; promedios anuales y mensuales de temperatura máxima diaria; y promedios anuales y mensuales de temperatura mínima diaria. En segundo lugar, se aplicará un Análisis de Conglomerados a las variables en escala mensual obtenidas en los análisis anteriores para identificar el periodo intraanual en que se diferencian determinados patrones térmicos para cada uno de los tres promedios de temperatura.

Para evaluar la existencia de similitudes entre la evolución de las señales térmicas catalanas y la de los índices teleconectivos se determinaran las correlaciones de Pearson entre las series temporales de temperatura y las series temporales de los índices teleconectivos, obteniendo coeficientes de correlación que indican la intensidad, dirección y significación estadística de la relación entre dos variables. Con aquellos modos de variabilidad atmosférica que mayor relación presenten con la temperatura se realizará un

Análisis de Regresión Múltiple, con objeto de cuantificar la intensidad de la relación entre la temperatura y los índices teleconectivos escogidos.

Los cinco objetivos específicos, mediante cuya consecución se completará la finalidad general de este trabajo, se desarrollaran a lo largo de los cinco capítulos de esta Tesis Doctoral, a los que se sumara un capítulo de dedicado a la reseña de la bibliografía consultada y un apéndice final, con información adicional utilizada para la elaboración de este trabajo.

El primer capítulo incluye la descripción de las técnicas de análisis utilizadas en este trabajo: el análisis de Componentes Principales, la Rotación de Componentes Principales y el análisis de Conglomerados. Se inicia con una recopilación de trabajos que se han servido de la aplicación de estas técnicas para analizar datos climáticos en la Península Ibérica. Prosigue con tres apartados, uno por cada una de las técnicas mencionadas, en los que se describe su funcionamiento y la aproximación metodológica utilizada en este trabajo. Incluye también la descripción de la topografía del territorio estudiado, y finaliza con un apartado dedicado a la base de datos térmicos catalanes que se utiliza para realizar los diversos análisis.

El mas extenso es el segundo capítulo. En el se describen e interpretan los resultados obtenidos tras aplicar el análisis de Componentes Principales a los promedios anuales y mensuales de las temperaturas media, máxima y mínima diarias. Los dos primeros apartados incluyen los componentes principales obtenidos al efectuar una rotación Varimax de los mismos, definiendo distribuciones espaciales de los pesos de los componentes que permiten una diferenciación clara del territorio catalán en áreas de comportamiento temporal de la temperatura similar. El tercer apartado examina la influencia de la temperatura superficial del Mediterráneo Occidental sobre la variabilidad de la temperatura del aire en el territorio catalán.

El tercer capítulo esta dedicado en su primera parte a la descripción y análisis de los conglomerados obtenidos en los Análisis de Conglomerados efectuados sobre los componentes principales descritos en el tercer capítulo para cada uno de los tres parámetros térmicos objeto de estudio. A

continuación se describen los patrones espaciales de temperatura obtenidos englobando todos aquellos conglomerados pertenecientes a los tres parámetros térmicos que presenta una distribución espacial semejante. Una vez definidos los patrones espaciales resultantes se analizan las diferencias existentes entre los patrones espaciales y las características detectadas en el comportamiento de los parámetros térmicos estudiados. También se incluye un análisis sobre la evolución de la Amplitud Térmica Diaria en los diferentes patrones.

El cuarto capítulo se inicia con una introducción relativa al análisis de los modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia y se contextualiza adecuadamente con trabajos previos que analizan la existencia de relaciones entre estos modos y diversas señales climáticas, habitualmente precipitación o temperatura. A continuación se describen los diferentes modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia cuyos índices teleconectivos se incluirán en el análisis. Este análisis incluye las correlaciones entre los índices teleconectivos y las series térmicas de los componentes principales incluidos en cada uno de los patrones espaciales de temperatura. También se evalúa la relación con únicamente una de las dos fases del índice teleconectivo, positiva o negativa, y la existencia de demoras entre la señal atmosférica y la señal térmica, con hasta dos meses de desfase entre ambas.

El quinto capítulo recoge las conclusiones generales extraídas a lo largo de este trabajo referidas a los diferentes objetivos específicos planteados, y en el sexto se referencia la bibliografía consultada.

Estas líneas constituyen el punto final de un proceso que se inició el mes de enero de 1999 con la asistencia del autor a la primera de las clases del programa de doctorado *Geografía Física y Planificación Ambiental* de la Universidad de Barcelona.

Numerosas personas e instituciones han contribuido a mi formación y me han alentado a lo largo del sinuoso camino de la elaboración de esta obra. Esta Tesis Doctoral no existiría sin el trabajo realizado por todos aquellos autores que aparecen citados en la bibliografía, cuya labor ha sido fuente de inspiración, así como la labor previa realizada por muchos otros. Debo

mencionar a la *Climate Research Unit* (CRU) de la Universidad de East Anglia, de la que no solo se han obtenido las series temporales de algunos de los distintos índices de variabilidad atmosférica utilizados en este trabajo sino que además nos une una relación de investigación concretada en el proyecto EMULATE. También al *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) como responsable de la elaboración del resto de índices teleconectivos que se incluyen en esta Tesis.

También me gustaría agradecer su labor a los organizadores de los Congresos de la Asociación Española de Climatología, punto de contacto con muchos de los investigadores españoles que trabajan en el campo de la Climatología, así como a todos los participantes de la reunión científica celebrada en Tarragona *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, cuyas contribuciones han tenido un considerable interés para el desarrollo de este trabajo.

No puedo dejar de mencionar a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y al Quinto Programa Marco de la Comisión Europea por su financiación de los diferentes proyectos de investigación en los cuales participa o coordina el Grupo de Investigación del Cambio Climático de la Universitat Rovira i Virgili (GICC), del cual formo parte desde 1998.

Me gustaría expresar mi agradecimiento a todos mis compañeros (y muchos de ellos, antes y ahora, profesores) de la Unitat de Geografia de la Universitat Rovira i Virgili por su apoyo. Especialmente quiero agradecer su ayuda a los miembros del Grupo de Investigación del Cambio Climático: a Diego López, por su constancia, consejos y labor de gestor del grupo, y que entre otras cosas ha facilitado mi asistencia a numerosos foros científicos que han enriquecido considerablemente esta Tesis; a Enric Aguilar y Oscar Saladie, por su ayuda y disponibilidad “para cualquier cosa”.

Merece un punto y aparte en el capítulo de agradecimientos los esfuerzos de Manola Brunet que, incansablemente, ha corregido una y otra vez este trabajo, desde cualquier punto del planeta en el que se encontrara. Sin su dirección, consejos y paciencia no habría podido llegar hasta aquí.

A lo largo de este dilatado periodo se han producido multitud de sucesos, tanto de carácter personal como académico, que han influido directa o indirectamente en el desarrollo de la presente Tesis Doctoral. Entre todos ellos quiero destacar los nacimientos de Sergi y Elena, quienes a su manera ha sido una fuente de inspiración y alegría. Mi agradecimiento a Lola por su paciencia y comprensión, que me ha permitido conservar parte de mi cordura.

1 El Análisis de Componentes Principales y el Análisis de Conglomerados y su aplicación al estudio de la variabilidad de la temperatura en Cataluña

Este primer capítulo contiene, como su título anuncia, la descripción y discusión sobre las diversas técnicas de análisis que serán aplicadas a lo largo de este trabajo. Se incluye también la delimitación y descripción del territorio que abarca el estudio, las características de la base de datos utilizada, NESATv2, y una descripción inicial de las variaciones espaciales y temporales de la temperatura en el conjunto del territorio catalán.

Para la obtención de patrones térmicos diferenciados en el territorio se ha recurrido al Análisis de Componentes Principales (PCA, de su acrónimo inglés *Principal Component Analysis*), método que ha sido extensamente utilizado para caracterizar la variabilidad de los elementos climáticos. Mediante esta técnica se puede reducir un conjunto de variables independientes a otro conjunto con un número mucho menor de variables, denominadas Componentes Principales (PC, de su acrónimo inglés *Principal Component*), que son combinación lineal de las variables originales y representan gran parte de la variabilidad contenida en el conjunto primitivo. Estos componentes principales han sido sometidos a un proceso de rotación ortogonal para obtener una solución más interpretable, obteniéndose los Componentes Principales Rotados (RPC, de su acrónimo inglés *Rotated Principal Component*).

Estas técnicas han sido ampliamente utilizadas en el análisis de datos climáticos, desde su aplicación a los campos de presión para la detección de modos de teleconexión (ver Capítulo 4) a otros tipos de análisis en diversas escalas espaciales. A escala global se ha aplicado para la caracterización de

la variabilidad de la temperatura marina superficial (Enfield, D. B. y Mestas-Nuñez, A. M., 1999; Kawamura, 1994), el análisis de la temperatura continental (Kim, K. Y. y North, G. R., 1993) y análisis multivariantes (Handorf *et al.*, 1999). En escalas hemisféricas se ha utilizado para investigar la robustez de los patrones de circulación de baja frecuencia en el Hemisferio Norte (Cheng *et al.*, 1995), analizar la variabilidad atmosférica del Hemisferio Sur a partir de datos del reanálisis del NCEP-NCAR (Kidson, 1999), la relación entre la Oscilación Austral y la Oscilación Cuasi-Bienal (Barnston *et al.*, 1991), las relaciones entre la variabilidad de baja frecuencia y la temperatura superficial del mar en el Hemisferio Sur (Mo, 2000) o el estudio del calentamiento continental en el Hemisferio Norte (Volodin y Galin, 1999).

A escala regional o mayor, existen numerosas aplicaciones del PCA. Algunos ejemplos son el estudio de las conexiones entre las latitudes medias y las tropicales de la zona del Pacífico (Pierce y Barnett, 2000), el estudio de la variabilidad climática en el Atlántico (Tourre *et al.*, 1999; Deser y Blackmon, 1993), la influencia de la temperatura marina en la NAO (Robertson *et al.*, 2000), la relación entre la variabilidad atmosférica del Atlántico Norte y el clima de Europa Central (Beck *et al.*, 2001) o el estudio de los efectos de las variaciones de temperatura sobre el ciclo anual de las plantas (D'Odorico *et al.*, 2002). En el Reino Unido existen, por ejemplo, estudios sobre la variabilidad de la temperatura en la Inglaterra Central (Plaut *et al.*, 1995) o sobre los tipos de tiempo (Jones y Kelly, 1982). En el área del Mediterráneo, este tipo de análisis es utilizado también en el estudio de la variabilidad atmosférica (Korres *et al.*, 2000), de la variabilidad espacial y temporal de la temperatura (Maheras y Kutiel, 1999; Bartzokas *et al.*, 1994), para evaluar la relación entre extremos térmicos y circulación atmosférica (Maheras *et al.*, 1999), y para el estudio de las relaciones entre la circulación y la precipitación (Maheras y Kutiel, 1999; Conte *et al.*, 1989).

Con objeto de obtener conjuntos de RPCs similares para cada uno de los promedios mensuales de temperatura diaria se ha utilizado un Análisis de Conglomerados (AC), técnica que permite agrupar los elementos de una

muestra en grupos denominados conglomerados, de tal forma que cada conglomerado sea lo más homogéneo posible y lo más distinto posible del resto de conglomerados. Estos conglomerados se utilizarán para caracterizar los diferentes patrones espaciales de temperatura comunes a los tres parámetros térmicos utilizados en el análisis.

La técnica del análisis de Conglomerados ha sido ampliamente utilizada en estudios climáticos, en muchas ocasiones junto con el análisis de Componentes Principales. Existen ejemplos de su aplicación a escala global o hemisférica (Kidson *et al.*, 2002), aunque es una técnica que se ha utilizado profusamente para análisis de carácter regional o subregional. Encontramos ejemplos del uso de este tipo de análisis aplicado sobre el conjunto o parte de los Estados Unidos (Fovell Y Fovell, 1993; Davis, 1991; Stooksbury y Michaels, 1990; Easterling, 1989; Alsop, 1989; Kalkstein, 1987), en el continente australiano (Puvaneswaran, 1990), en el subcontinente indio (Gadgil y Joshi, 1983) y en sectores del continente africano (Anyadike, 1987). En el continente europeo encontramos también ejemplos de su uso en la clasificación climática de áreas del Reino Unido (Bonell y Sumner, 1992; White y Perry, 1989), en el estudio de sectores de Italia (Galliani y Filippini, 1985), en el análisis de la precipitación en Hungría (Bartholy, 1992), en la clasificación de los tipos de tiempo atmosférico en Praga (Huth *et al.*, 1993), y en el estudio del área mediterránea (Goosens, 1985).

Para evaluar la relación entre los patrones de temperatura y diversos modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia se ha optado por una técnica muy conocida y ampliamente utilizada, el coeficiente de correlación de Pearson, que mide el grado de relación entre dos variables. Este coeficiente se ha utilizado para comparar las series temporales de los RPCs integradas en los diferentes patrones de temperatura con las series de los índices de diversos patrones teleconectivos de baja frecuencia.

Las principales características del PCA, los diferentes modos en que puede realizarse este análisis y los diferentes criterios utilizados para acotar el número de componentes principales extraídos aparecen descritas en la primera parte de este capítulo.

Un segundo apartado recoge la descripción de la Rotación de Componentes Principales y las ventajas que presenta frente al PCA sin rotación.

El apartado tercero del presente capítulo recoge las principales características del Análisis de Conglomerados, las diferentes modalidades de análisis en función del criterio de distancia asumido y las diversas técnicas que permiten escoger una solución adecuada entre las múltiples que permite esta metodología.

La aplicación de las técnicas descritas en los anteriores apartados al estudio de la variabilidad de la temperatura en Cataluña aparece recogida en el cuarto apartado.

Los apartados quinto y sexto están dedicados a la definición del área de estudio y a la descripción de los datos utilizados en este trabajo respectivamente.

El último apartado, el séptimo, recoge la distribución espacial, evolución y tendencias de las series regionales de la temperatura en Cataluña construidas a partir de los datos descritos en el apartado sexto.

1.1 Características del Análisis de Componentes Principales

El análisis de Componentes Principales constituye una de las técnicas estadísticas multivariantes más utilizada en las ciencias atmosféricas. Concebido por Pearson y desarrollado de forma independiente por Hotelling (1933), la primera aplicación del PCA en el análisis de variables atmosféricas viene de la mano de Lorenz (1956), que denominó este método como análisis de Funciones Ortogonales Empíricas (EOF, de su acrónimo inglés *Empirical Orthogonal Functions*).

Existen numerosas descripciones de las matemáticas que configuran el PCA en la literatura (von Storch y Navarra, 1995; Wilks, 1995; Jolliffe, 1990; Preisendorfer, 1988; Jolliffe, 1986) y la gran mayoría de paquetes

estadísticos para ordenador incluyen su calculo, por lo que nos centraremos en una descripción práctica de la técnica.

El objetivo del PCA es reducir un conjunto de variables independientes a otro conjunto con un número mucho menor de variables que son combinación lineal de las variables originales y representan gran parte de la variabilidad contenida en el conjunto primitivo (Wilks, 1995). Dadas p variables, X_1, X_2, \dots, X_p , observadas de n individuos que configuran un espacio p -dimensional, se extrae un nuevo conjunto de p variables denominadas componentes principales, PC_1, PC_2, \dots, PC_p , que son combinación lineal de las variables originales, expresadas como:

$$PC_{(1)} = w_{(1)1} X_1 + w_{(1)2} X_2 + \dots + w_{(1)n} X_p$$

$$PC_{(2)} = w_{(2)1} X_1 + w_{(2)2} X_2 + \dots + w_{(2)n} X_p$$

$$PC_{(k)} = w_{(k)1} X_1 + w_{(k)2} X_2 + \dots + w_{(k)n} X_p$$

para $k = 1, 2, \dots, p$ (Jolliffe, 1990).

En el primer PC, la proyección de todos los puntos sobre un único eje presenta la menor deformación posible del espacio unidimensional. El segundo PC será aquel tal que, de todas las posibles proyecciones de los puntos sobre un espacio de dos dimensiones generado por el primer PC y un segundo eje perpendicular a él, la mínima deformación sea obtenida con el segundo PC. De manera genérica se define la extracción de componentes principales como la proyección con deformación mínima sobre el espacio p -dimensional generado por p ejes perpendiculares de un conjunto de combinaciones lineales independientes entre sí que representan la varianza existente en el conjunto original (Ferrán, 1996).

El coeficiente $w_{(k)i}$ representa el peso de la variable i en el p -ésimo componente. Para cualquier PC debe cumplirse que la suma de los coeficientes al cuadrado sea 1. Para cada PC, el vector definido por los coeficientes w de las distintas variables constituye un *eigenvector* o vector

propio, que recibe diversas denominaciones en la literatura sobre el tema: EOFs, modos de variación, vectores principales, direcciones principales,.... La suma de las componentes del eigenvector determina el denominado eigenvalor o autovalor de un PC. Este valor multiplicado por 100 y dividido por el número de variables indica el porcentaje de la varianza explicada por la componente.

Los coeficientes reciben también diversas denominaciones tales como saturaciones de la variable, pesos, coeficientes,.... En este análisis se ha optado por utilizar el término *pesos* al referirnos a los coeficientes $w_{(k)i}$, por ser el término que mejor expresa la idea de contribución de cada variable a la componente. La suma de los pesos de una misma variable a lo largo de todos los componentes extraídos se denomina comunalidad e indica el tanto por uno de dicho atributo explicado por las componentes extraídas. Si se extraen tantos componentes principales como variables existen, la comunalidad de todas ellas es uno, puesto que la variable queda totalmente explicada.

Evidentemente, la utilidad del PCA no reside en obtener tantos componentes principales como variables originales, sino en obtener un número reducido de componentes principales que expliquen gran parte de la varianza de las variables originales. Para ello existen diversos criterios que permiten decidir cuantos componentes principales se extraen en cada caso. Es el caso del criterio de Kaiser (Kaiser, 1960), el "scree graph" (Cattell, 1966), el diagrama log-eigenvalor o LEV (Craddock y Flood, 1969) y el criterio de N (Preisendorfer y Barnett, 1977), entre otros. El criterio de North requiere variables con un gran número de casos, mientras que el criterio N retiene un número bajo de PCs (Preisendorfer *et al.*, 1981).

Existen seis posibles modos operacionales básicos en que puede especificarse el PCA de realizar el análisis de componentes principales, según Richman (1986). Estos modos se denominan O, P, Q, R, S y T, y difieren en relación a que elemento es escogido como variable, cual como individuo y cual como entidad fija. En estudios de parámetros climáticos en el tiempo y el espacio, estos constituyen los tres elementos a tener en cuenta a la hora de definir el modo de análisis. Según aparece en la Tabla 1.1,

dependiendo del papel que adopte cada uno de los elementos (variable, individuo o entidad fija) tendremos un modo u otro de PCA.

Para el estudio de parámetros climáticos se utilizan habitualmente dos de estos modos, el S y el T.

El modo T resulta de escoger las observaciones en el tiempo como variables y los diversos observatorios o estaciones como casos de estas variables, identificando subgrupos de observaciones con patrones espaciales similares.

El modo S considera las estaciones como variables y las observaciones en el tiempo como casos de estas variables, comparando las series e identificando las estaciones en que el parámetro estudiado evoluciona de forma similar.

Tabla 1.1. Modos operacionales básicos en que puede especificarse el PCA en estudios climáticos

Modo	Variable	Individuo	Entidad fija
O	tiempo	parámetro	espacio
P	parámetro	tiempo	espacio
Q	espacio	parámetro	tiempo
R	parámetro	espacio	tiempo
S	espacio	tiempo	parámetro
T	tiempo	espacio	parámetro

1.2 Rotación de Componentes Principales

Los PCs sin rotar ofrecen diversas ventajas potenciales, como son la facilidad de cálculo, capacidad para extraer la máxima varianza del conjunto de variables originales y su ortogonalidad espacial y temporal. La razón por la cual no suelen utilizarse los PCs sin rotar en los estudios climáticos reside

en que los componentes principales sin rotar exhiben cuatro características que dificultan su utilidad para aislar modos de variabilidad individuales (Richman, 1986 y 1987, White *et al.*, 1991). Estas cuatro características son: dependencia de la forma del dominio; invariación de los patrones de subconjuntos del dominio; error de muestreo; e inadecuada representación de las relaciones físicas.

El problema de la dependencia de la forma del dominio reside en que las topografías de los PCs sin rotar están definidas por la forma del dominio y no por la correlación o covarianza entre los datos. Buell (1975) muestra que diferentes funciones de correlación de un dominio geométrico arrojan similares PCs en una secuencia predecible que no refleja la covarianza subyacente.

La segunda desventaja de las soluciones sin rotar (Richman y Lamb, 1985) reside en la invariación de los patrones de subconjuntos del dominio. Los patrones obtenidos para el dominio entero son simplemente transferidos a diferentes subconjuntos del dominio cuando estos son analizados individualmente.

Los componentes principales sin rotar pueden sufrir también considerables errores de muestreo si los autovalores están demasiado cercanos entre sí, los cuales disminuyen considerablemente con las soluciones rotadas, constituyendo una tercera desventaja de la aproximación no rotada.

La inadecuada representación de las relaciones físicas se manifiesta al comparar los componentes sin rotar con los rotados, representando estos segundos mucho mejor la estructura física de los datos, debido a que los PCs sin rotar deben ser ortogonales, ocasionando problemas en su interpretación (Wilks, 1995). Además, al contener la primera componente principal gran parte de la variabilidad de los datos originales pueden enmascarse en este primer modo de variabilidad otros modos o procesos.

La rotación de componentes principales consiste en una transformación matemática que reemplaza los PCs retenidos en el análisis de componentes principales por el mismo número de variables derivadas, denominadas Componentes Principales Rotados (RPCs), no afectando al total de varianza

explicada por el conjunto de PCs. De las técnicas de rotación, la más conocida es la rotación ortogonal Varimax (Kaiser, 1958). Consiste en una rotación ortogonal de los PCs que trata de minimizar el número de variables con pesos altos en un componente. El objetivo es obtener una solución más interpretable, en el sentido de que las variables fuertemente correladas entre sí presenten pesos elevados en una misma componente y bajos en el resto de componentes. Otros tipos de rotación son: la oblimin directa (Jennrich y Sampson, 1966), que realiza una rotación oblicua; la rotación Harris-Kaiser II (Harris y Kaiser, 1964), también una técnica oblicua que realiza una transformación matricial diagonal y ortonormal basada en el teorema de Eckart-Young (1936); la Promax (Hendrickson y White, 1964), rotación de estructura simple oblicua; y la DAPPFR, acrónimo de inglés *Direct Artificial Personal Probability Factor Rotation*, (Tucker y Finkbeiner, 1982) que se diferencia de las anteriores por su aproximación topológica.

1.3 Principales características del análisis de conglomerados.

El análisis de conglomerados, también conocido como análisis *cluster* (CA, acrónimo del inglés *Cluster Analysis*), es una técnica estadística con numerosas aplicaciones. Dada una muestra de observaciones en un conjunto grande de variables, se agrupan los elementos de la muestra en grupos denominados conglomerados, de tal forma que, respecto a la distribución de los valores de las variables, cada conglomerado sea lo más homogéneo posible y los diferentes conglomerados sean muy distintos entre sí (Ferrán, 1996).

La idea central en los conglomerados de datos es la idea de distancia. Los conglomerados consisten en puntos separados por pequeñas distancias respecto a las distancias existentes entre los diversos conglomerados (Wilks, 1995). Las distancias pueden medirse mediante diversos algoritmos, algunos de los cuales son: la distancia Euclídea, normal y al cuadrado; el

ángulo entre pares de vectores; la correlación de Pearson y el coeficiente de congruencia de Harman (1976).

Existen diferentes métodos para la formación de conglomerados, aunque normalmente se destacan dos aproximaciones diferentes: los métodos de k -medias y los métodos jerárquicos. Los primeros consisten en la elección *a priori* del número de conglomerados, k , que se desea obtener, especificando los centros de los k conglomerados iniciales. Los individuos se agrupan en función de estos centros, tras lo cual se calculan nuevos centros para los conglomerados obtenidos. La solución se consigue una vez se ha realizado un número determinado de iteraciones o cuando entre dos iteraciones sucesivas no existe modificación alguna.

En los métodos jerárquicos el análisis comienza con tantos conglomerados como individuos. A partir de estas unidades iniciales se van formando nuevos conglomerados de forma ascendente, agrupando en cada etapa a los individuos de los dos conglomerados más próximos, de forma que al final del proceso todos los individuos están agrupados en un único conglomerado. En consecuencia, el número de conglomerados que se desea se puede elegir *a posteriori*.

El criterio utilizado para definir la distancia entre conglomerados es el que define el tipo de análisis de conglomerados (Wilks, 1995). Los más conocidos son:

- Vinculación Simple o método del vecino más próximo. La distancia entre dos conglomerados es la distancia Euclídea más pequeña entre un par de individuos de dos conglomerados diferentes.
- Vinculación Completa o método del vecino más lejano. Similar al anterior, en este caso la distancia se define como la mínima de las distancias máximas entre pares de individuos de dos conglomerados diferentes. Igual que el anterior, tiende a configurar un grupo de gran tamaño.
- Método de los Centroides. Comparada distancias entre los centros de los conglomerados o vectores medios de pares de conglomerados.

- Método de Ward o de la mínima varianza. Descrito por Ward (1963), en cada etapa se agregan aquel par de individuos o conglomerados que proporcionan un incremento mínimo de la suma de cuadrados interna de cada uno de los nuevos conglomerados.
- Vinculación Promedio. Define la distancia entre conglomerados como la distancia Euclídea media entre todos los posibles pares de puntos en los dos grupos que se comparan. Todo miembro de un conglomerado debe tener una distancia media menor a cualquiera de sus compañeros de grupo que a cualquiera de los casos integrados en otros conglomerados.

De estos procedimientos, la Vinculación Simple presenta una tendencia a aglomerar la mayoría de los casos en un conglomerado de gran tamaño (Zivkovic, 1995), mientras que la Vinculación Completa se sitúa en el extremo opuesto debido a que el criterio para agregar conglomerados es muy estricto (Wilks, 1995). Kalstein *et al.* (1987) compara el Método de los Centroides, el Método de Ward y la Vinculación Promedio para el análisis de conglomerados con variables climáticas. El primero, igual que la Vinculación Simple, tiende a formar un conglomerado de gran tamaño, mientras que en el Método de Ward juega un papel importante el tamaño de los grupos a la hora de adjudicarles un nuevo miembro, tendiendo a sumar un nuevo caso a los conglomerados de menor tamaño, de tal manera que se obtienen conjuntos con el mismo número de casos, circunstancia no deseada en una clasificación climática. El método de la Vinculación Promedio es el que mejores resultados presenta en esta comparación, y constituye el criterio normalmente utilizado en estudios climáticos.

Estos métodos se han testado aplicándolos a los componentes principales extraídos del promedio mensual de la temperatura media diaria. Los mejores resultados en cuanto a significación espacial se obtuvieron con el Método de Ward y con la Vinculación Promedio, optándose finalmente por éste último al proporcionar un ajuste algo mejor y una formación de los conglomerados más paulatina.

Dado que en un análisis de conglomerados jerárquico el número de conjuntos se va reduciendo en cada iteración hasta llegar a una solución final

formada por un único conglomerado, resulta clave la elección de una solución que contenga un número adecuado de conglomerados ajustado al nivel de descripción que se desea. La solución idónea es aquella que permita equilibrar la pérdida de detalle que implica cada iteración con el nivel de síntesis deseado.

La técnica más utilizada para escoger una solución adecuada es el análisis del *dendrograma* o *diagrama de árbol*, que consiste en una representación gráfica del proceso de formación de conglomerados, como el que aparece en la Figura 1.1. Puede observarse que a la izquierda del dendrograma aparece un listado que identifica cada una de las variables que intervienen en el análisis¹. La representación gráfica del proceso se realiza mediante líneas paralelas a la barra horizontal superior, correspondiente a la distancia entre los conglomerados que se combinan en cada etapa².

Para encontrar una solución en la que los conglomerados sean distantes entre sí y, por otro lado, dentro de cada uno de ellos los elementos que lo forman estén próximos, una solución adecuada consiste en fijar un umbral a partir del cual la distancia para la unión de dos conglomerados se incrementara considerablemente respecto las distancias anteriores al umbral.

1.4 Aplicación del PCA y el CA al estudio de la variabilidad de la temperatura en Cataluña

Existen diversos precedentes de la aplicación del análisis de Componentes Principales y del análisis de Conglomerados a variables climáticas de conjunto o una parte del territorio de la Península Ibérica.

La variable climática que se ha estudiado preferentemente con estas técnicas es la precipitación. Corte Real (1998) utiliza una combinación de ambos análisis para investigar la relación entre la variabilidad de la precipitación en Portugal y la circulación atmosférica regional. Otra

¹ En este caso, una serie de variables de carácter médico.

² Esta distancia esta reescalada siempre a enteros comprendidos entre 0 y 25.

precipitación en la Península Ibérica y Grecia con la circulación de 500 hPa, y los de Fernández (1995), que utiliza un modo T de PCA para analizar la precipitación en España.

Respecto a la temperatura, encontramos los trabajos de Sáenz *et al.* (1999), que investiga la relación de la temperatura invernal del norte de España con diversos patrones de teleconexión (East Atlantic, North Atlantic Oscillation, East Atlantic/West Russia, Polar Eurasia y Scandinavia) y con la temperatura superficial del Océano Atlántico. Rasilla *et al.* (1999) utiliza el PCA para analizar la variabilidad invernal de la precipitación, la temperatura media, la temperatura mínima y la temperatura máxima en la Meseta Sur, relacionándola con las fases positivas y negativas de tres patrones teleconectivos: la Oscilación del Atlántico Norte, el patrón del Atlántico Este y el patrón Atlántico Este/Rusia Occidental. Por otro lado, la variabilidad de la temperatura media anual en la cuenca del Duero aparece descrita mediante un PCA por Manso y Caramelo (2001), así como su relación con la Oscilación del Atlántico Norte y la Oscilación Austral.

La aplicación del PCA para determinar los modos de variabilidad de la temperatura en Cataluña se ha efectuado sobre el promedio anual y los doce promedios mensuales para cada uno de los tres parámetros examinados: temperatura media diaria, temperatura máxima diaria y temperatura mínima diaria. Para ello se generaron 39 archivos datos, uno por cada PCA realizado, conteniendo cada uno de los archivos las series de los 22 observatorios de la NESATv2 correspondientes a uno de los tres parámetros anuales o uno de los 36 parámetros mensuales.

El análisis se ha realizado en modo S, considerando a cada uno de los observatorios como variables y las observaciones en el tiempo como individuos. El criterio escogido para acotar el número de componentes extraído es el de Kaiser, que es uno de los más utilizados y recomendados por diversos autores (Serrano *et al.*, 1999; Jolliffe, 1986). Este criterio retiene todos aquellos PCs que permiten explicar una varianza total igual o superior a un determinado umbral. El umbral más utilizado es el de un autovalor igual a 1, aunque Jolliffe (1986) recomienda el valor 0.7 antes que

el 1, dado que este último retiene un número demasiado bajo de PCs. Tras aplicar ambos umbrales a las series de los promedios mensuales de temperatura media, máxima y mínima diaria, se optó por el umbral de 0.7, ya que con el umbral 1 se obtenía un número reducido de PCs, quedando enmascarados diversos modos de variabilidad de la temperatura.

Aunque en el apartado 2.2 se aducen diversas razones por las que conviene utilizar el PCA con rotación de los componentes, se han aplicado ambas modalidades de análisis, con y sin rotación, para examinar cual proporciona mejores resultados para el análisis de la temperatura en Cataluña.

Cada componente principal obtenido se denominó según la expresión PCXYZZ, para los componentes principales sin rotar y RPCXYZZ en el caso de los componentes principales rotados. X es un número que indica el orden en que ha aparecido el componente en el análisis. YY son dos dígitos que indican el mes del año en que se ha extraído el componente si se encuentran entre 01 y 12, o que se trata de un componente extraído del promedio anual en caso de ser el número 17. ZZ son dos letras que indican el parámetro del cual se ha obtenido el componente, TM, TX o TN respectivamente para temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima. Así, PC108TN indica que se trata del primer componente principal sin rotar extraído del análisis de los promedios de temperatura mínima correspondientes al mes de agosto, mientras que RPC317TM indicaría el tercer componente principal rotado del promedio anual de temperatura media.

Los diferentes análisis de Componentes Principales realizados arrojan un total de 8 PCs para los verificados sobre los promedios anuales y 77 PCs proporcionados por su aplicación a los promedios mensuales. Los pesos de los 8 componentes correspondientes a los promedios anuales de temperatura aparecen representados en la Figura 1.2. Como puede observarse, los primeros componentes de los tres parámetros explican un porcentaje muy elevado de la varianza de las series originales (80.44 %, 73.14 % y 75.42 % respectivamente) y presentan un patrón espacial caracterizado por una

distribución homogénea de los pesos de los componentes. El resto de los componentes obtenidos por el análisis representan por tanto porcentajes reducidos de la varianza y los patrones espaciales que se obtienen aparecen muy difuminados.

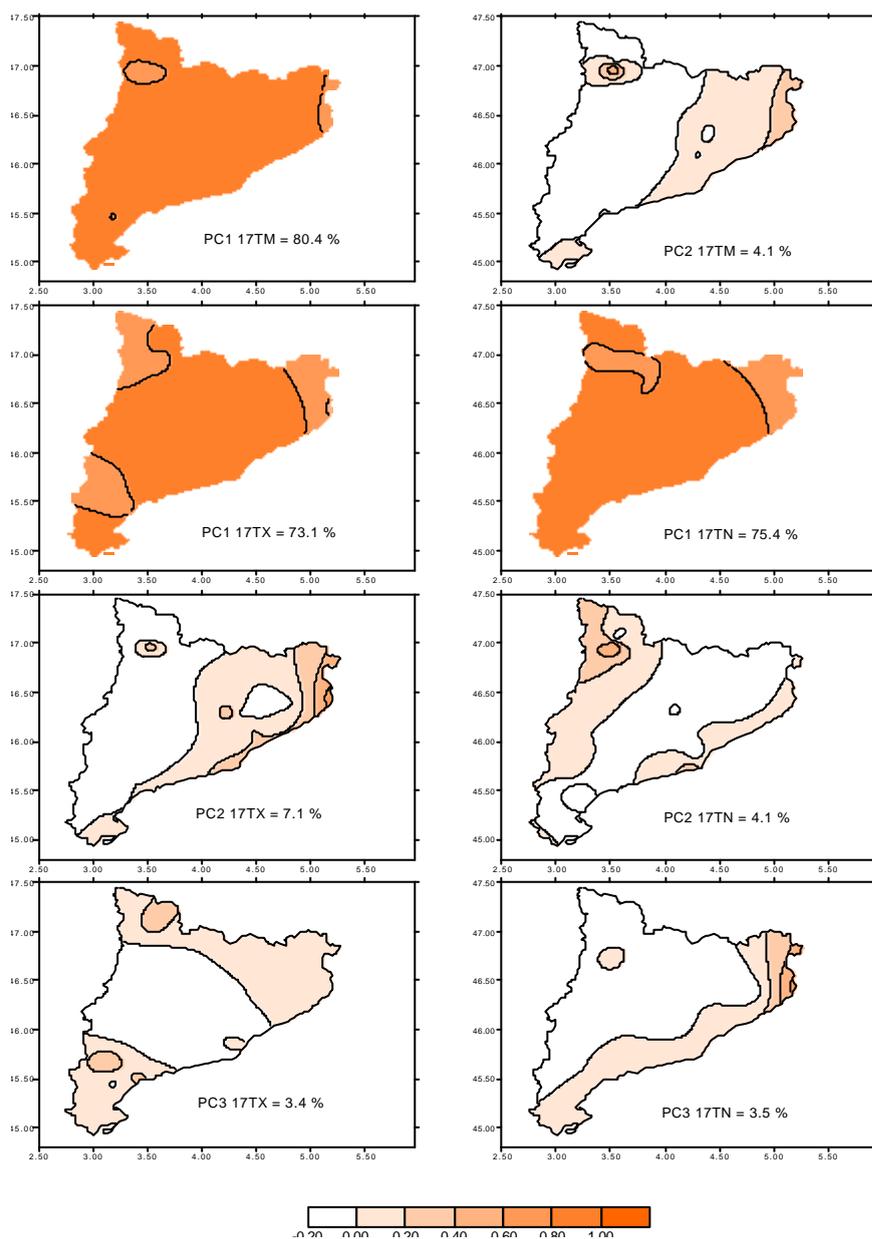


Figura 1.2. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales determinados para los promedios anuales de la temperatura media diaria, la temperatura máxima diaria y la temperatura mínima diaria.

Resultados similares se obtienen en los componentes extraídos de los promedios mensuales de temperatura³. Puede observarse que (Tabla 1.2), en aquellos casos en que el análisis ha aislado más de un componente, el primer componente representa un valor muy elevado del porcentaje total de varianza explicado para ese mes y parámetro, entre el 67 % y el 86 %, mientras que los sucesivos componentes aislados explican porcentajes muy pequeños de la varianza, entre el 10 % y el 3 %.

Este elevado contraste entre los primeros componentes y el resto de componentes se traduce en un reparto espacial prácticamente homogéneo de los pesos de los primeros componentes, con valores elevados y sin un patrón espacial diferenciado, como puede comprobarse en el Apéndice I. El resto de los componentes presenta una distribución no homogénea por el territorio, pero con pesos de pequeño valor. Estas circunstancias provocan que los componentes principales hallados tengan escaso valor para la caracterización de patrones espaciales diferenciados en los parámetros observados.

Tras efectuar estas pruebas que descartan el uso de los componentes principales sin rotar para investigar los modos de variación de las temperaturas catalanas, se procede a efectuar una rotación de los componentes hallados.

Los efectos de esta rotación sobre el porcentaje de varianza explicado por cada componente y su comparación con los porcentajes relativos a los componentes sin rotar quedan reflejados en la Tabla 1.2. El porcentaje de varianza explicado por los primeros componentes disminuye considerablemente, mientras que aumenta la varianza explicada por el resto de componentes, conservándose el porcentaje total de varianza explicada por el conjunto de componentes para cada parámetro y mes.

Al efectuar la composición espacial de los pesos de los componentes, cada uno de ellos muestra sus pesos máximos centrados en un área, definiendo patrones espaciales diferenciados. Al contrario que los componentes sin rotar, los primeros componentes rotados muestran una distribución no homogénea para todo el territorio analizado y el resto de los componentes

³ Ver Apéndice I

presenta patrones espaciales que configuran áreas diferenciadas de pesos con valores elevados.

Tabla 1.2. Porcentaje de la varianza de las series explicado por los componentes principales y los componentes principales rotados para cada mes y promedio mensual de la temperatura diaria.

Promedios mensuales de temperatura diaria							
	Nº de componente	Media		Máxima		Mínima	
		PC	RPC	PC	RPC	PC	RPC
enero	1	78.4	53.2	67.4	29.9	80.3	60.8
	2	7.3	32.5	10.5	28.6	6.4	25.9
	3			4.7	20.0		
	4			3.5	7.6		
	Total	85.7	85.7	86.1	86.1	86.7	86.7
febrero	1	89.5		85.4	52.3	85.8	
	2			3.5	36.6		
	Total	89.5		88.9	88.9	85.8	
marzo	1	86.3	48.5	84.0	46.8	78.6	48.4
	2	3.2	41.0	4.0	41.2	5.5	35.7
	Total	89.5	89.5	88.0	88.0	84.1	84.1
abril	1	78.7	45.5	72.7	34.9	73.9	24.5
	2	5.2	38.3	5.7	29.2	4.6	24.0
	3			4.1	16.0	4.4	21.3
	4			3.8	6.3	3.7	16.8
	Total	83.9	83.9	86.4	86.4	86.6	86.6
mayo	1	89.0		86.0		80.5	37.9
	2					3.7	25.2
	Total	89.0		86.0		87.5	87.5
junio	1	85.1		80.9	47.5	76.4	44.2
	2			4.3	37.7	3.7	36.0
	Total	85.1		85.2	85.2	80.2	80.2
julio	1	86.3	46.9	80.7	43.2	81.0	43.3
	2	3.5	42.9	5.2	42.6	3.6	41.2
	Total	89.8	89.8	85.9	85.9	84.6	84.5
agosto	1	84.5	46.4	77.0	32.0	78.9	42.2
	2	3.4	41.5	4.3	30.5	4.4	41.1
	3			4.0	22.8		
	Total	87.9	87.9	85.3	85.3	83.4	83.4
septiembre	1	87.9		82.4	51.6	83.1	
	2			4.3	35.1		
	Total	87.9		86.7	86.7	83.1	
octubre	1	89.3		84.4		85.4	49.8
	2					3.9	39.4
	Total	89.3		84.4		89.2	89.2
noviembre	1	82.3	52.1	71.7	26.8	81.7	55.8
	2	5.7	35.9	7.6	23.5	4.9	30.8
	3			4.6	21.4		
	4			3.5	15.7		
	Total	88.0	88.0	87.3	87.3	86.6	86.6
diciembre	1	79.0	39.2	67.2	32.5	80.9	44.4
	2	7.5	27.2	10.5	23.3	5.3	23.6
	3	3.2	23.3	5.1	18.7	3.8	22.0
	4			3.6	11.9		
	Total	89.7	89.7	86.4	86.4	89.9	89.9

Los modos de variabilidad de un mismo parámetro encontrados para los diferentes meses se han comparado entre sí, con la idea de determinar si un mismo patrón térmico ha aparecido reiteradamente durante varios meses. Para ello se ha recurrido al análisis de Conglomerados, efectuado sobre los componentes principales rotados, e incluyendo los componentes principales sin rotar para aquellos meses en que únicamente un componente se ha aislado, hecho que imposibilita su rotación.

De los diferentes métodos existentes para realizar el CA, se ha empleado el método de Vinculación Promedio. Esta técnica se caracteriza por una notable homogeneidad interna, y su tamaño no se halla sesgado por el algoritmo de cálculo ni hacia la creación de un grupo de tamaño excesivo ni hacia la formación de grupos de tamaño similar, habiéndose aplicado con éxito en numerosos estudios climáticos (Galliani y Filippini, 1985; Kalstein *et al.*, 1987; Stooksbury y Michels, 1990; Davis, 1991; Fovell y Fovell, 1993; Aguilar, 1999).

Con respecto al algoritmo empleado para el cálculo de la distancia entre casos, se ha optado por la distancia Euclídea al cuadrado, que exagera las diferencias entre casos agilizando el proceso interactivo de cálculo de los conglomerados, y es el algoritmo más utilizado en este tipo de análisis aplicado a variables climáticas y la más frecuente en los trabajos reseñados.

El proceso de elección de los conglomerados se ha realizado mediante una técnica de Dendrograma, optándose tras varias pruebas por una distancia reescalada de 5 como umbral. Con esta distancia se obtienen conglomerados notablemente homogéneos, con una distribución espacial coherente. Esta distancia umbral no se ha tratado de forma rígida, sino que, como recomiendan diversos autores (Serrano *et al.*, 1999; Wilks, 1995; Huth *et al.*, 1993), se han examinado los diferentes conglomerados tanto en su contexto espacial como temporal, flexibilizando en algunos casos el criterio para mejorar la interpretación de los diversos patrones de temperatura obtenidos.

Los conglomerados obtenidos se nombran con acrónimos que comienzan por "CO" seguido por las tres primeras letras del parámetro de temperatura al que se refiere: "MED", media; "MAX", máxima; "MIN", mínima. El

número que figura a continuación en el acrónimo indica únicamente el orden de obtención del conglomerado y permite diferenciar entre los pertenecientes a un mismo parámetro. Por ejemplo, el COMED1 indica que es el primer conglomerado que agrupa componentes extraídas del promedio mensual de temperatura media diaria.

1.5. Principales características del relieve en el territorio catalán.

Cataluña se sitúa en el noreste de la Península Ibérica, abarcando una superficie de forma triangular con una extensión de 31.930 Km. cuadrados, limitada al norte por los Pirineos, por el mar Mediterráneo al este y abierta a la Península por el oeste.

Presenta un relieve muy variado, con diversas cadenas montañosas y áreas de topografía plana (Figura 1.3). El norte del territorio se encuentra limitado por las elevaciones del núcleo central de la cordillera de los Pirineos, denominado Pirineo Axial. Con alturas que llegan a los 3400 m. de altitud, se extiende desde el litoral mediterráneo septentrional hasta el extremo oeste del territorio catalán. Debido a su orientación favorece la entrada de las corrientes de tipo zonal, de procedencia atlántica. En cambio, por lo que respecta a las corrientes meridianas, constituye un obstáculo notable que dificulta la entrada de masas de aire de procedencia ártica o continental, llegando a impedirla en algunas de estas advecciones poco desarrolladas en altura.

El Prepirineo está formado por plegamientos que configuran las sierras secundarias de la cordillera pirenaica, de menor altitud que la anterior, aunque algunas de ellas pueden alcanzar los 2.500 m. de altitud. Los cursos fluviales que se originan en el Pirineo axial han marcado la erosión del Prepirineo, de forma que todos los valles fluviales adoptan una dirección norte-sur, facilitando la circulación de flujos meridianos entre el Pirineo Axial y las tierras situadas al sur.

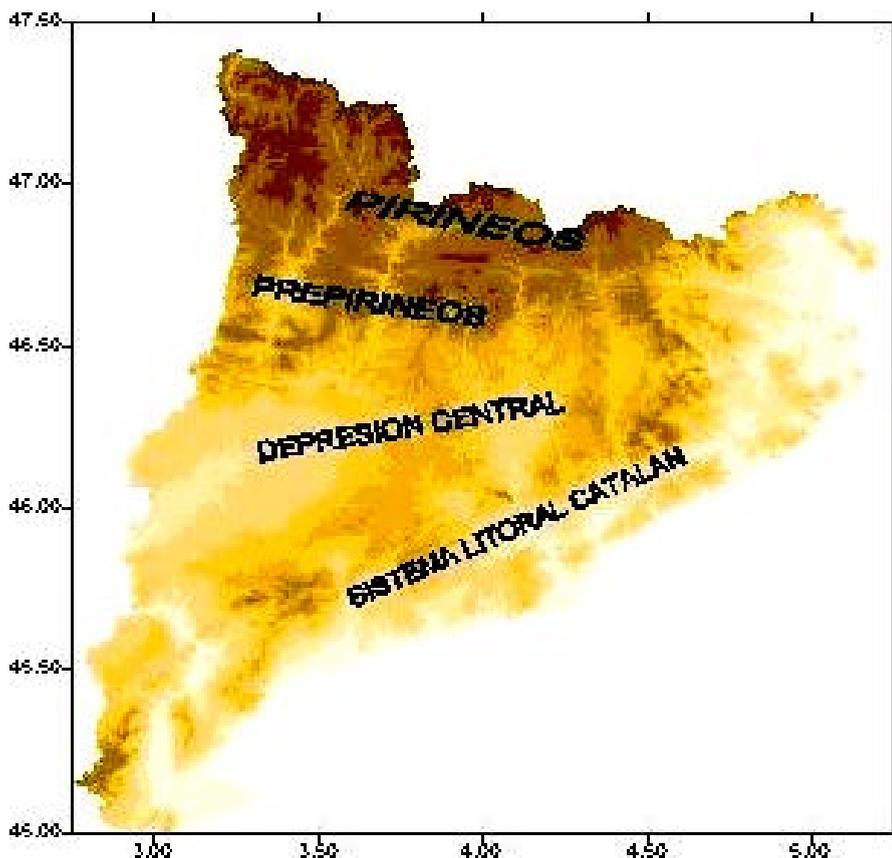


Figura 1.3. Principales unidades de relieve diferenciadas en el territorio catalán.

El lado este del territorio catalán, que limita con el mar Mediterráneo, está constituido por el Sistema Litoral Catalán. Se trata de una estructura formada por dos fracturas paralelas que diferencian las diferentes subunidades que conforman el Sistema Litoral Catalán:

- las Sierras Prelitorales, con altitudes que pueden llegar a los 1700 m., constituyen la barrera de mayor altitud y longitud. Es la parte más interior de todo el sistema, extendiéndose paralela a la costa a lo largo de todo el territorio.
- las Sierras Litorales, que componen la segunda barrera montañosa del Sistema Litoral. De menor altura que las anteriores, en torno a 500 m, y limitada su existencia a la mitad septentrional, se extiende en el lado marítimo formando la línea de costa en algunos tramos y separada de ésta en otros por pequeñas llanuras costeras.

- la Depresión Prelitoral, que esta formada por un *graben* situado entre ambos sistemas montañosos en la mitad septentrional y formando la línea de costa en la parte meridional.

La existencia de relieves de importancia cercanos a la costa ejerce un efecto claramente dinamizador de las advecciones procedentes del Mediterráneo, que combinado con elevadas temperaturas del aire y altos índices de humedad propician la formación de fuertes movimientos de ascendencia y subsidencia, origen de fuertes fenómenos de tipo tormentoso. La altitud de estas sierras, en especial las Prelitorales, limita la penetración de la influencia marina hacia los territorios situados al oeste del Sistema Litoral, que tienen una acusada continentalidad respecto las zonas situadas en la vertiente marítima.

El resto del territorio catalán, enmarcado por el Sistema Pirenaico y el Sistema Litoral, lo constituye la Depresión Central. Se trata de una sucesión de altiplanos que van perdiendo altura de este (entre 800 y 1.000 m.) a oeste (100 m.), donde enlaza con la Depresión del Ebro. En aquellos puntos en los cuales los cursos fluviales han encontrado potentes masas de materiales fácilmente excavables, se han abierto amplias cuencas de erosión. Ocupa buena parte del centro y los dos tercios meridionales del sector occidental del territorio catalán, extremo donde se sitúa la depresión mas importante y de menor altitud, integrada en la Depresión del Ebro.

Los flujos que inciden perpendicularmente sobre las barreras montañosas que rodean este conjunto de tierras de menor altitud experimentan una agravación dinámica en la vertiente de barlovento, con enfriamiento adiabático. En la vertiente de sotavento, el descenso y consiguiente aumento de la temperatura origina un decremento de la humedad atmosférica. El conjunto de la Depresión del Ebro aparece también rodeada de relieves de cierta importancia, por lo que este fenómeno de “föhnización” se produce con las advecciones provenientes de cualquier dirección.

El clima de este sector presenta una alternancia entre la dependencia de situaciones advectivas y las originadas por mecanismos autónomos. En el primer caso encontramos la relativa frecuencia y facilidad con que penetran

masas de aire de procedencia atlántica, aunque con sus caracteres originales desnaturalizados por la travesía sobre el conjunto de la Península Ibérica. En el segundo, la situación de aislamiento origina la formación de nieblas radiactivas en invierno y movimientos convectivos durante el periodo estival.

1.6. La base de datos homogeneizados de la temperatura del aire en Cataluña: NESAT

La creación de bases de datos climáticos, sometidos a un proceso objetivo de control de calidad y homogeneización de los registros, constituye el paso previo para el estudio del cambio climático a cualquier escala espacial. Para que una serie temporal represente las variaciones de un elemento climático y pueda ser calificada como homogénea es necesario establecer que dichas variaciones respondan sólo a causas climáticas y no a otras de carácter artificial o “no climático” (Conrad y Pollack, 1962).

La falta de homogeneidad de los registros obedece a causas diversas. Entre otras, hay que destacar las que introducen discontinuidades abruptas en las series, como las asociadas a las relocalizaciones de los observatorios, cambios en las prácticas observacionales y en el cálculo de las medias, etc., o bien graduales, generalmente relacionadas con cambios en el entorno (efecto urbano, cambios de usos del suelo, etc.) (Mitchel, 1953).

Esta tarea fue abordada para la temperatura del aire en Cataluña por el Grupo de Investigación del Cambio Climático de la Universitat Rovira i Virgili, que en 1999 presentó la primera versión: NESAT⁴ (Brunet *et al.*, 1999a). Esta base de datos recogía series de promedios mensuales de las temperaturas diarias procedentes de 17 observatorios de la red del Instituto Nacional de Meteorología (INM) para el periodo 1913-1998 que cumplieran dos requisitos previos: inicio en fecha anterior a 1950; y existencia de un 5

⁴ Acronimo del ingles *Northeastern Spain Adjusted Temperature*.

% como máximo de datos mensuales perdidos o ausentes en el periodo 1961-1990.

Sobre estas series se realizó un control de calidad formado por tres etapas sucesivas:

- Etiquetado de datos sospechosos o ausentes mediante la identificación de datos situados fuera del intervalo ± 4 ó respecto la media, la detección de lagunas en los datos y el contraste climatográfico de los datos existentes.
- Recuperación de datos etiquetados mediante comprobación con los archivos originales.
- Relleno de lagunas mediante estimación de los valores ausentes a partir de las restantes estaciones con correlación superior al 0.5.

Para crear la base de datos ajustada de las temperaturas medias, máximas, mínimas y amplitud térmica diaria se aplicó el *Standard Normal Homogeneity Test for Shift Detection* (SNHTs) (Alexandersson y Moberg, 1997), con el esquema de corrección y las modificaciones descritas por Aguilar *et al.* (1999). Esta técnica se basa en la aplicación de un proceso iterativo, distinguiéndose en cada paso entre una serie candidata y un conjunto de series referencias. El método no presupone la homogeneidad de ninguna de las series, de forma que todas tienen la consideración de posibles referencias y todas actúan en algún paso como candidatas. Basándose en la premisa de que aunque ninguna de las series sea homogénea la probabilidad de que todas sean inhomogéneas en el mismo punto es muy reducida, la comparación de cualquier candidata con un número suficiente de referencias debe poner de manifiesto las rupturas abruptas en su homogeneidad o tendencias artificiales graduales que aparezcan en ella.

Una segunda versión extendida de esta base de datos apareció en el 2001: NESATv2. Esta segunda versión agrupa 23 observatorios catalanes y abarca un periodo más dilatado, 1869-1998 (Brunet *et al.*, 2001a). La principal diferencia respecto a la versión anterior es la no necesidad de estimar los datos ausentes. Todos los observatorios se encuentran ubicados en núcleos de población rural (con población inferior a los 50.000 habitantes), en áreas

naturales o en aeropuertos, para minimizar la posibilidad de la existencia de señales asociadas con el crecimiento urbano.

Para realizar el análisis de la variabilidad espacial de la temperatura en Cataluña se han utilizado 792 series de promedios mensuales de la temperatura media, máxima y mínima diaria, y 66 series de promedios anuales de los mismos parámetros, procedentes de 22⁵ observatorios integrados dentro de la base de datos NESATv.2.

Los 22 observatorios utilizados aparecen listados en la Tabla 1.3 junto con su localización y altitud, que oscila entre los 2 metros y los 1708 metros. La distribución espacial de los observatorios puede apreciarse mejor en la Figura 1.4. Esta distribución no es completamente regular y presenta algunas zonas con menor densidad, especialmente en el caso del Pirineo Oriental, pero es suficiente para representar la diversidad del territorio objeto de estudio.

Por su ubicación, 6 de los observatorios se sitúan en sectores costeros, en el mismo litoral o en zonas cercanas sin relieves de importancia entre la línea de costa y el observatorio: Barcelona, El Prat Apt., L'Estartit, Reus Apt., Tortosa y Vila-seca. Otros 3 (Caldes de Montbui, Cardedeu y Girona), están ubicados cerca de la costa, en la Depresión Prelitoral, separados por los relieves de baja altitud de las Sierras Litorales.

El grupo mas numeroso corresponde a los 9 observatorios emplazados en depresiones o tierras medias de interior, con altitudes que oscilan entre los 56 m. y los 800 m.: Balenyà, Flix, Lleida, Manresa, Moià, Ollana, Talarn, Tàrraga y Tivissa. Finalmente, 4 observatorios representan los sectores de montaña media y alta montaña mediterránea, con altitudes de entre 940 m y 1708 m. Debido a las características del tipo de análisis empleado, que requiere el uso de series completas de datos, los valores perdidos en las series de cualquiera de los parámetros se han reemplazado por la media aritmética del resto de valores de las series de ese parámetro en el mismo

⁵ Se descartó el observatorio de Nulles por encontrarse cercano a otros dos con características similares y mejores registros: Reus y Vila-seca.

mes y año, aproximación bastante común y que produce resultados satisfactorios (Beale y Little, 1975).

Tabla 1.3. Nombre y datos geográficos de los observatorios seleccionados para el análisis.

Observatorio	Longitud	Latitud	Altitud (en m)
Balenya	02° 15' 33'' E	41° 51' 15'' N	570
Barcelona (Fabra)	02° 07' 27'' E	41° 25' 05'' N	420
Caldes de Montbui	02° 10' 08'' E	41° 36' 50'' N	180
Capdella	00° 59' 28'' E	42° 27' 55'' N	1270
Cardedeu	02° 21' 35'' E	41° 38' 11'' N	195
El Prat Apt.	02° 04' 39'' E	41° 17' 49'' N	6
Flix	00° 32' 03'' E	41° 13' 50'' N	56
Girona	02° 45' 37'' E	41° 54' 05'' N	129
L'Estartit	03° 12' 03'' E	42° 03' 15'' N	2
Lleida	00° 36' 33'' E	41° 37' 27'' N	175
Manresa	01° 48' 53'' E	41° 43' 30'' N	269
Moià	02° 06' 00'' E	41° 49' 00'' N	800
Montrós	00° 58' 19'' E	42° 24' 22'' N	1020
Montserrat	02° 26' 03'' E	41° 46' 33'' N	1708
Oliana (emb)	01° 18' 10'' E	42° 05' 00'' N	480
Reus Apt.	01° 09' 33'' E	41° 08' 45'' N	76
Talarn	00° 54' 29'' E	42° 10' 25'' N	425
Tàrraga	01° 08' 45'' E	41° 39' 04'' N	383
Tivissa	00° 43' 53'' E	41° 02' 37'' N	310
Tortosa	00° 29' 29'' E	40° 49' 14'' N	50
Viella	00° 47' 53'' E	42° 42' 41'' N	940
Vila-seca	01° 08' 42'' E	41° 06' 42'' N	53

1.7. Distribución espacial, evolución y tendencias generales de la temperatura en Cataluña.

La Figura 1.5 muestra la distribución de los promedios anuales de temperatura media diaria en Cataluña obtenidos a partir de los datos de las estaciones integradas en la NESATv2. Este parámetro térmico oscila en Cataluña entre los 17° C que presenta el extremo sur del territorio y los 7° C

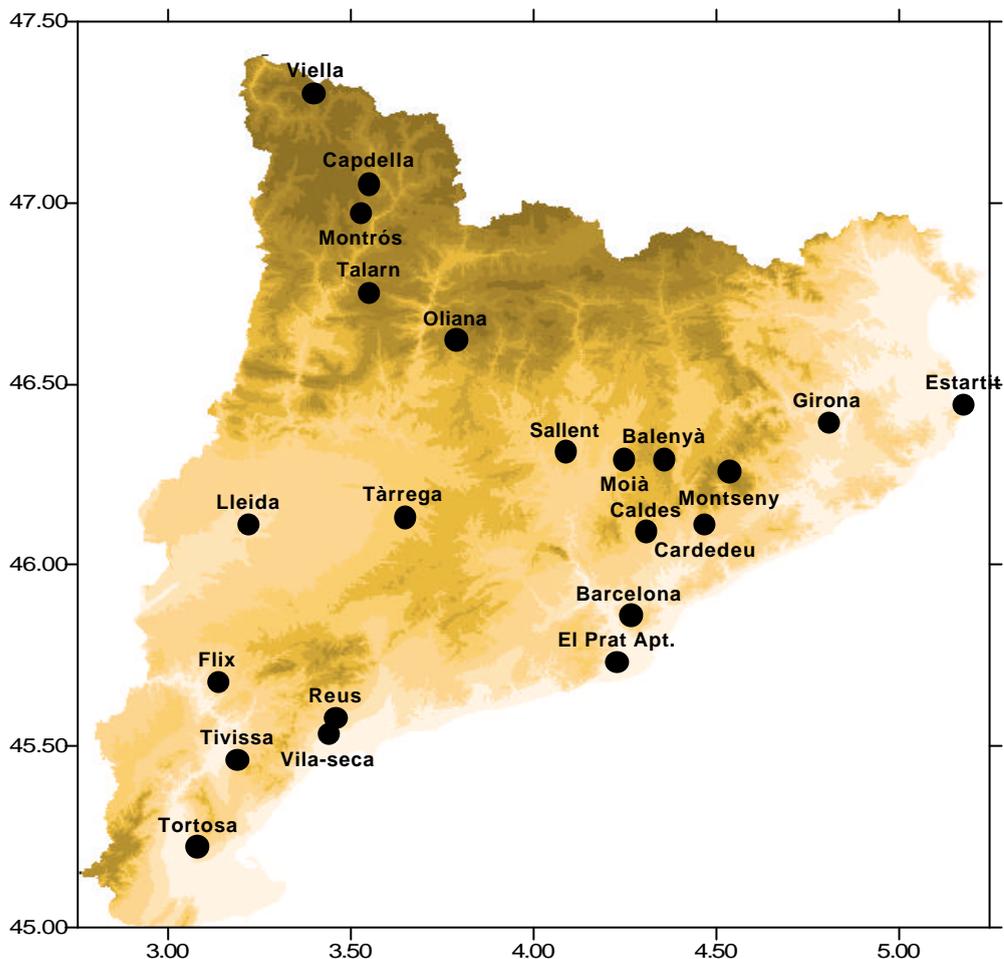


Figura 1.4. Distribución en el territorio catalán de los observatorios meteorológicos utilizados en este trabajo.

que se obtienen en el Montseny, punto donde se encuentra ubicado el observatorio de mayor altitud de la base de datos. La temperatura media muestra en general una distribución espacial decreciente con la latitud y con la altitud, detectándose temperaturas mas elevadas en el litoral que en el interior.

Similar patrón espacial puede observarse en el promedio anual de la temperatura mínima, con valores mas elevados en la zona costera meridional y mínimos en las zonas de alta y media montaña de la mitad septentrional (Figura 1.6). El promedio anual de la temperatura máxima, en cambio, localiza sus valores máximos en el litoral meridional y Depresión Central,

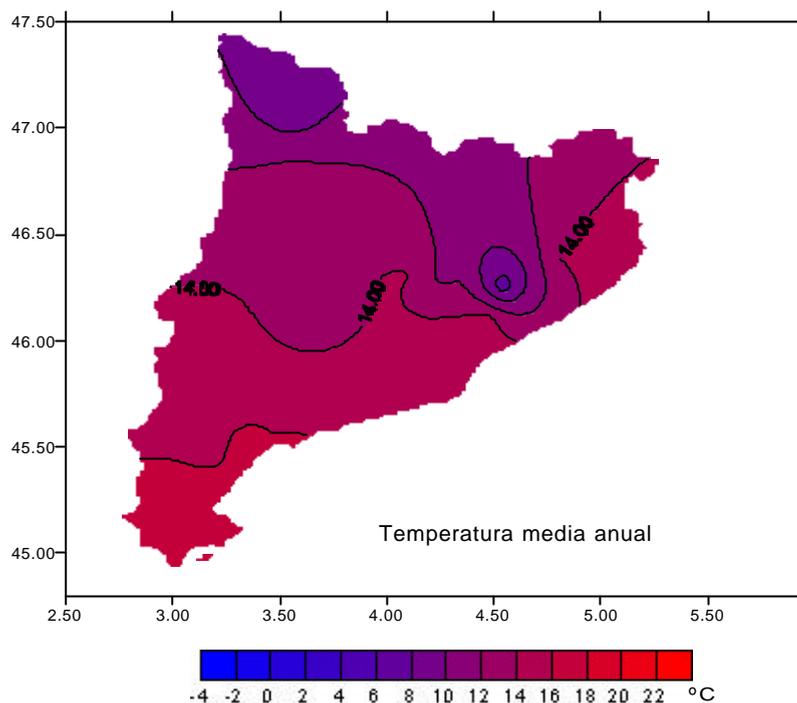


Figura 1.5. Distribución de los promedios anuales de temperatura media diaria en Cataluña obtenidos a partir de los datos de las estaciones integradas en la NESATv2.

con temperaturas máximas más suaves en el área litoral que en las depresiones interiores situadas en la misma latitud.

La evolución de los promedios anuales de los tres parámetros de la temperatura en Cataluña se corresponde en general con las tendencias observadas a escala planetaria, si bien presentan características propias

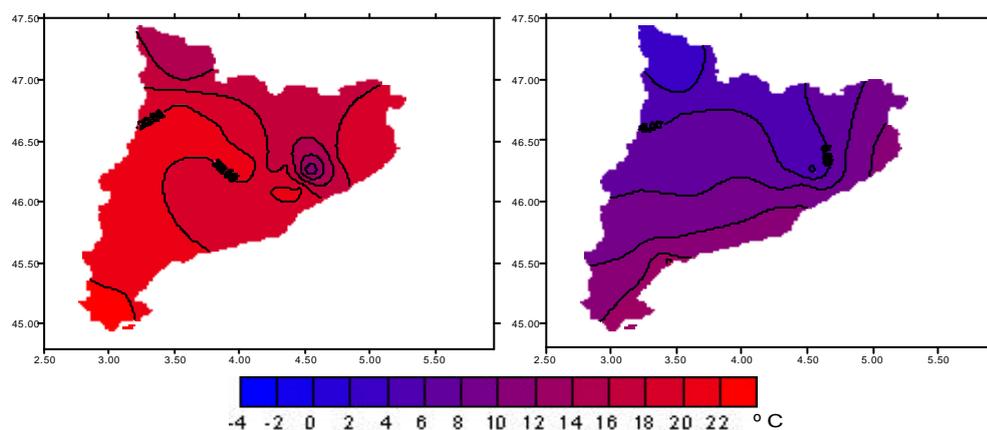


Figura 1.6. Distribución sobre el territorio catalán de los promedios anuales de la temperatura máxima diaria (izquierda) y de la temperatura mínima diaria (derecha) de los observatorios incluidos en la base NESATv2.

(Figura 1.7). Durante la primera mitad del periodo analizado, 1950-1973, las temperaturas configuran una fase caracterizada por un progresivo descenso de los valores térmicos. Sin embargo, durante la segunda mitad del periodo, 1974-1998, la temperatura experimenta un rápido ascenso, situándose al final del periodo por encima de los valores iniciales de principios de los 50. El resultado de esta evolución es una marcada y significativa tendencia positiva en las tres variables de la temperatura (Tabla 1.4), con un incremento de 0.88°C en la temperatura media. El mayor incremento esta localizado en la temperatura máxima, superior a 1°C para el conjunto del periodo, mientras que para la temperatura mínima se detecta un incremento menor, de 0.75°C .

La distribución espacial de los promedios de las cuatro estaciones climatológicas estándar de la temperatura media diaria reflejan en general el patrón decreciente sur-norte con las modificaciones introducidas por la orografía del territorio (Figura 1.8). Las mayores diferencias en la distribución espacial estacional se encuentran entre las estaciones solsticiales. Durante el invierno, la temperatura media mas elevada aparece localizada paralela a la línea de costa, mientras que en las áreas montañosas y zonas interiores los valores son sensiblemente más bajos.

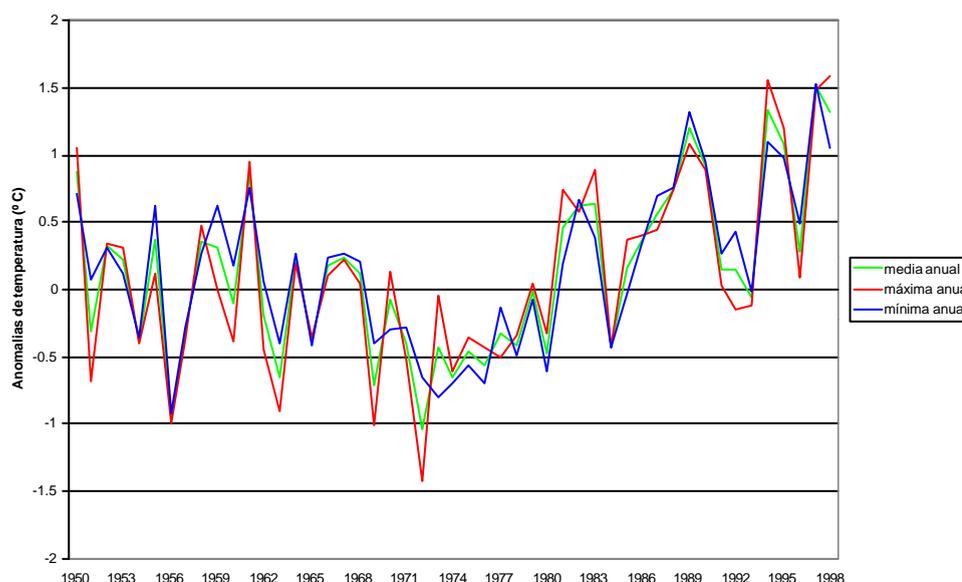


Figura 1.7. Evolución de los promedios anuales correspondientes a la temperatura media, máxima y mínima diarias en Cataluña, 1950 – 1998.

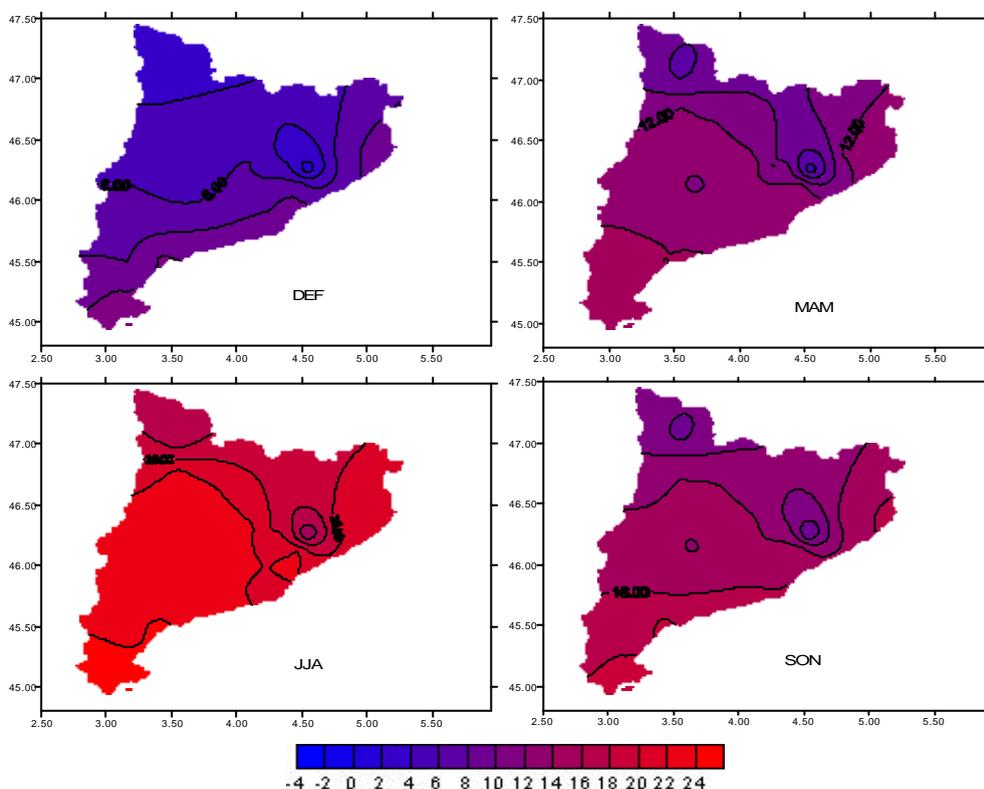
Tabla 1.4. Tendencias anuales e incrementos totales de los promedios anuales de temperatura media máxima y mínima diaria en Cataluña para el periodo 1950-1998.

	Tendencia Anual	Incremento Periodo
Media	0.018**	0.88
Máxima	0.021**	1.02
Mínima	0.015**	0.75

* Significativa al 95 %

** Significativa al 99 %

En verano, en cambio, son los sectores de las áreas deprimidas del interior, incluidas las localizadas en el Prepirineo, las que presentan valores mas



elevados de temperatura media, junto con el litoral meridional. Los valores más moderados tienden a concentrarse en las zonas de alta montaña y en el litoral septentrional. Las dos estaciones equinocciales muestran una distribución espacial muy similar, intermedia entre el patrón estival y el invernal, propia de la situación de transición que caracteriza a la primavera y el otoño.

Figura 1.8. Distribución espacial de los promedios estacionales de temperatura media diaria en Cataluña obtenidos a partir de los datos de las estaciones integradas en la NESATv2.

Al examinar la evolución estacional de las series regionales de la temperatura media pueden observarse diferencias (Figura 1.9). La evolución más similar a la del parámetro anual la presentan las estaciones de primavera y otoño. En éstas se diferencia la fase de enfriamiento característica de la primera mitad del periodo y la posterior fase de calentamiento propia de la segunda mitad. En la Tabla 1.5 puede verse como ambas estaciones muestran una tendencia general de carácter positivo, aunque sin significación estadística para los niveles del 95 % ni del 99 %. Durante la estación estival, en cambio, si se detecta una tendencia positiva, significativa al 95 %, fruto de una evolución térmica diferente de las anteriores, con una fase de enfriamiento limitada a la primera década del periodo examinado.

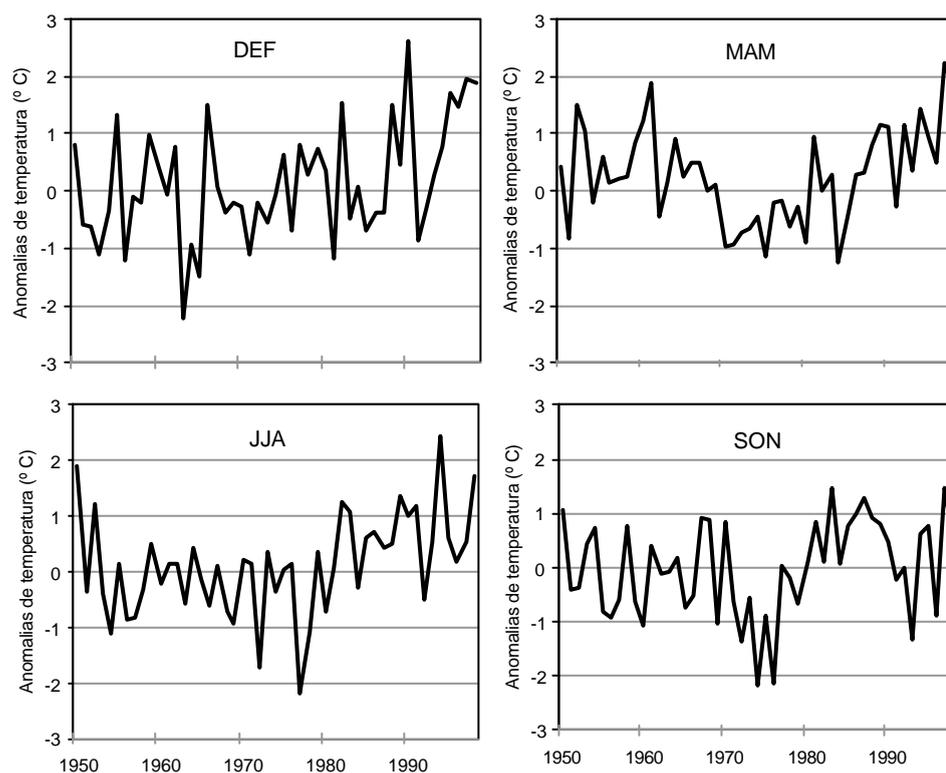


Figura 1.9. Evolución de los promedios estacionales correspondientes a la temperatura media diaria en Cataluña, 1950 – 1998.

El mayor incremento en las series regionales estacionales de la temperatura media se identifica con el invierno, en cuya evolución se aprecia una tendencia al incremento térmico que abarca todo el periodo, con significación estadística al 99 %, sin que se observe la fase de enfriamiento inicial característica del resto de las estaciones.

Similares tendencias se detectan en las series regionales estacionales de los dos parámetros extremos. En ambos casos las tendencias con significación estadística pertenecen al invierno y el verano, mientras que en las estaciones equinocciales las series tienen carácter positivo pero sin llegar a ser estadísticamente significativas.

En el Apéndice II se muestran las series regionales catalanas a escala mensual obtenidas para los promedios de la temperatura media, máxima y mínima diaria.

Tabla 1.5. Tendencias estacionales e incrementos totales de los promedios anuales de temperatura media máxima y mínima diaria en Cataluña para el periodo 1950-1998.

	Media		Máxima		Mínima	
	Tendencia	Periodo	Tendencia	Periodo	Tendencia	Periodo
invierno	0.028**	1.38	0.026**	1.28	0.030**	1.47
primavera	0.009	0.42	0.014	0.71	0.003	0.14
verano	0.022*	1.08	0.028**	1.35	0.017*	0.82
otoño	0.013	0.65	0.015	0.74	0.011	0.56

* Significativa al 95 %

** Significativa al 99 %

2 El comportamiento espacio-temporal de la temperatura del aire en Cataluña

En este segundo capítulo se recogen los resultados obtenidos tras la aplicación del Análisis de Componentes Principales con rotación Varimax a las series temporales de la temperatura del aire en Cataluña, correspondientes a los tres parámetros estudiados: promedios mensuales y anuales de la temperatura media, máxima y mínima diaria.

Con el análisis de las temperaturas catalanas mediante la aproximación RPCA reseñada se pretende cumplir con parte de los objetivos específicos planteados al inicio de esta Tesis:

- Determinar la existencia o inexistencia de sectores con diferente evolución térmica en Cataluña para todos o alguno de los tres parámetros estudiados a escala anual y mensual.
- Examinar la evolución térmica en las áreas definidas por los distintos componentes obtenidos de los promedios anuales y mensuales de las temperaturas diarias.
- Evaluar la contribución de cada uno de los componentes extraídos a la configuración de las tendencias existentes en las series regionales catalana.
- Analizar las relaciones entre la temperatura superficial del Mediterráneo Occidental y la variabilidad de la temperatura del aire en el territorio catalán.

El capítulo está estructurado en tres partes. La primera de éstas examina la distribución espacial y la evolución temporal de los componentes obtenidos al aplicar el RPCA a los promedios anuales de los parámetros térmicos estudiados. Incluye las tendencias observadas en las series de los

componentes y se evalúa la influencia que los diferentes componentes tienen sobre la evolución de las series regionales catalanas.

El segundo apartado de este capítulo es el más extenso. Recoge la variabilidad espacial y temporal observada en los diversos RPCs obtenidos al aplicar el RPCA a los promedios mensuales de la temperatura media, máxima y mínima diarias catalanas. Al igual que en el apartado primero, se identifica la distribución espacial que presentan los pesos de los componentes, se describe su evolución temporal y la tendencia presente en las series temporales y se destacan aquellos componentes que contribuyen de forma sustancial a la configuración de la curva regional mensual del parámetro correspondiente.

El tercer y último apartado del capítulo recoge el análisis de la influencia de la temperatura superficial del Mediterráneo Occidental sobre la variabilidad de la temperatura del aire en el territorio catalán, a través de analizar las correlaciones existentes entre los componentes extraídos de los promedios de temperatura mensuales y dos series temporales de la temperatura superficial marina: la primera de ellas corresponde a la serie obtenida de la base de datos HadSST1 de temperatura superficial del mar proporcionado por la *Climatic Research Unit* de la Universidad de East Anglia; y la segunda, a las observaciones realizadas en la costa de L'Estartit.

2.1 La variabilidad interanual de la temperatura del aire en Cataluña

En este apartado se examina la variabilidad espacial y temporal de la temperatura del aire en Cataluña a través de los componentes principales rotados obtenidos al aplicar el RPCA a los promedios anuales de los parámetros térmicos estudiados.

El análisis de componentes principales de los promedios anuales de temperatura media, máxima y mínima diarias arroja como resultado 2

componentes principales para la temperatura media, 3 en el caso de la temperatura máxima y 3 para la temperatura mínima,

La rotación Varimax de estos 8 componentes principales permite obtener un reparto más equitativo del porcentaje de varianza de las series originales, de tal manera que la distribución de los pesos de los componentes configura patrones espaciales bien definidos.

El primer componente de la temperatura media, RPC117TM, muestra un patrón espacial (Figura 2.1) con los pesos máximos situados en el centro de la región occidental, abarcando la Depresión Central, Prepirineo Occidental y extendiéndose hasta puntos de la Cordillera Prelitoral meridional. La serie temporal asociada a este componente muestra una tendencia general prácticamente nula (ver Tabla 2.1). Entre 1960 y 1990 los valores experimentan una oscilación negativa con el mínimo situado en torno a 1975.

El patrón espacial correspondiente al segundo componente de la temperatura media, RPC217TM, corresponde a un patrón litoral, centrado especialmente en el litoral y prelitoral central y norte. La serie temporal asociada presenta una clara tendencia positiva, significativa al 99%, reflejo del progresivo incremento térmico que se registra en la serie desde la segunda mitad de los años 50.

Los dos componentes indican la existencia de dos áreas diferenciadas espacialmente con una evolución temporal diferente: una, predominantemente interior y en el sector occidental del territorio, sin tendencia total apreciable; y otra, básicamente litoral, en la que los valores experimentan un nítido incremento.

Al examinar la serie regional anual de la temperatura media se descubre que es resultado de la influencia de ambos componentes. Dicha serie presenta una evolución similar a la del primer componente, caracterizada por una disminución de los valores de las anomalías entre el inicio del periodo y mediados de los años 70, que es el mínimo de la serie y punto de inflexión a partir del cual se produce un incremento térmico que perdura hasta el final del periodo. Por otro lado, la influencia del segundo componente matiza de

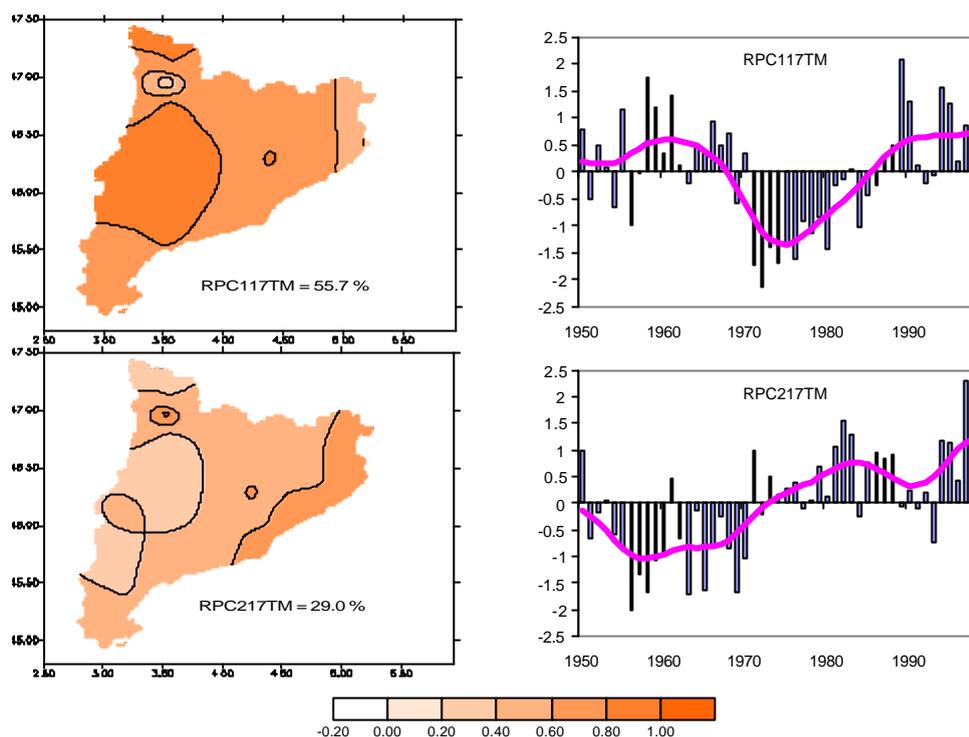


Figura 2.1. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados de la temperatura media anual (izquierda) y series temporales normalizadas de los mismos componentes (derecha). Las columnas representan las anomalías de la temperatura. La curva representa un filtro gaussiano de trece términos (Para su elaboración se han utilizado seis años extra en los extremos con valores igual al promedio de los seis primeros/finales años del componente).

forma importante el descenso de la temperatura observado en la primera mitad del periodo y refuerza la fase cálida final, de forma que es este componente, que tiene una vigorosa tendencia positiva estadísticamente significativa, el responsable del incremento térmico registrado en la serie regional.

Patrones parecidos pueden observarse en los dos primeros componentes de la temperatura máxima anual (Figura 2.2). El primer componente, RPC117TX, presenta una distribución espacial muy similar a la de RPC117TM, si bien el área abarcada por los valores máximos del componente es más reducida. La evolución temporal del componente presenta para el conjunto una tendencia ligeramente negativa, con una evolución caracterizada por un decremento de los valores térmicos en la

Tabla 2.1. Valor de la pendiente de las tendencias totales de las series temporales normalizadas de los componentes principales rotados de los promedios anuales de las temperaturas diarias.

Media		Maxima			Minima		
RPC117TM	RPC217TM	RPC117TX	RPC217TX	RPC317TX	RPC117TN	RPC217TN	RPC317TN
0.002	0.043**	-0.010	0.040**	0.019	0.015	0.008	0.019

(*) Significación al 95 %

(**) Significación al 99%

primera mitad del periodo, seguida de otro subperiodo de calentamiento que finaliza en torno a 1989.

El segundo componente, RPC217TX, define un patrón espacial litoral que se difumina hacia el interior. La tendencia general de la serie temporal es marcadamente positiva y significativa estadísticamente, con una fase fría inicial en los primeros veinte años seguida de una fase cálida que abarca el resto del periodo, resultado de un progresivo incremento de los valores de las anomalías que se inicia a mediados de los años 60. Constituye el componente de las máximas con mayor tendencia, responsable en gran medida de los incrementos observados en la serie regional de la temperatura máxima anual.

El último componente de la temperatura máxima, RPC317TX, sitúa sus pesos más elevados en dos áreas del sector occidental del territorio: una en el extremo norte, en la Vall d’Aran; y otra en el sur, en la zona del curso final del río Ebre. La serie temporal de este componente presenta también en conjunto una tendencia positiva, aunque de menor intensidad que la anterior y sin significación estadística para los niveles utilizados, caracterizada por una alternancia de fases frías y cálidas. Tanto el máximo como el mínimo de la serie se localizan respectivamente en la fase cálida de los años 60 y en la fase fría de los años 50, mientras que en el resto del periodo se observa un incremento térmico que se inicia a mediados de los años 70 y continua hasta el final de la serie.

De forma similar a como sucedía con los componentes de la temperatura media, para los componentes correspondientes a la temperatura máxima

anual la única tendencia positiva significativa se identifica con el componente que muestra un patrón espacial centrado en el sector del Sistema Litoral Catalán.

También de forma análoga a los resultados obtenidos para el promedio anual de la temperatura media diaria, el componente que mas contribuye a la tendencia observada en la serie regional de la temperatura máxima anual es el RPC217TX, el único de los componentes de la temperatura máxima con tendencia significativa.

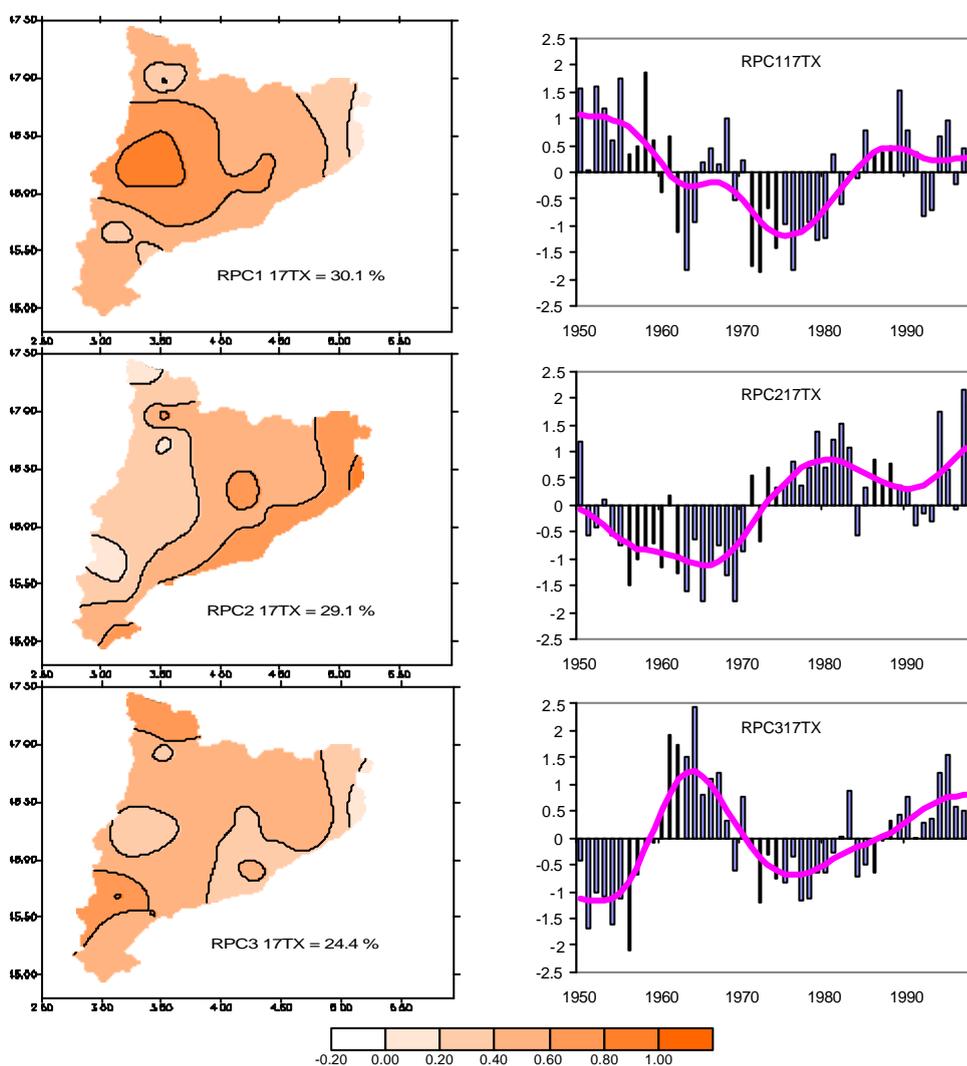


Figura 2.2. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados de la temperatura máxima anual (izquierda) y serie temporal normalizada del mismo componente (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

Así mismo, la influencia de los otros dos componentes queda patente en la evolución de la serie regional, especialmente en la fase fría registrada en los años 70.

Los patrones espaciales definidos por los tres componentes principales correspondientes a la temperatura mínima anual presentan diferencias respecto los anteriores (Figura 2.3). El primer componente, RPC117TN, configura un patrón espacial con valores elevados de sus pesos por gran parte del territorio, con excepción del extremo noroccidental y el litoral septentrional. La evolución de la serie temporal de este componente presenta un comportamiento similar al de la curva regional, con los valores mínimos situados en la fase fría de los años 70 y los máximos en la fase cálida de la última década del periodo. El resultado de esta evolución es una tendencia general ligeramente positiva, no significativa estadísticamente.

El segundo componente, RPC217TN, caracteriza una franja en el sector noroccidental del territorio. La serie temporal asociada muestra un comportamiento estacionario, con pequeñas oscilaciones decadales y con tendencia muy reducida o casi nula.

El tercer componente, RPC317TN, corresponde al litoral norte, y el valor de sus pesos disminuye rápidamente hacia el interior. La serie temporal muestra una tendencia general positiva, con la mayor pendiente de las tres componentes del parámetro, sin llegar a ser significativa. La evolución de la serie alterna una sucesión de fases cálidas en las décadas de los años 60 y la de los años 90, y fases frías en los años 50 y el subperiodo 1970-1990.

Dado que la mayor parte del territorio aparece representada por el primer componente de la temperatura mínima, la serie regional se ve claramente influenciada por este RPC, siendo la contribución de los otros dos componentes mucho menor, únicamente suavizando la evolución de la curva regional en la parte central del periodo e incrementando las anomalías de temperatura en el final del periodo.

Contrariamente a lo que sucede en los componentes correspondientes al promedio anual de la temperatura media y al de la temperatura máxima, pese a que el tercer componente de las mínimas presente un patrón de carácter

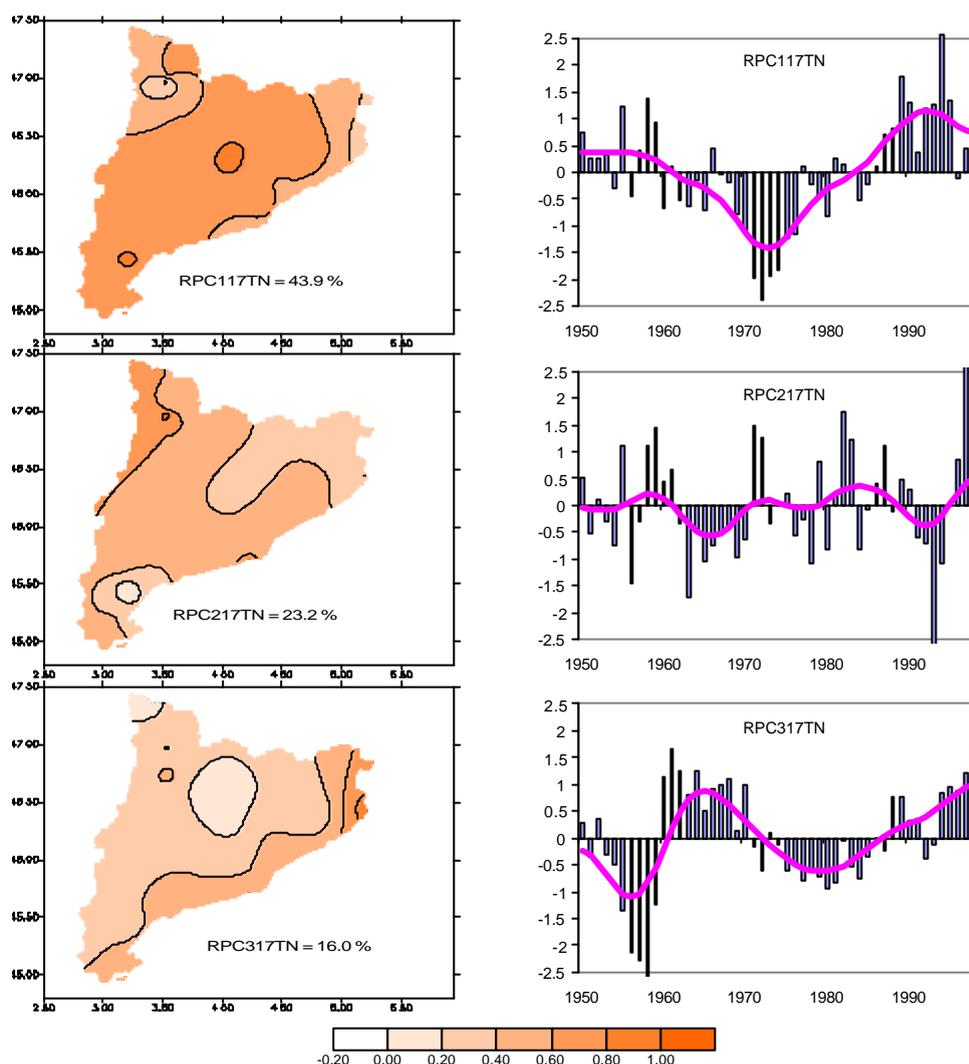


Figura 2.3. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados de la temperatura mínima anual (izquierda) y serie temporal normalizada del mismo componente (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

litoral, no existe una clara tendencia significativa en ninguno de los componentes extraídos del promedio anual de temperatura mínima, aunque tanto el primero como el tercero presentan en la segunda mitad del periodo analizado notables incrementos térmicos.

También existe una mayor similitud entre los patrones espaciales definidos por los componentes de la temperatura media y de la máxima que entre los correspondientes a la temperatura media y a la mínima, indicando una mayor contribución de las temperaturas máximas a la configuración

tanto de las variaciones temporales de la temperatura media como de su tendencia.

De todo lo anterior se desprende la existencia de diferentes áreas en el territorio objeto de estudio que presentan una evolución térmica diferenciada. El sector más cercano a la costa, constituido por el Sistema Litoral Catalán, muestra en los tres parámetros estudiados la mayor tendencia positiva, si bien estas tendencias son significativas estadísticamente para la temperatura media y la temperatura máxima únicamente, dado que la tendencia observada en el componente de la temperatura mínima, con una pendiente menor que las dos anteriores, no presenta significación para los niveles utilizados.

Para la temperatura máxima y la temperatura media, este sector litoral es el responsable del incremento térmico detectado en las series regionales catalanas de forma prácticamente exclusiva. Por el contrario, las áreas situadas hacia occidente, especialmente en el centro y norte, presentan una tendencia positiva mucho menor, o incluso negativa, responsabilizándose en gran parte de la fase fría detectada en las series regionales en la década de los años 70.

La tendencia estimada para la serie regional de la temperatura mínima, aunque esta contribuida en parte por este sector del territorio, corresponde en cambio a un incremento que se produce también en gran parte del territorio, exceptuando el extremo noroccidental.

2.2 Variaciones espaciales y temporales de la temperatura del aire en Cataluña a escala mensual.

En este apartado se recogen la variabilidad en la distribución espacial y en la evolución temporal de la temperatura del aire en Cataluña, caracterizada por los diferentes RPCs obtenidos tras la aplicación del Análisis de Componentes Principales Rotados a los promedios mensuales de los tres parámetros de la temperatura diaria analizados.

El Análisis de Componentes Principales se ha realizado de forma independiente sobre los promedios mensuales de la temperatura media, máxima y mínima diaria, obteniéndose un total de 77 componentes para el umbral 0.7.

El numero de componentes principales aislado para cada mes y parámetro queda reflejado en la Tabla 2.2. El parámetro con mayor número de componentes aislados para el conjunto anual es el promedio mensual de la temperatura máxima diaria, que presenta un total de 31 componentes, seguido del promedio mensual de la temperatura mínima diaria, con 26 componentes diferenciados. El promedio mensual de la temperatura media diaria es el parámetro con menor numero de componentes aislados, 20.

El porcentaje de la varianza de las series explicado por los componentes oscila entre el 80.17 % y el 89.93 %, con un promedio del 87.93 % para el promedio mensual de la temperatura media diaria, el 86.38 % en el caso del promedio mensual de la temperatura máxima diaria y el 85.64 % para el promedio mensual de la temperatura mínima diaria. Dicho porcentaje aparece desglosado para cada parámetro y mes en la Tabla 1.2.

La rotación ortogonal tipo Varimax se ha aplicado a un total de 68 de los 77 componentes principales de los tres parámetros estudiados, quedando fuera del análisis aquellos componentes principales que pertenecen a meses en los cuales únicamente se aisló un componente principal, hecho que imposibilita su rotación. Concretamente, se han obtenido 15 componentes principales rotados para el promedio mensual de la temperatura media diaria, 29 para el

Tabla 2.2. Numero de componentes principales aislado para los tres promedios mensuales de temperatura en cada uno de los meses del año.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
media	2	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	3	20
máxima	4	2	2	4	1	2	2	3	2	1	4	4	31
mínima	2	1	2	4	3	2	2	2	1	2	2	3	26
total	8	4	6	10	5	5	6	7	4	4	8	10	77

promedio mensual de la temperatura máxima diaria y 24 para el promedio mensual de la temperatura mínima diaria.

Los meses que presentan mayor número de componentes en los tres parámetros son abril y diciembre, con diez componentes rotados, seguidos de enero y noviembre, con ocho. En el otro extremo se encuentran los meses de febrero, septiembre y octubre, con dos componentes rotados, es decir, presentan un único componente en dos de los tres parámetros estudiados.

En los subapartados siguientes se describen los patrones espaciales de los componentes principales rotados encontrados para cada mes, así como las series temporales asociadas con estos componentes, para cada uno de los tres parámetros estudiados. Se identifican también aquellos componentes que muestran mayor influencia sobre la evolución o la tendencia de la serie regional del mes y parámetro correspondiente.

2.2.1. Patrones intranuales de los componentes principales rotados extraídos de los promedios mensuales de la temperatura media diaria.

El análisis de componentes principales del promedio mensual de las temperaturas medias diarias diferencia 20 componentes, de los cuales 15 son componentes principales rotados y 5 componentes principales sin rotar. Estos últimos corresponden a los meses de febrero, mayo, junio, septiembre y octubre. Al haberse diferenciado únicamente un componente sin rotar, éstos representan un porcentaje muy elevado de la variabilidad original, de tal manera que la distribución espacial de los pesos de estos componentes muestra un patrón espacial homogéneo sobre el territorio, mientras que las series temporales de los PC se revelan prácticamente idénticas a las series regionales de los meses correspondientes.

El resto de los meses, en los que la existencia de dos o más componentes ha permitido su rotación, sí que se observan patrones espaciales diferenciados, con evoluciones temporales particulares. Las tendencias de las series temporales de los RPCs pueden observarse en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Tendencias anuales de los RPCs extraídos de los promedios mensuales de temperatura media diaria.

RPC101TM	0.009		RPC108TM	0.034**
RPC201TM	0.022*		RPC208TM	0.011
RPC103TM	0.008		RPC111TM	0.013
RPC203TM	0.008		RPC211TM	0.007
RPC104TM	0.003		RPC112TM	0.003
RPC204TM	0.003		RPC212TM	0.015
RPC107TM	0.012		RPC312TM	0.006
RPC207TM	0.009			

* Significativa al 95 %

** Significativa al 99 %

Enero

El análisis de las temperaturas medias diarias del mes de enero aísla dos componentes principales (Figura 3.5). El primero, RPC101TM, se centra en la mitad suroccidental del territorio, abarcando sus valores máximos el área de la Depresión Central, Prepirineo Occidental y todo el extremo sur del territorio. La serie temporal asociada a este componente muestra una evolución con muy pocas oscilaciones y sin tendencia apreciable, con excepción de la última década en la que se observa un sostenido incremento de los valores térmicos.

El segundo componente, RPC201TM, centra sus máximos pesos en el Pirineo y Montseny, abarcando también la mitad norte del litoral. La serie temporal asociada al componente presenta una tendencia positiva significativa, interrumpida únicamente por un subperiodo durante la década 1976-1986 en el que se observa un decremento en los valores térmicos, retomando a continuación el carácter positivo de la tendencia con la máxima pendiente de la serie. Esta evolución es muy similar a la experimentada por la serie regional de la temperatura media de este mes, lo que indica una notable contribución de este componente a dicha serie regional.

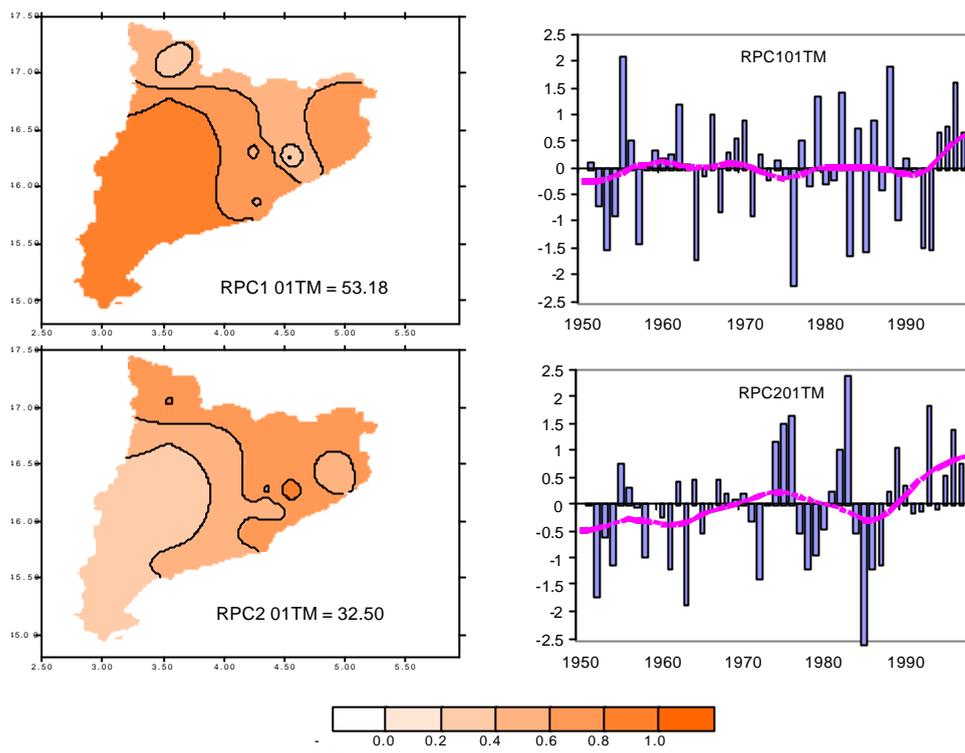


Figura 2.4. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura media diaria del mes de enero (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

Marzo

Dos RPC son también los que aparecen diferenciados durante el mes de marzo. En este caso, los pesos máximos del primer componente, RPC103TM, se localizan en el noroeste del territorio analizado, disminuyendo hacia el sur hasta encontrar los valores mínimos en el litoral meridional (Figura 2.5). La serie temporal asociada a este componente muestra una tendencia positiva no significativa, con una evolución que presenta una primera fase de decrecimiento de los valores térmicos que se extiende desde el inicio hasta 1970, punto de inflexión a partir del cual se invierte este comportamiento y se configura un subperiodo de calentamiento que se extiende hasta la actualidad.

El segundo componente, RPC203TM, muestra una distribución espacial opuesta a la anterior, con los valores máximos situados en el litoral sur y los valores mínimos en el norte del territorio. Su evolución temporal, marcada por una tendencia general idéntica a la del componente anterior, exhibe una

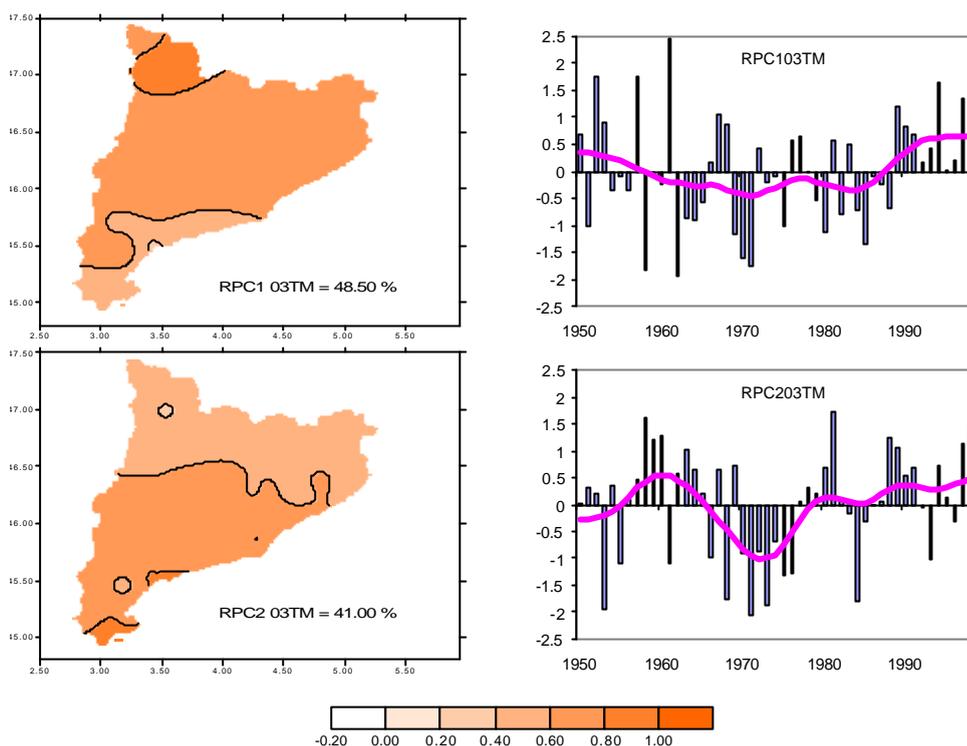


Figura 2.5. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura media diaria del mes de marzo (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

evolución más semejante a la de la serie regional. Se inicia con un subperiodo de incremento térmico durante la primera década, seguido por un comportamiento opuesto en la década siguiente. A partir de principios de los años 70 comienza un fuerte incremento de los valores de temperatura que, suavizado a partir de 1980, abarca hasta el final de la serie.

Abril

Los dos componentes aislados durante el mes de abril (Figura 2.6), RPC104TM y RPC204TM, guardan bastante semejanza con los dos componentes del mes anterior. El primer componente centra sus pesos máximos en el área noroccidental del territorio estudiado, disminuyendo hacia el litoral y el sur. La serie temporal asociada al componente se inicia con una evolución negativa de los valores térmicos que se prolonga hasta la segunda mitad de la década de los 70. A partir de este punto de inflexión, se configura un subperiodo de signo contrario que se extiende hasta el final

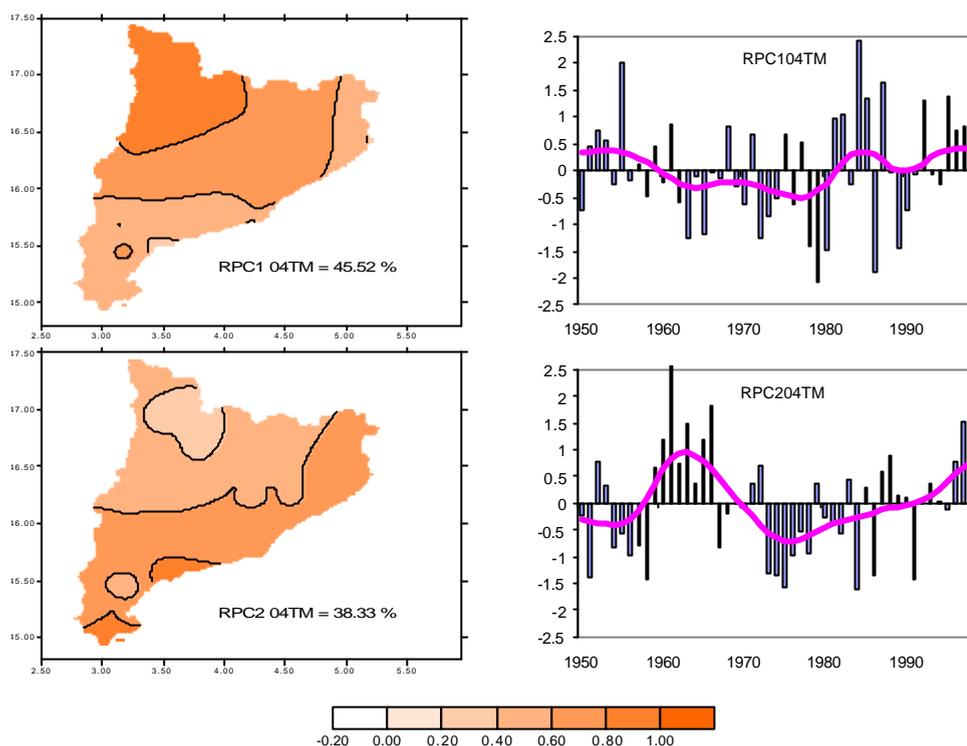


Figura 2.6. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura media diaria del mes de abril (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

de la serie, resultando una tendencia general de la misma prácticamente nula.

RPC204TM, el segundo componente del mes de abril, presenta un patrón espacial con los valores máximos en el litoral, especialmente en el sur, mientras que sus valores mínimos se encuentran en la zona del Pirineo Occidental, en el área más alejada de la costa. En la primera mitad del periodo, la serie temporal muestra una oscilación de carácter positivo, con los valores máximos de las anomalías situados en la década de los años sesenta. La segunda mitad, en cambio, se caracteriza por un sostenido incremento de los valores de las anomalías. El resultado es una tendencia general idéntica a la del primer componente, igual que sucedía con los componentes del mes anterior.

Ambos componentes presentan semejanzas con la serie regional, aunque dicha semejanza es mas clara en el caso del segundo componente que en el del primero. El segundo componente coincide con la evolución en general de

la serie regional, mientras que el primero matiza sobretodo la evolución de la fase cálida final.

Julio

Los dos componentes aislados en el mes de julio, como sucedía en los meses anteriores, presentan patrones espaciales opuestos (Figura 2.7). El primer componente, RPC107TM, configura una distribución espacial con los valores máximos del componente centrados en el litoral, disminuyendo conforme la distancia a éste se incrementa hacia el interior. La evolución de su serie temporal determina una tendencia positiva no significativa, caracterizada por dos subperiodos: un primero, desde el inicio de la serie hasta finales de los años 70, de carácter negativo; y un segundo, con un fuerte incremento de las anomalías de temperatura, que abarca hasta el final de la serie, de manera que los valores de la década de los noventa son los máximos de la serie.

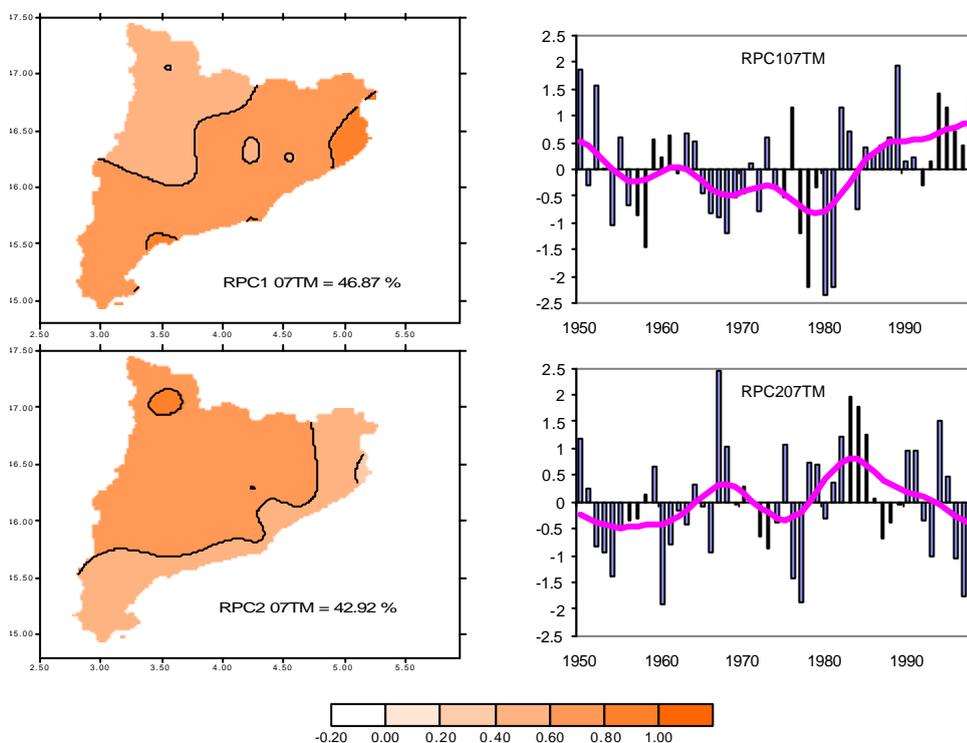


Figura 2.7. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura media diaria del mes de julio (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

El segundo componente, RPC207TM, muestra un patrón espacial con los pesos máximos centrados en el área noroccidental y disminuyendo en dirección sur y hacia el litoral. Dentro de su comportamiento temporal se observa un progresivo incremento desde los inicios de la serie hasta el año 1983, seguida de un sostenido desplome de valores desde éste año hasta el final de la misma, de manera que del máximo de 1983 se pasa a valores cercanos a los mínimos de la década de los 50 en el final de la serie. La tendencia general resultante es ligeramente positiva, sin significación estadística.

La evolución temporal de los dos componentes presenta una estructura claramente opuesta. El primero es el que guarda mayor similitud con la evolución de la serie regional, aunque en los últimos 15 años de la serie se advierte claramente la influencia del descenso de los valores térmicos experimentados en el área definida por el segundo componente.

Agosto

El RPC108TM y el RPC208TM son los dos componentes aislados durante el mes de agosto (Figura 2.8). Presentan patrones espaciales similares a los dos componentes del mes anterior, centrándose el primero en el área litoral para ir disminuyendo hacia el Pirineo Occidental, mientras que el segundo componente muestra sus valores máximos en esta última zona, con los mínimos en el litoral y sector sur del territorio.

La evolución temporal del primer componente del mes de agosto muestra un ligero decremento de los valores de temperatura desde el inicio de la serie hasta 1980, a partir del cual se invierte en un sostenido y vigoroso ascenso (en seis años se supera el mínimo del subperiodo anterior), que se estabiliza al final de la serie. La tendencia de esta serie constituye la de mayor pendiente de todos los componentes extraídos del promedio mensual de temperatura media diaria y, con un valor de 0.034, es la única que presenta significación estadística al 99%.

El patrón temporal del RPC208TM es muy diferente. Presenta un subperiodo tendente a un ligero incremento en los valores térmicos entre

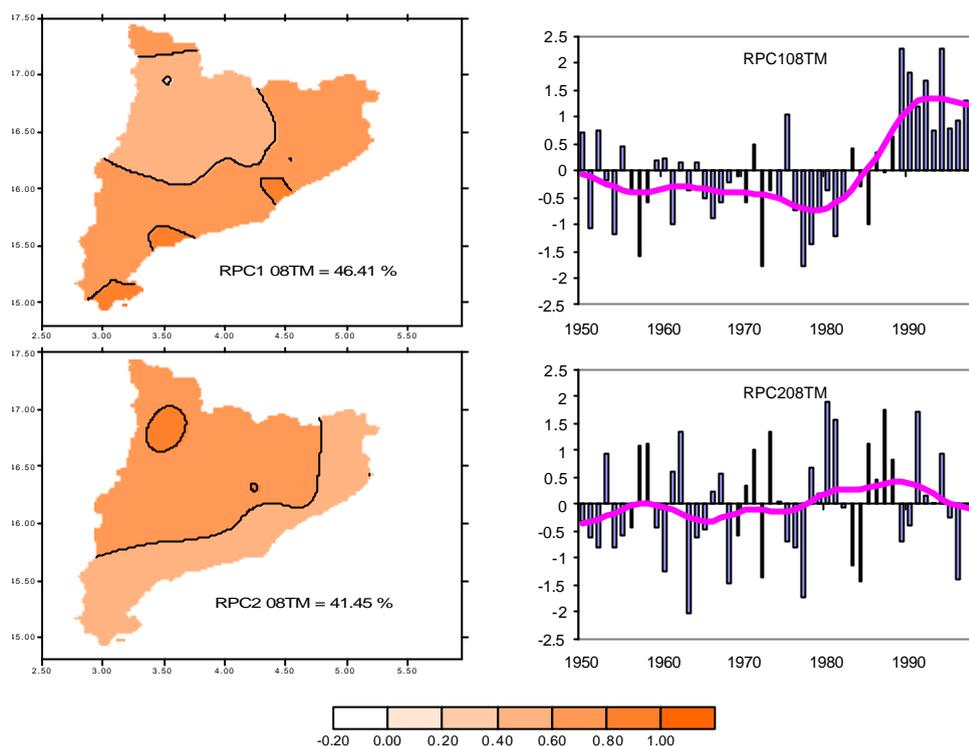


Figura 2.8. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura media diaria del mes de agosto (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

1950-1989, invirtiéndose el comportamiento durante la última década. Su tendencia, aunque positiva, es de un valor bastante menor que el anterior y no tiene significación estadística.

La evolución de la serie regional de la temperatura media del mes de agosto es prácticamente idéntica a la del primer componente, mientras que el segundo tiene una contribución mínima a dicha serie regional.

Noviembre

Durante el mes de noviembre se aíslan dos componentes, RPC111TM y RPC211TM (Figura 2.9). El primer componente distribuye sus pesos máximos en el área de la Depresión Central, abarcando también el Prepirineo Occidental y parte del Sistema Litoral Catalán meridional. Los valores mínimos aparecen en el Pirineo Occidental y en el Macizo del Montseny.

La serie temporal asociada a este componente muestra una evolución en la que se alternan periodos de crecimiento y decrecimiento de las temperaturas,

con un resultado general de esta evolución que se traduce en una tendencia de carácter positivo, no significativa estadísticamente.

El segundo componente, RPC211TM, presenta un patrón espacial inverso al anterior. Los valores máximos del componente aparecen situados en el Pirineo Occidental y en el Montseny, mientras que los valores mínimos se ubican en la Depresión Central. La evolución temporal del componente muestra una fase inicial de enfriamiento durante el periodo 1950-1962, que se invierte a partir de este último año incrementándose los valores de la temperatura hasta 1982. A continuación encontramos un nuevo subperiodo negativo entre 1982 y 1989, seguido de otro de crecimiento que continua hasta el final del periodo, de manera que los valores máximos se sitúan en torno a 1982 y a 1996. Este comportamiento sinusoidal arroja una tendencia general no significativa.

La contribución de ambos a la serie regional es similar, con una curva regional que es promedio de la evolución de los dos componentes.

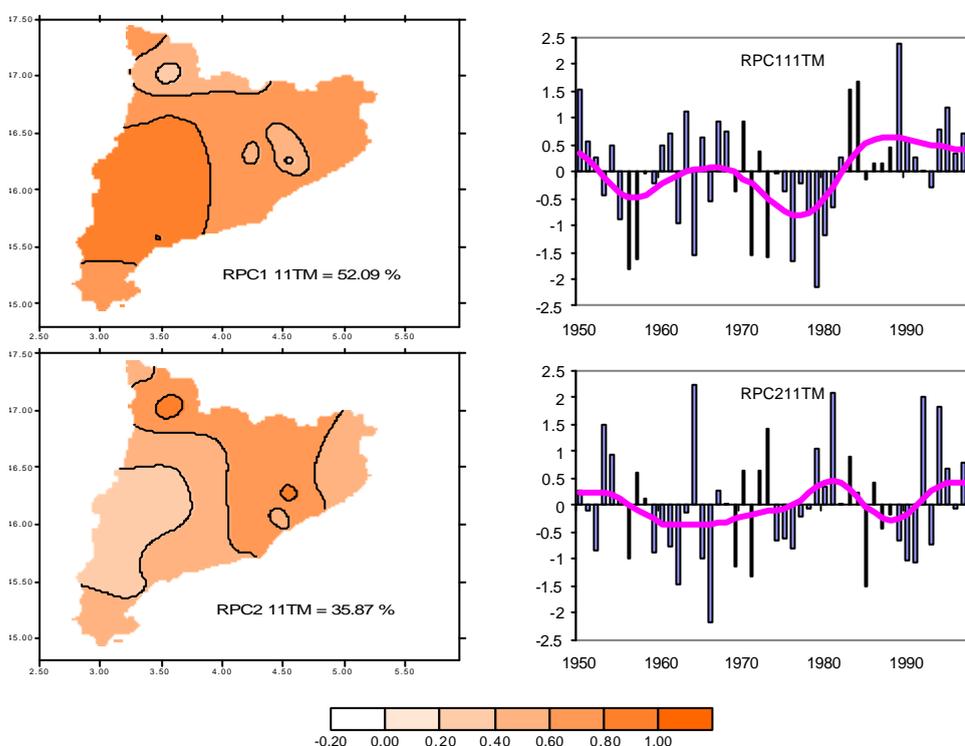


Figura 2.9. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura media diaria del mes de noviembre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

Diciembre

El mes de diciembre es en el que se diferencian un mayor número de componentes dentro del análisis de los promedios mensuales de la temperatura media diaria, un total de tres (Figura 2.10). El primer componente, RPC112TM, presenta un patrón espacial con los valores más elevados ocupando especialmente el área más occidental de la Depresión Central y el sector más meridional del territorio. Presenta un comportamiento temporal definido en su parte inicial por una disminución de los valores térmicos desde 1950 hasta 1973, mientras que el resto de la serie, de 1973 a 1998 constituye un subperiodo tendente al calentamiento. El resultado es una tendencia total de carácter nulo.

El segundo componente, RPC212TM, tiene sus valores máximos repartidos en tres sectores, formando un patrón bastante peculiar: la parte central del territorio; el prelitoral más septentrional, en el área de Girona; y el extremo noroccidental, la Vall d'Aran. La evolución temporal de este componente viene marcada por un subperiodo inicial de descenso de los valores térmicos que finaliza en 1965, donde se encuentra el mínimo de la serie. Le sigue una fase de decidido incremento térmico que se prolonga hasta el máximo de 1976, a partir del cual se inicia un nuevo decremento que perdura hasta el final del periodo.

RPC312TM, el tercer componente del mes, presenta una distribución espacial similar al segundo componente del mes anterior, RPC111TM, con los pesos máximos del componente situados en el Pirineo occidental y en el área del Montseny. La serie temporal presenta, después de una disminución inicial de la temperatura, una evolución bastante plana entre 1962 y 1980, a partir del cual las temperaturas experimentan un incremento hasta el final del periodo. Este componente, junto con el primero, son los que presentan mayor similitud con la evolución de la serie regional, mientras que el segundo componente parece contribuir de forma mucho menor.

El análisis efectuado sobre los promedios mensuales de la temperatura media diaria reproduce los dos patrones espaciales identificados para el promedio anual y revela la existencia de otros patrones que no se

diferenciaban en la escala anual. El patrón espacial reflejado por el RPC117TM, centrado en el área de la Depresión Central, aparece en escala mensual durante los meses invernales, asociado a tendencias prácticamente nulas. El segundo patrón espacial, definido por el RPC217TM, de carácter litoral, se identifica en cambio con meses más cálidos, entre marzo y agosto, mostrando especialmente este último mes una significativa tendencia positiva.

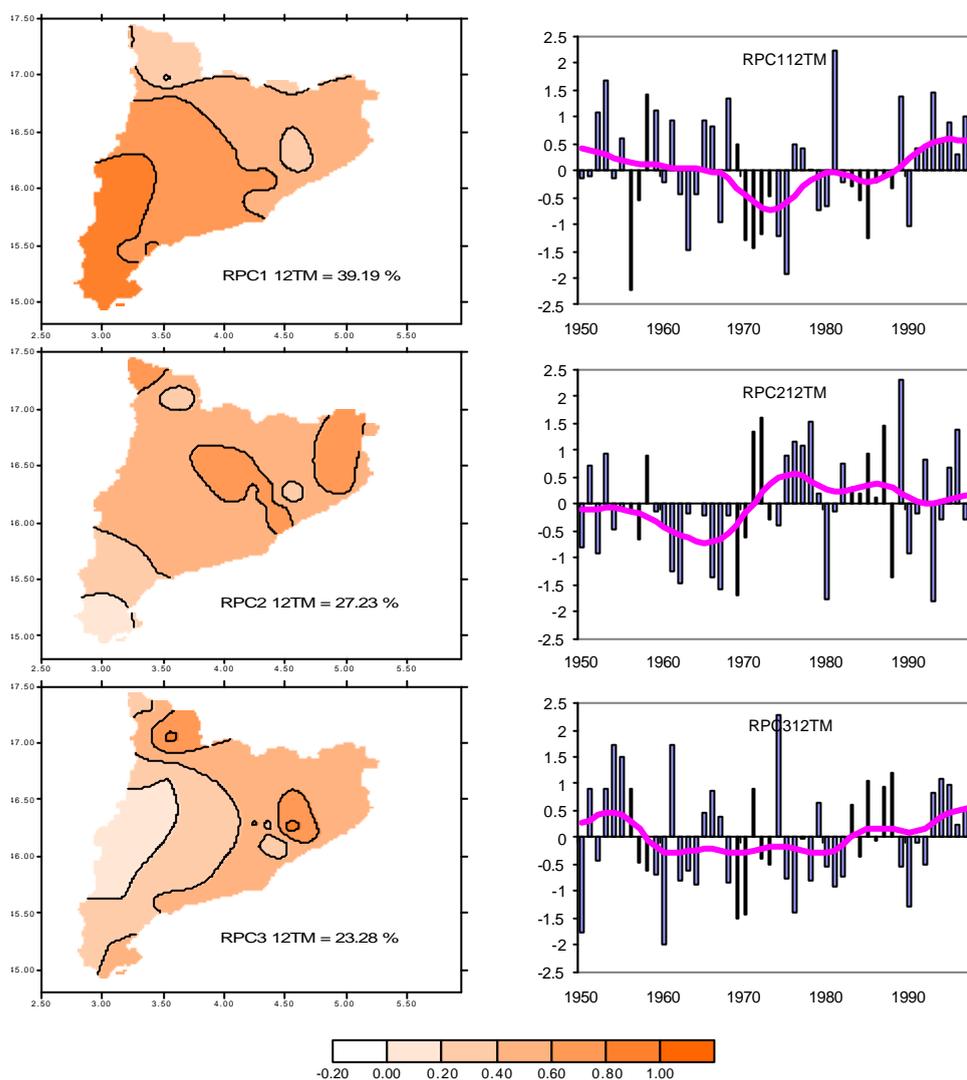


Figura 2.10. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura media diaria del mes de diciembre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

Durante los meses invernales las mayores tendencias positivas se observan en los componentes que presentan un patrón espacial que no aparece en la escala anual, identificado con una distribución de los pesos máximos localizada en torno al Pirineo Occidental y el Montseny, en las zonas en que se encuentran los observatorios situados a mayor altitud.

Justamente los patrones espaciales que presentan mayores tendencias en sus series temporales son los que normalmente tienen mayor similitud con la curva regional del mes correspondiente, indicando que la forma general de la serie regional está estrechamente relacionado con la de la evolución térmica en las zonas del territorio cuyas series temporales presentan una mayor tendencia.

Según esta característica, entre noviembre y enero predomina la influencia que ejercen sobre la serie regional las áreas de territorio de montaña media, situadas a mayor altitud o elevadas topográficamente sobre los sectores circundantes, mientras que de marzo a agosto la mayor contribución a las series regionales mensuales la ejerce el sector de territorio definido por el Sistema Litoral Catalán.

2.2.2. Evolución intranual de los componentes principales rotados extraídos de los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria.

El promedio mensual de la temperatura máxima diaria es el parámetro en el que se distinguen un mayor número de componentes principales, 31, de los cuales 29 son componentes rotados y 2, los componentes de octubre y mayo, no experimentan rotación al diferenciarse únicamente un componente por mes. Por el contrario, noviembre, diciembre, enero y abril son los meses en que se distingue un mayor número de componentes, cuatro. Las tendencias de las series temporales de los componentes principales rotados extraídos de los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria pueden observarse en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. **Tendencias anuales de los RPCs extraídos de los promedios mensuales de temperatura máxima diaria.**

RPC101tx	0.031**	RPC108TX	0.010
RPC201TX	0.001	RPC208TX	0.008
RPC301TX	0.014	RPC308TX	0.042**
RPC401TX	-0.041**	RPC109TX	-0.013
RPC102TX	0.026**	RPC209TX	0.024*
RPC202TX	-0.009	RPC111TX	0.041**
RPC103TX	-0.008	RPC211TX	0.002
RPC203TX	0.030**	RPC311TX	-0.015
RPC104TX	-0.001	RPC411TX	-0.009
RPC204TX	0.018	RPC112TX	0.038**
RPC304TX	-0.006	RPC212TX	-0.017
RPC404TX	0.009	RPC312TX	-0.016
RPC106TX	0.022*	RPC412TX	0.007
RPC206TX	-0.008		
RPC107TX	0.014		
RPC207TX	0.013		

* Significativa al 95 %

** Significativa al 99 %

Enero

En el mes de enero se distinguen 4 componentes principales (Figura 2.11). El primero de ellos, RPC101TX, tiene sus pesos máximos situados en los observatorios de la costa y del Sistema Prelitoral Central, agregándose a estos la zona Vall d'Aran. La serie temporal asociada a este componente presenta una decidida tendencia positiva, significativa al 99%. Muestra una evolución caracterizada por un subperiodo estacionario de los valores térmicos, entre 1950 y 1980, seguida de un calentamiento durante las dos últimas décadas. Esta forma coincide sustancialmente con la evolución experimentada por la serie regional, siendo este primer componente el que domina la evolución general de dicha serie.

El segundo componente, RPC201TX, delimita un área que engloba básicamente la Depresión Central. La evolución temporal de este

componente presenta un comportamiento oscilatorio, que se traduce en una tendencia nula para el conjunto de la serie.

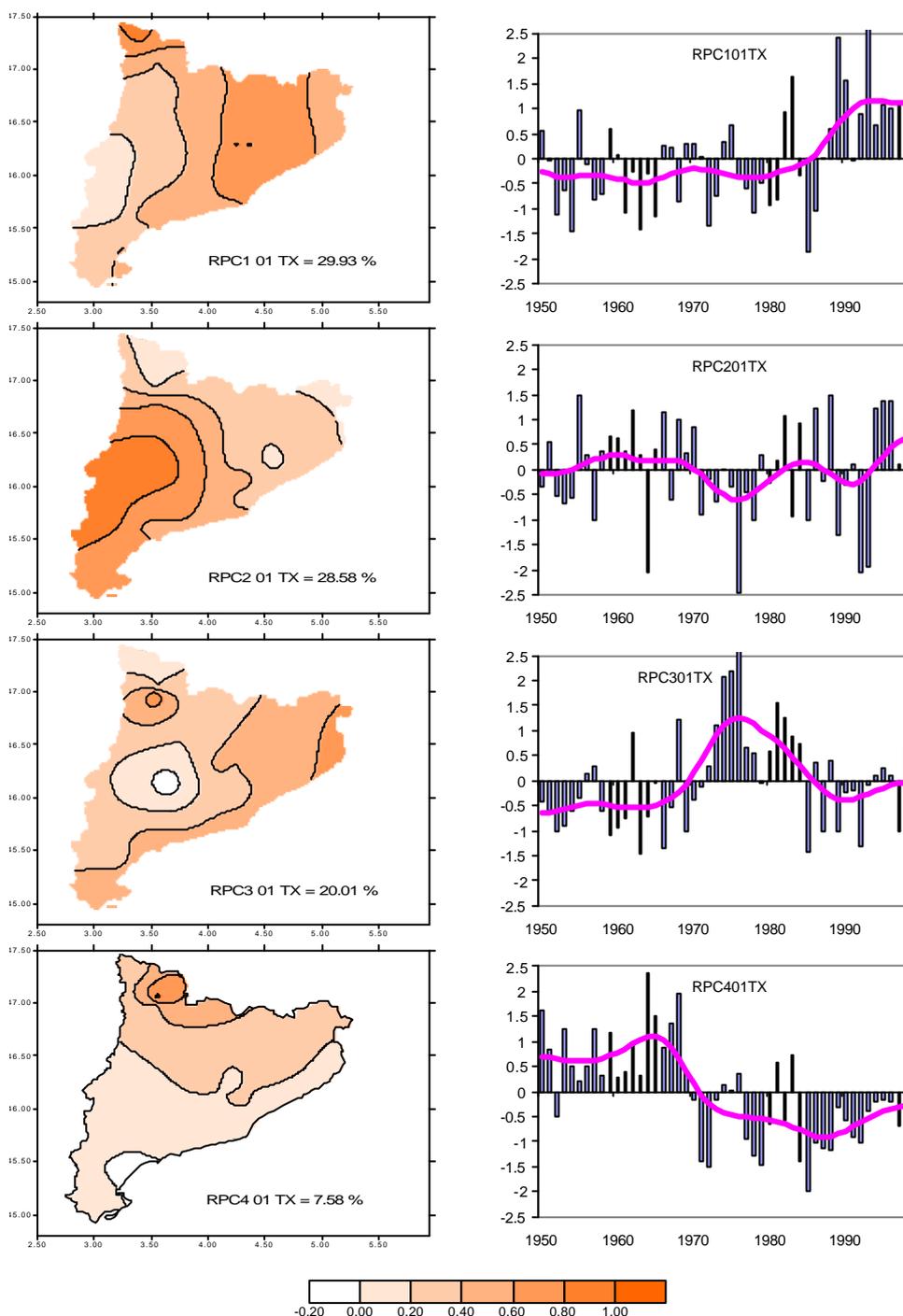


Figura 2.11. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de enero (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

El tercer componente, RPC301TX, centra sus pesos máximos en torno a dos sectores, el litoral norte y parte del Pirineo Occidental, aunque en general son mayores en el litoral. En la serie temporal destaca el incremento térmico que comprende desde los 60 hasta mediados de los 70 y el consecutivo subperiodo de enfriamiento que se extiende hasta 1990. El conjunto arroja una tendencia general de carácter positivo, aunque no significativa.

El último componente del mes de enero, RPC401TX, aparece centrado en el Pirineo Occidental, en una posición más septentrional que el componente anterior. Muestra una evolución caracterizada por una fase inicial cálida en las dos primeras décadas seguida de una fase fría que abarca el resto del periodo. Esta evolución define una tendencia general para la serie claramente negativa, con significación estadística al 99%. Dicho comportamiento, al igual que el del tercer componente, es completamente diferente al experimentado por la serie regional.

Febrero

De los dos componentes aislados en el mes de febrero, el primero, RPC102TX, presenta un patrón espacial con pesos máximos en el Sistema Litoral Catalán, con una progresiva disminución hacia el interior, siendo mínimos en el sector noroccidental (Figura 2.12). La serie temporal asociada tiene una tendencia positiva significativa, resultado del sostenido incremento en los valores térmicos que se registra desde mediados de los años 60 hasta el final del periodo.

El segundo componente, RPC202TX, se centra en el sector occidental de los Pirineos y disminuye hacia el litoral, con un patrón inverso al anterior. Su comportamiento temporal se caracteriza por dos subperiodos de ascenso de las temperaturas los primeros diez y los últimos veinte años de la serie, con un decremento de las temperaturas en los años intermedios, que configuran una tendencia para toda la serie de carácter negativo.

Respecto la serie regional del mes de febrero, el primer componente es el que parece contribuir de forma mas clara a su evolución y a la tendencia

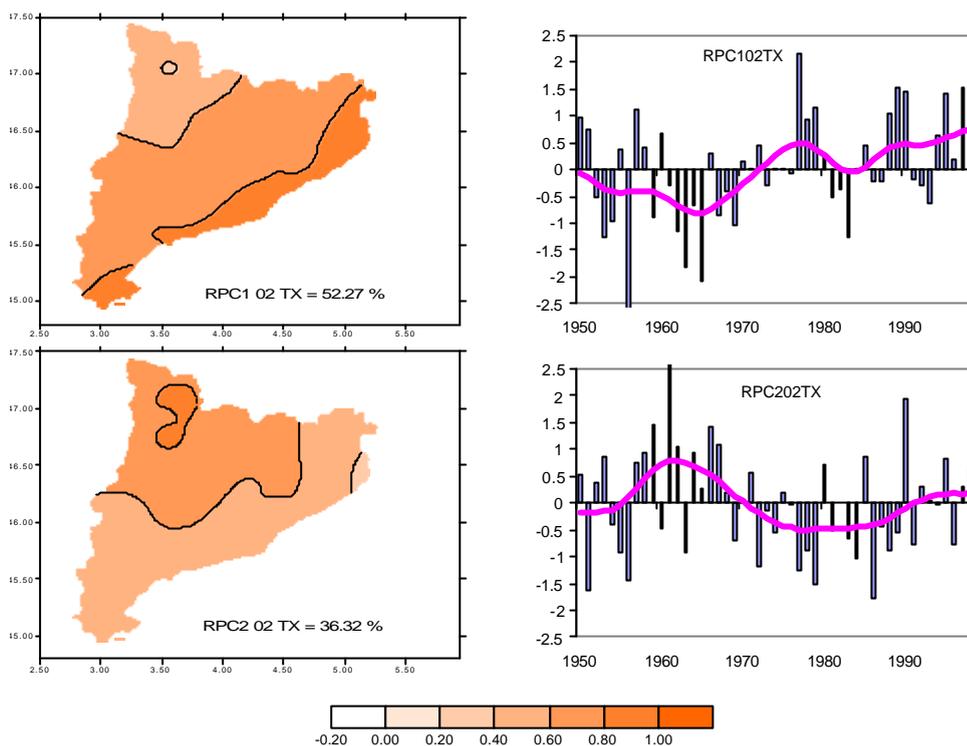


Figura 2.12. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de febrero (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

presente en ella, aunque durante el primer tercio de la serie predomina la influencia del segundo componente.

Marzo

Los dos componentes del mes de marzo (Figura 2.13) presentan un patrón temporal y espacial semejante al mes anterior. En este caso el primer componente, RPC103TX, centra sus mayores pesos en el área pirenaica occidental, disminuyendo hacia el litoral, con una serie temporal muy parecida a la del segundo componente del mes de febrero, de carácter negativo.

El segundo componente, RPC203TX, centrado en el litoral y con una rápida disminución de los pesos del componente hacia el interior, presenta una evolución temporal muy similar al RPC102TX, con una tendencia positiva significativa algo superior. Este componente es el que contribuye de forma sustancial a la evolución de la serie regional, especialmente en sus dos últimos tercios.

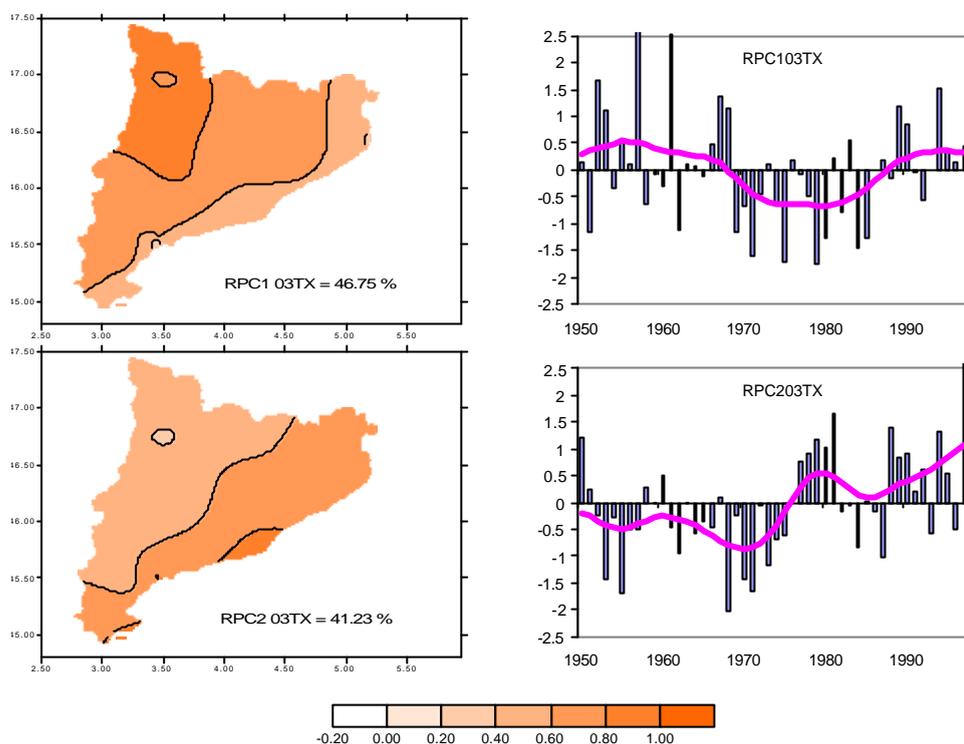


Figura 2.13. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de marzo (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

Se caracteriza por una fase fría en la primera mitad de periodo seguida de una fase cálida que abarca el resto de la serie.

Abril

El primero de los cuatro componentes extraídos durante el mes de abril, RPC104TX, tiene una distribución espacial que sitúa los pesos máximos en el área noroccidental, disminuyendo hacia el litoral (Figura 2.14). La serie temporal asociada indica una evolución estable, no presentando tendencia observable.

El segundo componente, RPC204TX, se centra sobre el litoral y prelitoral central. Su distribución temporal se caracteriza por un decremento de los valores térmicos durante el subperiodo 1950-1974 y un posterior incremento sostenido hasta el final de la serie, con una tendencia general positiva, que coincide de forma bastante clara con la evolución de la serie regional.

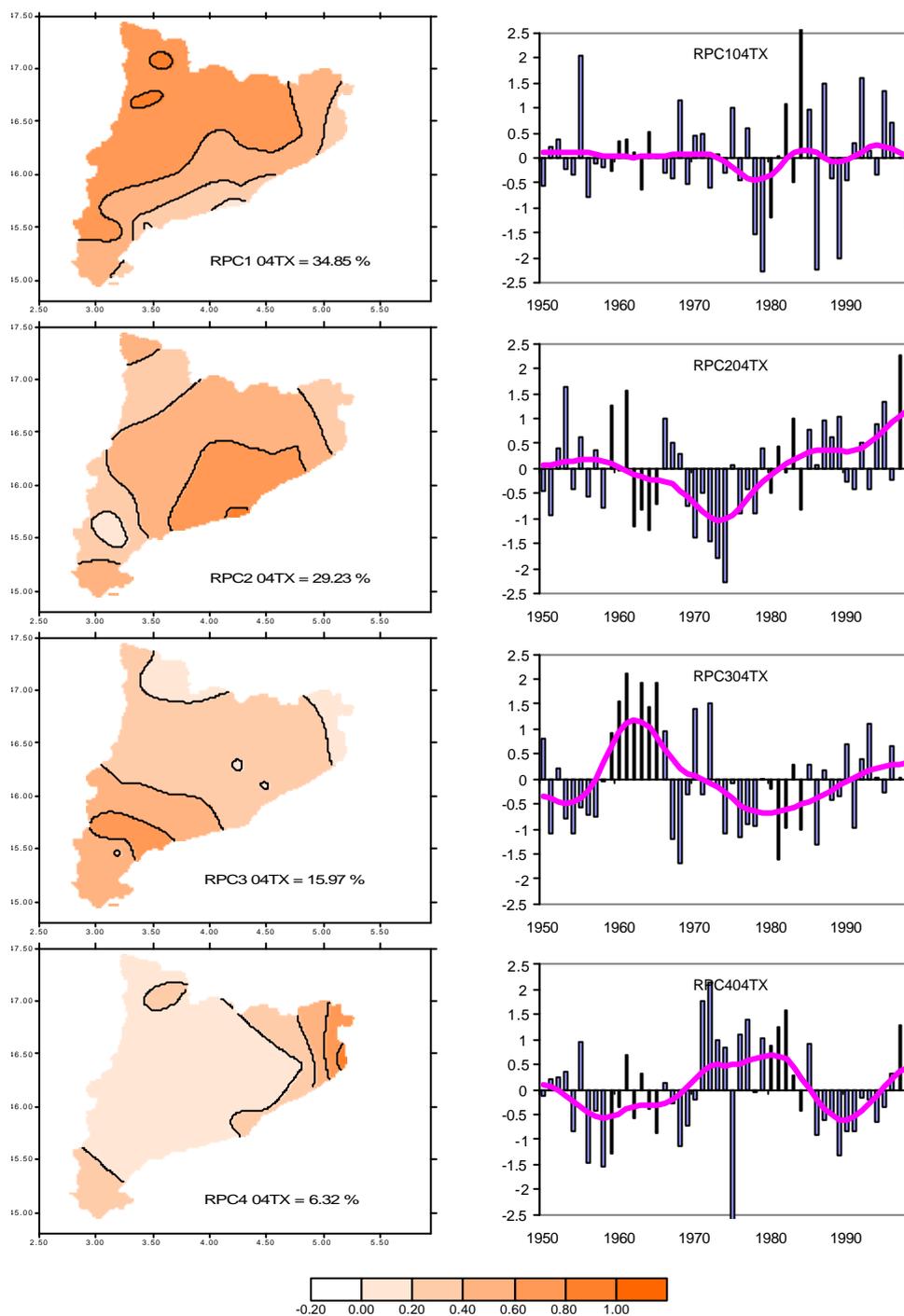


Figura 2.14. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de abril (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

El tercer componente, RPC304TX, tiene situados sus máximos pesos en el sector configurado por el tercio sur del territorio. La serie temporal asociada distingue dos subperiodos de incremento, 1955-1962 y 1979-1998,

con un vigoroso decremento entre ambos, mostrando una tendencia total ligeramente negativa.

El último componente de este mes, RPC404TX, representa únicamente el 6.32 % de la varianza y sus pesos máximos aparecen localizados en el litoral septentrional. Presenta una serie temporal caracterizada por dos fases frías en los extremos de la serie y una fase cálida central durante la década de los 70 y primera mitad de los 80

Junio

El primer componente del mes de junio, RPC106TX, presenta una distribución espacial con los pesos máximos situados en el interior del territorio, especialmente en la mitad septentrional, disminuyendo en dirección a la costa, donde se localizan los valores mínimos (Figura 2.15). La serie temporal de este componente muestra un comportamiento oscilatorio, con fases cálidas y frías consecutivas, pero que en conjunto definen una tendencia claramente positiva y significativa.

El segundo componente, RPC206TX, se centra en el área litoral y prelitoral, disminuyendo hacia el sector noroccidental, que presenta los valores menores. Su serie temporal presenta un comportamiento también oscilatorio, pero en este caso con una orientación ligeramente negativa.

Aunque ambas tienen similitudes en su evolución con la serie regional, el primer componente es el que parece predominar, especialmente en los dos últimos tercios de la serie, responsabilizándose de la tendencia de la serie regional.

Julio

RPC107TX, es el primero de los dos componentes que aparecen en el mes de julio. Sus pesos máximos muestran una distribución centrada en el interior, especialmente en el sector noroccidental, y disminuyen hacia el litoral (Figura 2.16). Su serie temporal se caracteriza por una alternancia de fases de crecimiento y decrecimiento de las temperaturas, con una tendencia positiva sin significación.

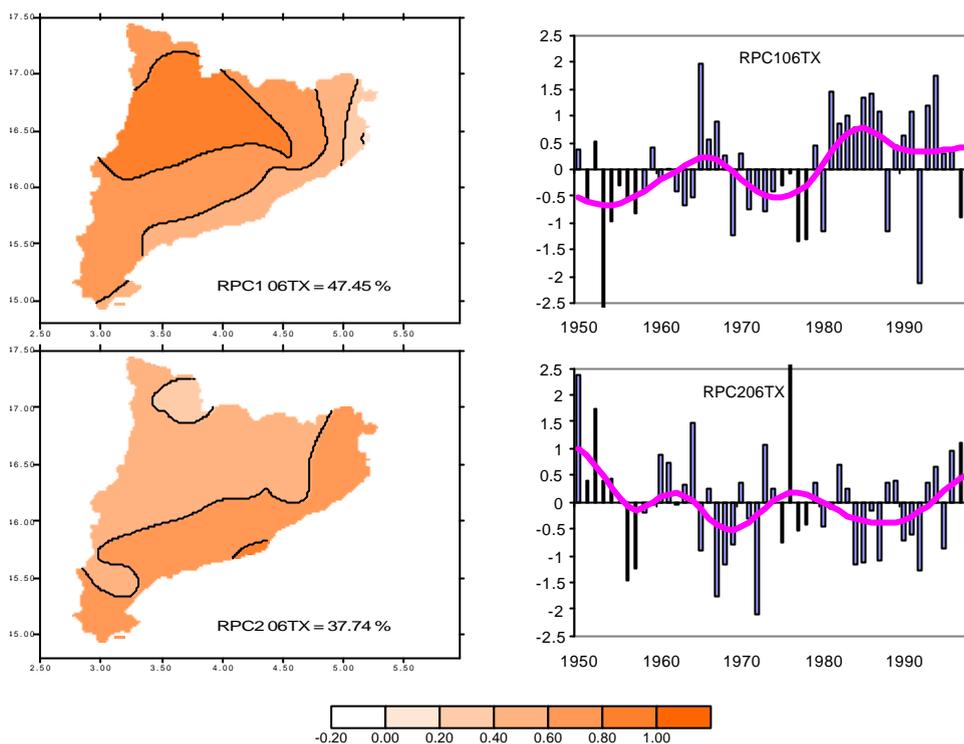


Figura 2.15. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de junio (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

El segundo componente de este mes, RPC207TX, presenta un patrón espacial opuesto al anterior, con los máximos en la zona litoral y mínimos en la región noroccidental. La serie temporal asociada a este componente muestra un enfriamiento inicial en la primera mitad del periodo, seguida por un comportamiento opuesto en la segunda mitad, con una tendencia total positiva, pero al igual que el componente anterior, sin significación estadística.

Ambos componentes parecen contribuir, con la misma fuerza a la forma de la serie regional, debido a que los dos explican un porcentaje de la varianza de las series originales similar y ambos presentan tendencias parecidas.

Agosto

El primer componente de agosto, RPC108TX, presenta sus máximos valores en la mitad septentrional del interior del territorio, disminuyendo hacia el litoral y el sur (Figura 2.17). La serie temporal asociada muestra un extenso

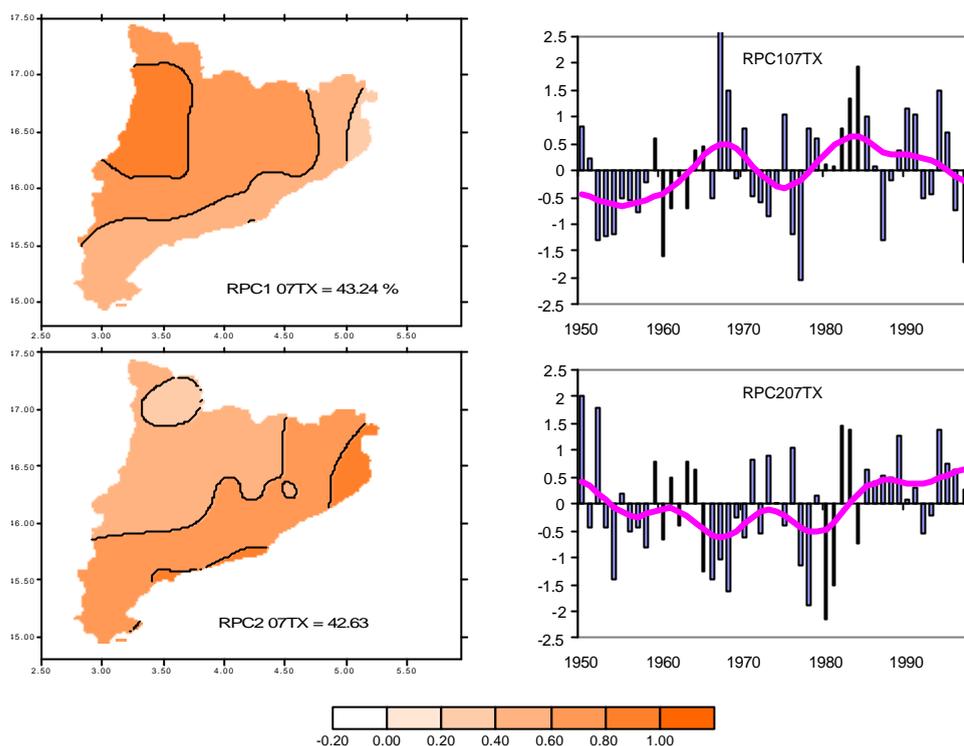


Figura 2.16. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de julio (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

incremento de la temperatura que abarca todo el periodo, con excepción de la última década, en la que se produce un enfriamiento. El resultado es una tendencia ligeramente positiva.

El segundo componente se centra en el tercio sur del territorio y en la Vall d'Aran. Su evolución temporal viene marcada por un descenso de los valores térmicos desde mediados de los 60 a finales de los 70, seguido de un subperiodo de calentamiento desde éstos hasta principios de los 90, que configuran una tendencia total similar a la del componente anterior.

El último componente de este mes, RPC308TX, muestra un patrón espacial centrado en las áreas costeras, especialmente el Sistema Litoral central y septentrional. Su serie temporal se caracteriza por un descenso térmico inicial, hasta la segunda mitad de los años 60, y un posterior incremento térmico durante todo el resto del periodo, configurando la tendencia positiva significativa más elevada del conjunto de los componentes extraídos del promedio mensual de la temperatura máxima.

Estos dos últimos componentes son las que imponen su estructura a la curva regional del mes de agosto, que resulta un híbrido entre ambas.

Septiembre

El primer componente de los dos identificados en el mes de septiembre es el RPC109TX. Sus pesos máximos se encuentran en el sector occidental, disminuyendo hacia el este (Figura 2.18). La serie temporal de este componente muestra un comportamiento oscilatorio, con valores máximos en la década de los 60, y una tendencia en conjunto de carácter negativo.

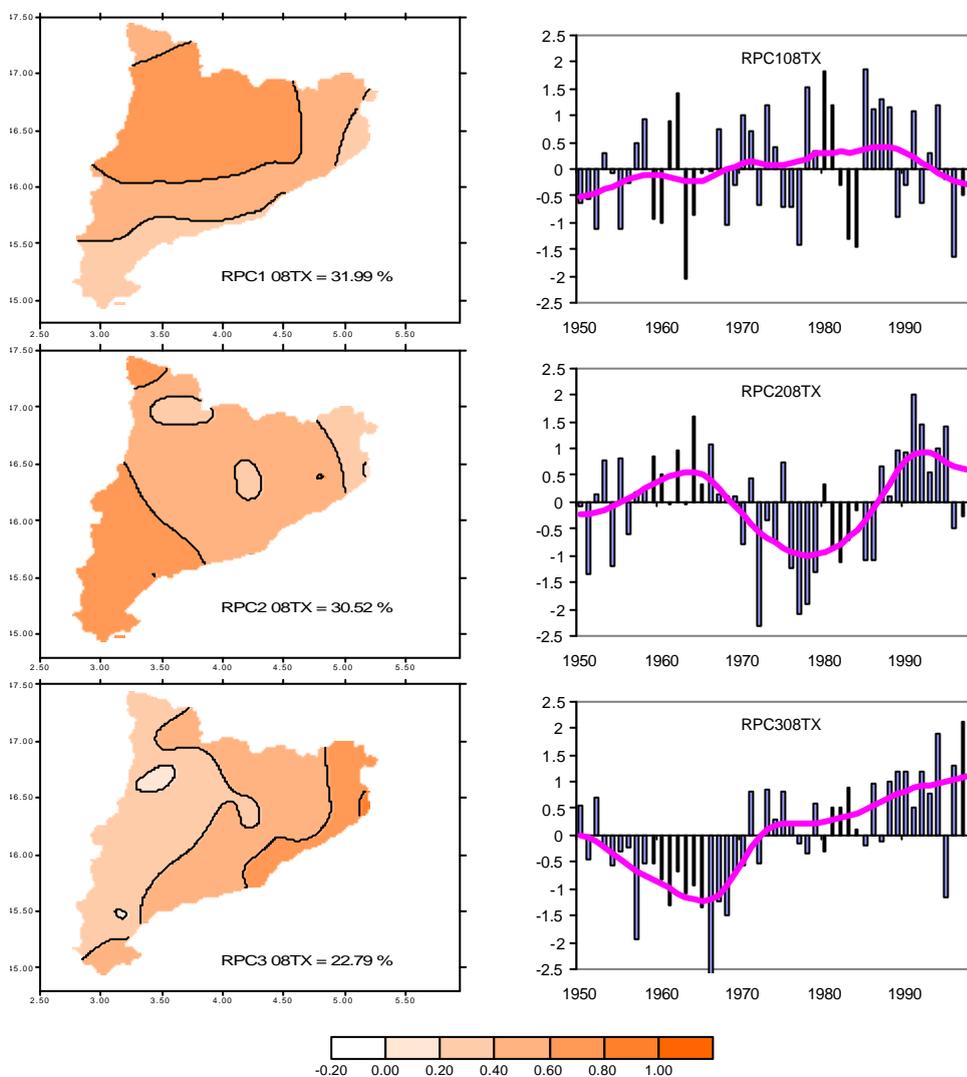


Figura 2.17. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de agosto (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

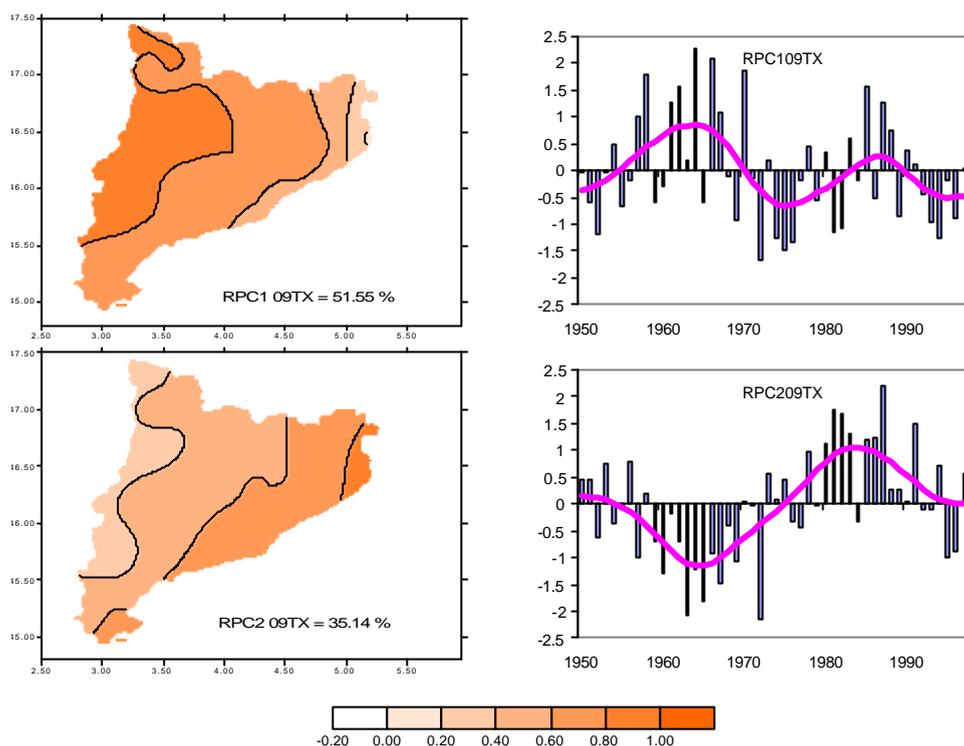


Figura 2.18. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de septiembre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

El segundo componente, RPC209TX, muestra un patrón contrario al anterior, con sus valores más elevados situados en el sector oriental y disminuyendo hacia occidente. Presenta un comportamiento temporal en el que se observa un subperiodo de descenso térmico que se prolonga hasta mediados los años 60, seguida de un incremento hasta la primera década de los 80, y una nueva fase de descenso de los valores térmicos en el tramo final de la serie, con una tendencia general positiva y significativa estadísticamente.

Ambos componentes contribuyen sustancialmente a la evolución de la curva regional, el primer componente especialmente en la primera mitad de la curva y el segundo componente en la mitad posterior.

Noviembre

El primero de los cuatro componentes del mes de noviembre, RPC111TX, ubica sus pesos máximos en el área litoral, disminuyendo hacia el interior

(Figura 2.19). La principal característica de su patrón temporal es el sostenido incremento desde la segunda mitad de los años 50 hasta la actualidad, únicamente interrumpido durante la década de los 80, presentando una tendencia significativa claramente positiva, de magnitud casi igual a la del tercer componente del mes de agosto. Esta evolución se asemeja a la de la curva regional, que esta claramente influenciada por las temperaturas registradas en la zona litoral definida por este componente.

El segundo componente, RPC211TX muestra una concentración de sus valores máximos en el área de la Depresión Central. La serie temporal de este componente viene marcada por dos subperiodos diferenciados: uno negativo, desde el inicio de la serie hasta la segunda mitad de la década de los 70; y otro de incremento térmico, desde este punto hasta el final. La tendencia resultante es prácticamente nula.

El tercer componente, RPC311TX distribuye sus pesos más elevados en el norte, en la zona pirenaica y Montseny, siendo mínimos en el Sistema Litoral Meridional y Depresión Central. La serie temporal muestra un dilatado subperiodo de enfriamiento que se extiende desde el inicio hasta mediados de los años 80, seguido de un incremento en el tramo final de periodo. El resultado es una tendencia negativa para el conjunto, no significativa.

El último componente, RPC411TX, aparece centrado en el Prepirineo Occidental. Muestra un comportamiento en el tiempo caracterizado por un fuerte decremento en los valores térmicos en el subperiodo 1950-1965, una cierta recuperación de las temperaturas en los años centrales, 1965-1982, y un nuevo descenso desde 1982 hasta el final del periodo, con una tendencia total ligeramente negativa.

Diciembre

El primer componente, RPC112TX, muestra un patrón espacial centrado en el área del Sistema Litoral Catalán, disminuyendo rápidamente los pesos de los componentes hacia el interior del territorio (Figura 2.20). Su serie temporal se caracteriza por una tendencia positiva estadísticamente significativa. El subperiodo con una fase de incremento térmico más acusado

se localiza en las décadas de los años 60 y 70, suavizándose en las dos últimas décadas.

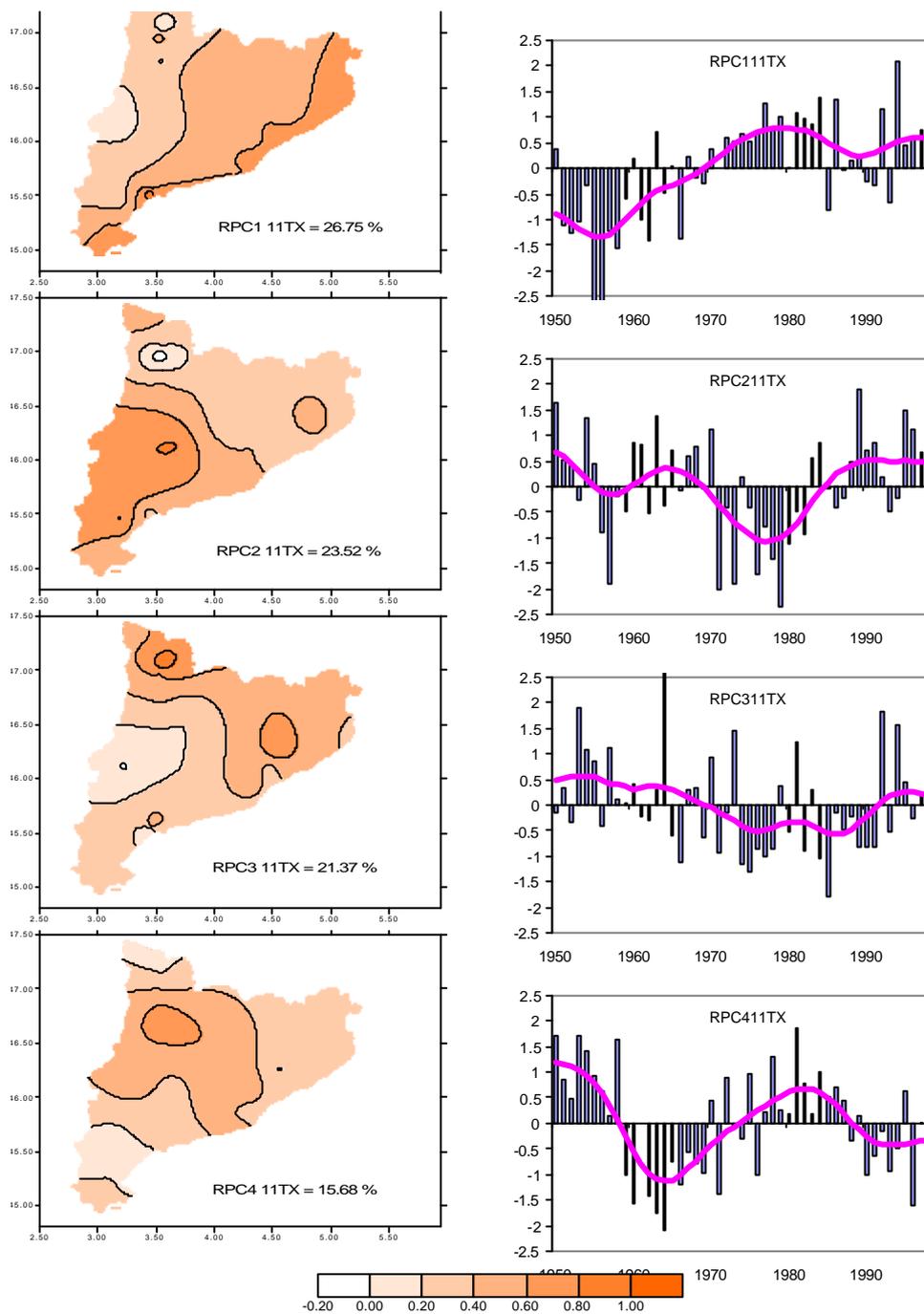


Figura 2.19. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de noviembre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

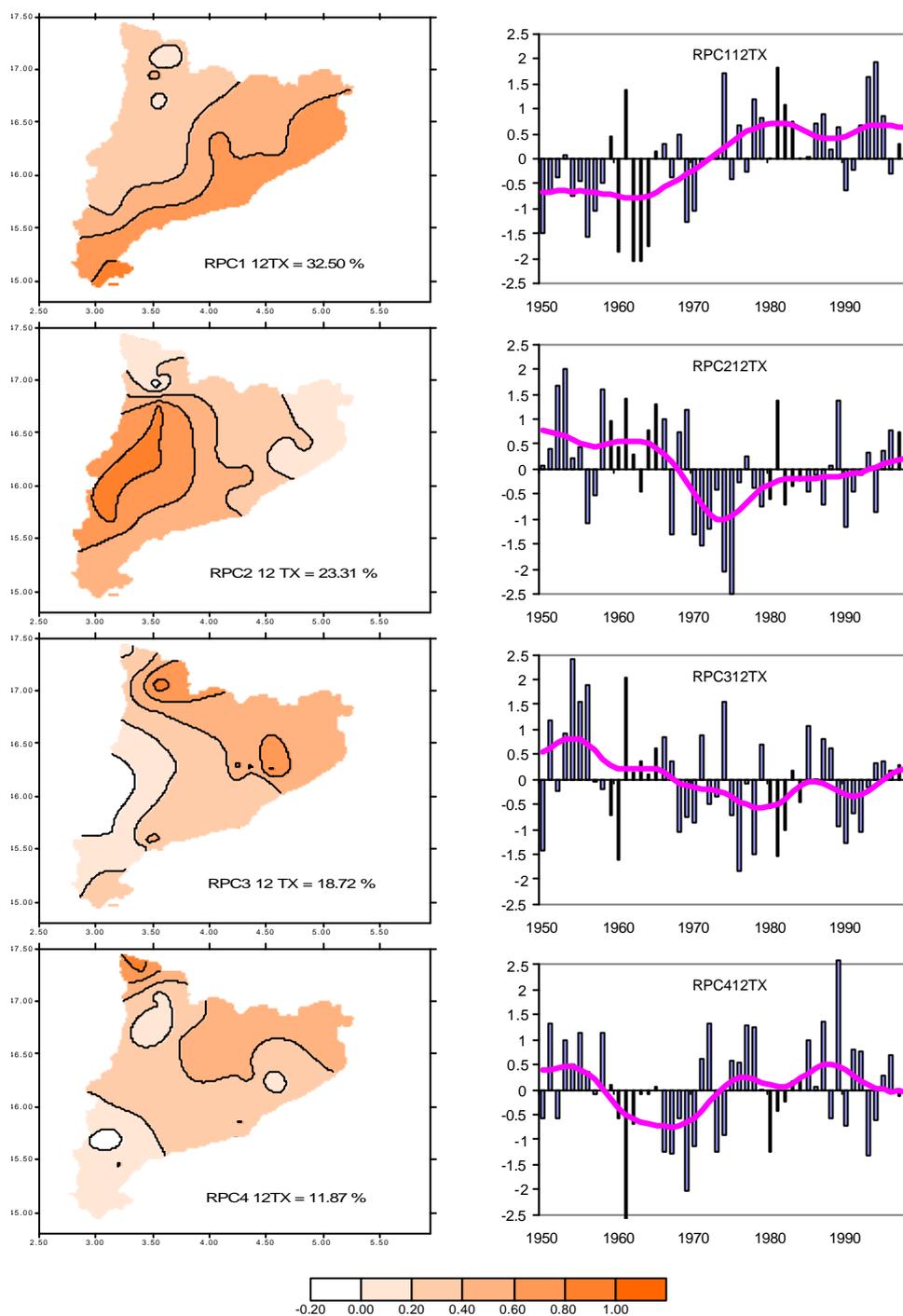


Figura 2.20. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura máxima diaria del mes de diciembre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

Este componente es el que contribuye de forma mas clara a la curva regional durante el mes de diciembre, especialmente en los dos últimos tercios de la serie regional, mientras que en los primeros quince años parece

influir de forma mas clara la evolución del resto de componentes, posiblemente debido a la existencia de un subperiodo estacionario al principio de la serie definida por el RPC112TX.

El segundo componente, RPC212TX, agrupa sus pesos máximos en la Depresión Central y Prepireneo Occidental, siendo mínimos en el Pirineo Occidental y todo el norte del territorio en general. Presenta una distribución temporal marcada por dos subperiodos de signo opuesto: un descenso de las temperaturas en la primera mitad del periodo, hasta la primera mitad de los años 70, y un incremento de los valores térmicos en la segunda mitad de la serie. La evolución resultante muestra una tendencia negativa.

El norte del área de estudio es el lugar donde aparecen los pesos máximos del tercer componente, RPC312TX, localizado en sectores elevados del Pirineo y del macizo del Montseny. Presenta un comportamiento temporal definido por un progresivo decremento de las anomalías desde el inicio de la serie hasta 1980, y un segundo subperiodo con incremento a partir de este año, arrojando una tendencia similar a la del componente anterior.

El ultimo componente de este mes, RPC412TX, abarca una reducida extensión territorial, con su máximo valor en la zona de la Vall d'Aran. La serie temporal asociada refleja una disminución térmica hasta mediados de los años 60, un progresivo aumento de los valores hasta finales de los años 80, y un nuevo descenso durante la última década, que configuran una tendencia total prácticamente nula.

Dentro del conjunto de componentes principales rotadas extraídas de los promedios mensuales de temperatura máxima diaria destacan aquellos componentes que definen un área cercana al Mediterráneo, con sus valores máximos en una franja del territorio más o menos extensa que coincide aproximadamente con el Sistema Litoral Catalán.

Seis de las siete tendencias significativas detectadas en las series temporales del total de RPCs corresponden a componentes que delimitan estos sectores litorales, tanto en meses estivales como invernales. Estas áreas son también las que contribuyen de forma mas clara, en la mayoría de los casos, a definir la evolución de las curvas regionales mensuales, sobretudo

durante los dos últimos tercios de su evolución, que es en los que las series de estos componentes manifiestan fases de incremento térmico mas acusadas.

2.2.3. Comportamiento intranual de los componentes principales rotados extraídos de los promedios mensuales de la temperatura mínima diaria.

Este parámetro presenta un número de componentes principales intermedio entre la temperatura media y la temperatura máxima. Son 26 componentes principales, de los cuales 24 experimentan rotación y 2, los de los meses de febrero y septiembre, son componentes únicos. El mes de abril es en el que se ha identificado un mayor numero de componentes, cuatro, seguido de los meses de mayo y diciembre, en los que se han definido tres componentes. La descripción de los diferentes componentes aislados cada mes se detalla a continuación.

Enero

El RPCA del promedio mensual de la temperatura mínima durante el mes de enero presenta dos componentes principales (Figura 2.21). El RPC101TN muestra un patrón espacial caracterizado por unos pesos que son en general altos para gran parte del conjunto territorial, con valores máximos en las depresiones interiores y el sur de Cataluña. La serie temporal asociada presenta pequeñas oscilaciones sin incrementos ni decrementos apreciables en las temperaturas hasta inicios de la década de los 90, donde se inicia un incremento en los valores de temperatura.

El RPC201TN dispone sus pesos máximos de forma que se hallan claramente localizados en una serie de sectores que presentan la característica de situarse en sectores topográficamente elevados, de forma absoluta o relativa respecto las áreas circundantes, en áreas de montaña media del Pirineo Occidental y sierras del Sistema Litoral. La serie temporal asociada presenta una tendencia general positiva, la única estadísticamente significativa del conjunto de componentes extraídos en los meses invernales

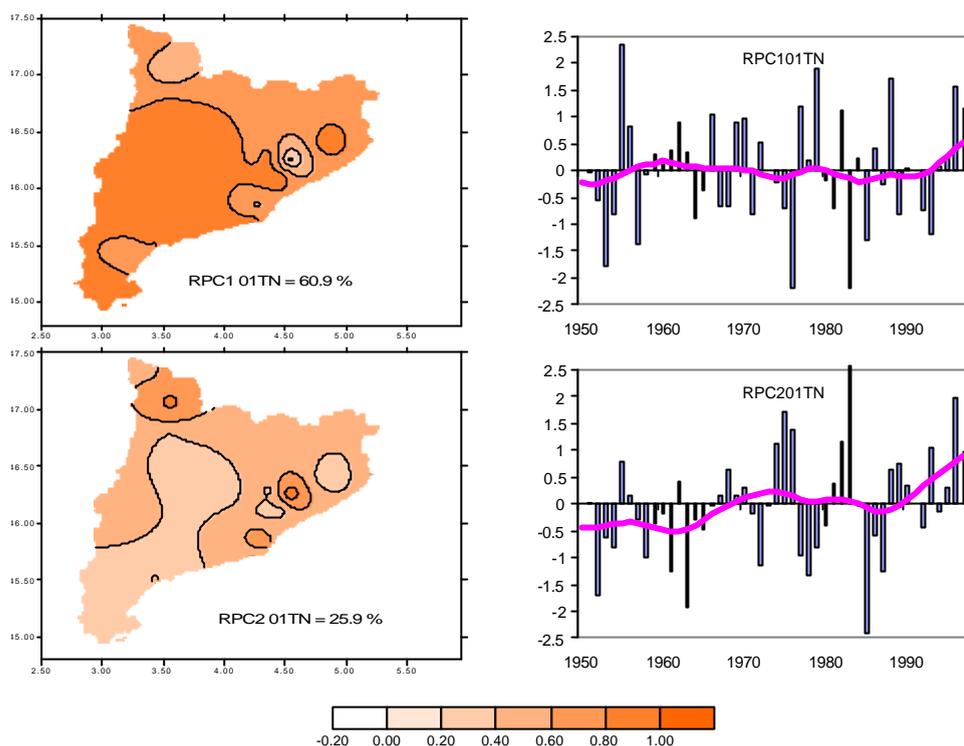


Figura 2.21. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de enero (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

del promedio de temperatura mínima, reflejo de un sostenido incremento en los valores de las anomalías térmicas que abarca la totalidad de periodo estudiado (Tabla 2.5).

Como sucedía en los parámetros anteriores, este componente que presenta una mayor tendencia es también el que contribuye de forma más clara a la tendencia de la serie regional.

Marzo

El primero de los dos componentes definidos para el mes de marzo, RPC103TN, presenta una distribución espacial con pesos mayores en el sector de la Depresión Central, y extendiéndose de forma más tenue por gran parte del territorio, exceptuando los Pirineos y áreas de la Cordillera Prelitoral y Litoral Central (Figura 2.22). La serie temporal presenta oscilaciones de mayor intensidad en el comienzo y de menor intensidad en los últimos veinte años, con una tendencia total ligeramente negativa.

Tabla 2.5. **Tendencias anuales de los RPCs extraídos de los promedios mensuales de temperatura mínima diaria.**

RPC101TN	0.007		RPC107TN	0.006
RPC201TN	0.022*		RPC207TN	0.006
PC102TN	0.020		RPC108TN	0.037**
RPC103TN	-0.004		RPC208TN	0.002
RPC203TN	0.012		PC109TN	0.000
RPC104TN	-0.001		RPC110TN	0.000
RPC204TN	0.000		RPC210TN	0.009
RPC304TN	-0.001		RPC111TN	0.005
RPC404TN	-0.003		RPC211TN	0.018
RPC105TN	-0.008		RPC112TN	0.009
RPC205TN	-0.008		RPC212TN	0.016
RPC305TN	0.016		RPC312TN	-0.002
RPC106TN	-0.003			
RPC206TN	0.009			

* Significativa al 95 %

** Significativa al 99 %

El segundo componente, RPC203TN, define un patrón espacial que comprende sectores contrarios al componente anterior, en general zonas elevadas respecto las circundantes, en sectores de montaña media del Pirineo Occidental y el Sistema Prelitoral Central. La serie temporal presenta una tendencia positiva para todo el periodo, con una fase de incremento térmico que se inicia en torno a 1970.

La serie regional evoluciona de forma similar al primer componente durante el primer tercio del periodo, mientras que los dos últimos tercios están dominados por el calentamiento experimentado por las temperaturas del segundo componente durante este subperiodo.

Abril

Las temperaturas mínimas presentan en este mes el mayor número de componentes, cuatro (Figura 2.23). El primer componente, RPC104TN, configura un patrón espacial situado en la zona central del territorio. La serie

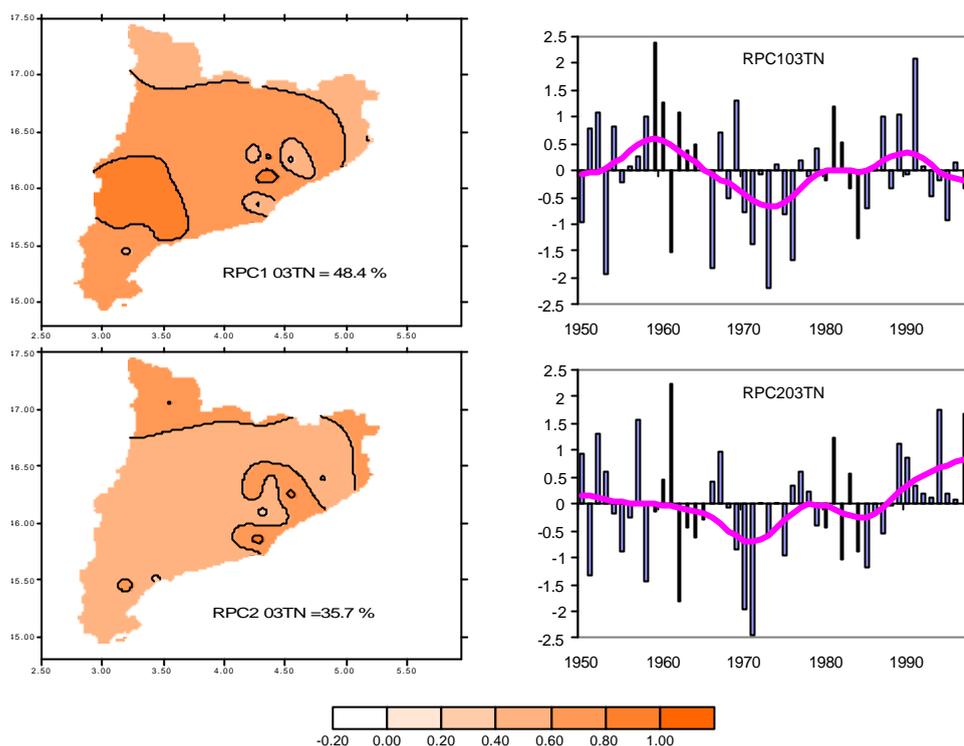


Figura 2.22. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de marzo (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

temporal presenta una tendencia nula, con una curva que tiene como principal característica la fase fría que abarca la década de los años 70.

El segundo componente, RPC204TN, agrupa una serie de enclaves repartidos por diversas áreas, en general zonas de montaña del Pirineo Occidental y Sistema Litoral central elevadas respecto las circundantes, como sucedía en el segundo componente del mes anterior. El comportamiento de la serie temporal asociada muestra un descenso de la temperatura durante la primera mitad del periodo, seguido de un comportamiento oscilatorio en el resto, sin una tendencia general marcada.

El tercer componente, RPC304TN, presenta mayores pesos en observatorios situados en la zona del Sistema Litoral Catalán meridional y septentrional. En su evolución temporal destaca la fase cálida experimentada durante la década de los años 60 y el sostenido incremento térmico que se produce en la segunda mitad del periodo. Al igual que los anteriores componentes, no presenta tendencia destacable en su conjunto.

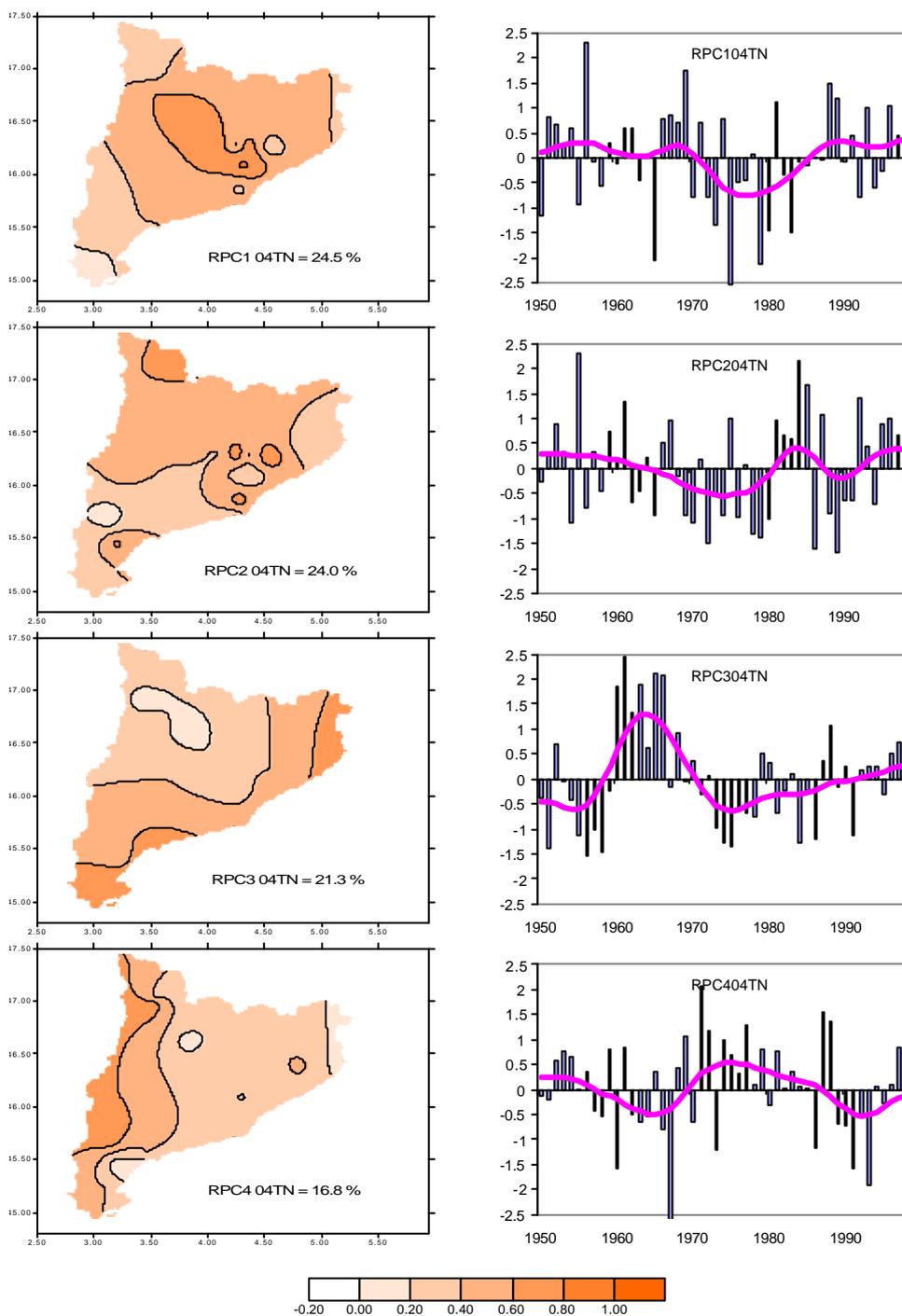


Figura 2.23. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de abril (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

El cuarto componente, RPC404TN, se centra en una estrecha franja en el sector más occidental del territorio. La serie temporal asociada presenta un

comportamiento alternado de fases positivas y negativas, sin que dominen unas sobre las otras, con una tendencia total también nula.

Ninguno de los cuatro componentes muestra tenencias destacables en su evolución temporal. Debido a este hecho, ninguno de los componentes influye de forma clara en la curva regional, que aparece como un compendio de la evolución de éstos.

Mayo

Para el mes de mayo se han aislado tres componentes principales (Figura 2.24). El primero, RPC105TN, presenta una distribución espacial que abarca el sector noroccidental del territorio, disminuyendo progresivamente hacia el sur y en dirección al litoral. La serie temporal de este componente muestra una fase cálida en la primera década, seguida de una fase fría en la segunda, y un progresivo incremento en los valores de las anomalías que se inicia en la segunda mitad de la década de los 60 y se prolonga hasta 1990. La tendencia resultante es ligeramente negativa.

El segundo componente, RPC205TN, centra los mayores pesos en el Sistema Litoral central. Presenta un subperiodo de evolución negativa desde mediados de los 60 hasta 1980, a partir del cual las temperaturas experimentan un progresivo ascenso hasta el final de la serie. Muestra una tendencia total similar a la del componente anterior, de carácter negativo.

La única tendencia positiva detectada este mes aparece en el tercer componente, RPC305TN, que muestra un patrón espacial centrado en el Sistema Litoral septentrional y meridional. Presenta un comportamiento temporal similar al componente anterior, pero con un crecimiento muy acusado de los valores térmicos durante el tramo final de la serie.

Estos dos últimos componentes son los que influyen de forma mayoritaria en la evolución de la curva regional, el RP205TN en la primera mitad de la serie y el tercer componente dominando la evolución de la segunda mitad.

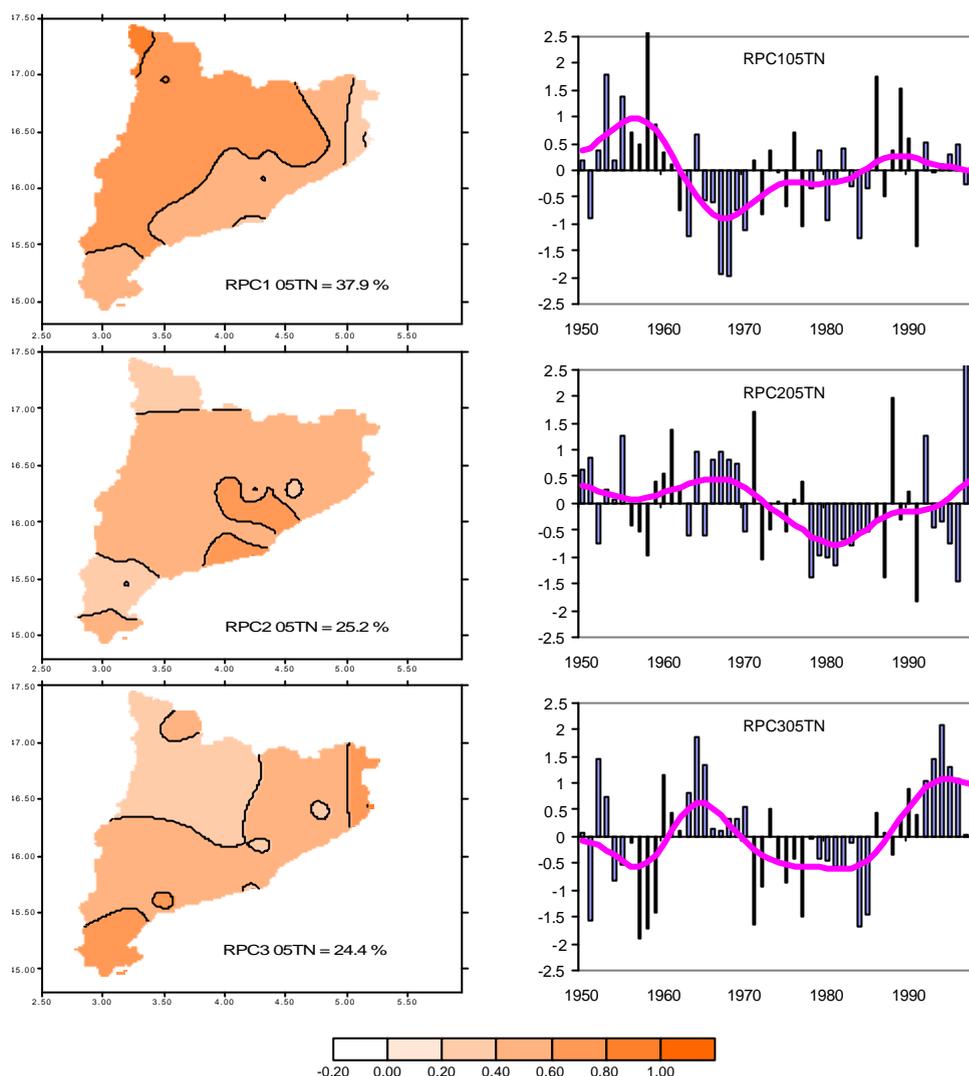


Figura 2.24. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de mayo (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

Junio

El primer componente del mes de junio, RPC106TN, se distribuye de forma homogénea por todo el territorio, con excepción del Sistema Litoral, con valores máximos en el noroeste (Figura 2.25). Presenta una serie temporal caracterizada por una tendencia nula, definida por un enfriamiento inicial, que se prolonga hasta finales de los años sesenta, y un incremento en los valores de temperatura desde este punto hasta el final de la serie.

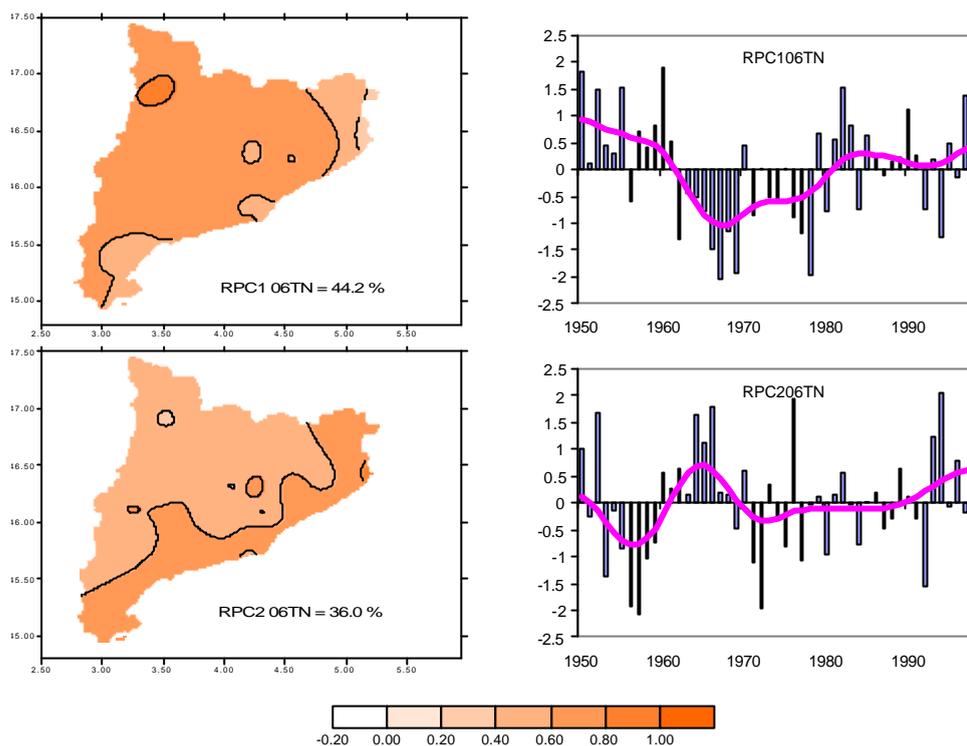


Figura 2.25. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de junio (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

El segundo componente de este mes, RPC06TN, reproduce el patrón espacial que se centra en el área del Sistema Litoral. Su comportamiento temporal presenta un comportamiento oscilatorio durante los primeros 20 años de la serie, y una fase de incremento térmico en el resto de la serie, configurando una tendencia total levemente positiva. Tanto este componente como el anterior contribuyen de forma similar a la forma que adopta la curva regional de las temperaturas mínimas durante este mes, dado que ambos experimentan un incremento en los valores de temperatura durante las tres últimas décadas.

Julio

Más de dos tercios del área de estudio quedan englobados dentro del primer componente del mes de julio, RPC107TN, que abarca el Sistema Litoral Catalán y la Depresión Central Catalana (Figura 2.26). Su serie temporal, con tendencia ligeramente positiva, presenta dos subperiodos opuestos: uno de decremento térmico, entre los años 60 y finales de los 70; y otro con un

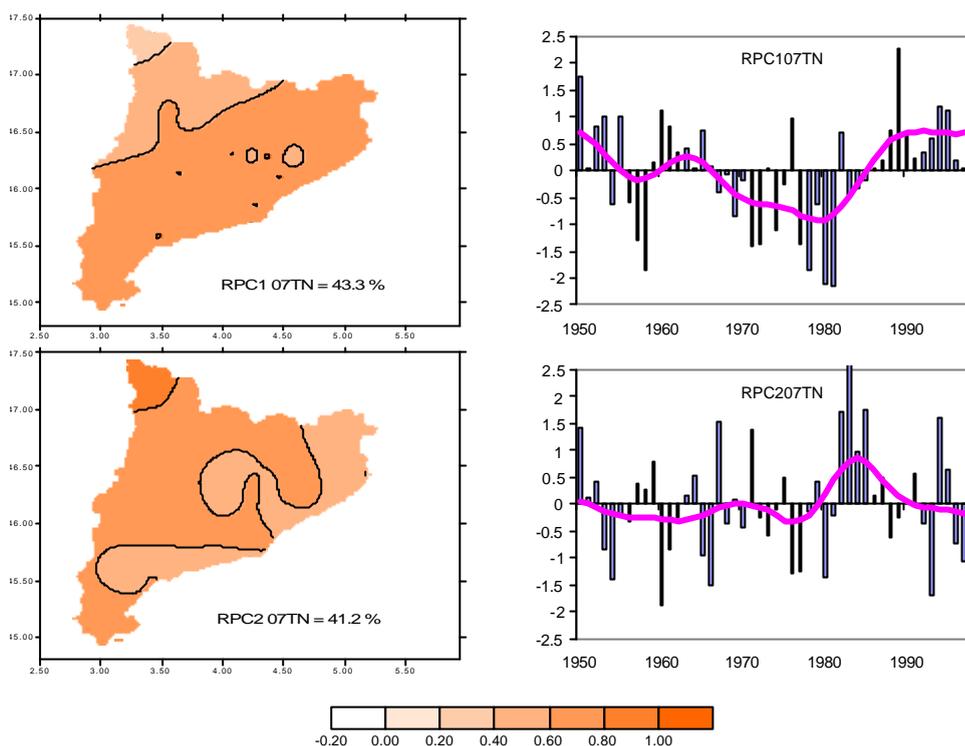


Figura 2.26. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de julio (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

gran incremento positivo desde el final de la anterior hasta mediados de los 90. Esta evolución es muy similar a la de la serie regional, que está claramente influida por este componente.

El segundo componente, RPC207TN, presenta un patrón espacial donde los pesos máximos de los componentes se sitúan en el extremo noroeste, y se extiende hacia la Depresión Central, y sectores montañosos del Sistema Litoral Central. La serie temporal asociada muestra una tendencia general idéntica a la del componente anterior, aunque con una evolución muy diferente. En este caso la serie muestra pocas variaciones, destacándose únicamente la fase cálida que aparece en la década de los años 80.

Agosto

El mes de agosto tiene también dos componentes diferenciados para las temperaturas mínimas mensuales (Figura 2.27). El primero de ellos, RPC108TN, adopta una distribución espacial en la que los valores máximos

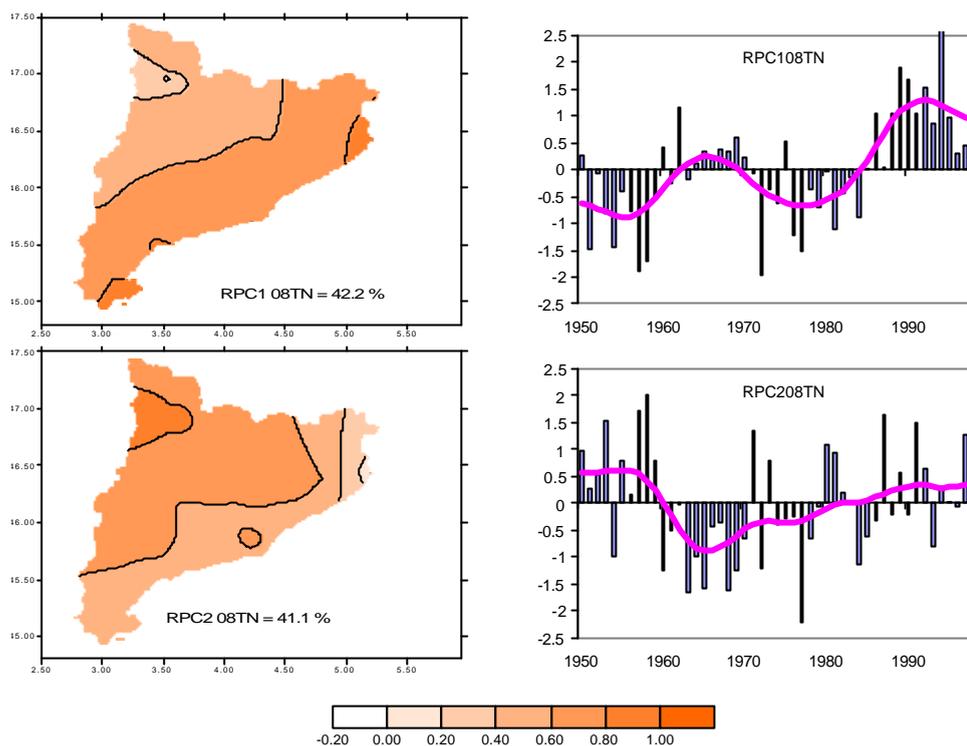


Figura 2.27. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de agosto (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

se encuentran en el Sistema Litoral Catalán y buena parte de la Depresión Central, decreciendo conforme penetran hacia el interior y adoptando los valores mínimos en el Pirineo Occidental, la región más alejada de la costa. La serie temporal asociada presenta una evolución caracterizada por una fase fría inicial durante los años 50, seguida de una fase cálida en la década siguiente. Entre 1970 y 1985 se identifica una segunda fase fría, que enlaza con la fase cálida observada en el final del periodo. La tendencia resultante de esta curva es claramente positiva, constituyendo el único de todos los componentes aislados de los promedios mensuales de temperatura mínima cuya tendencia tiene significación estadística al 99 %.

El segundo componente, RPC208TN, muestra un patrón espacial opuesto al anterior, con los valores máximos en el Pirineo Occidental y disminuyendo hacia la costa. La serie temporal se caracteriza por un subperiodo inicial con un fuerte descenso de los valores térmicos, seguido por un incremento que se inicia a mediados de los años 60, con un

crecimiento sostenido pero de menor intensidad que en el componente anterior.

La serie regional de este mes esta claramente influida por los incrementos que se registran en ambos componentes en la segunda mitad del periodo, aunque más influenciada por la fuerte tendencia experimentada en el área definida por el primer componente, mientras que la mitad inicial del periodo presenta una evolución intermedia entre ambos componentes.

Octubre

El primer componente del mes de octubre, RPC110TN, exhibe un patrón espacial con sus pesos máximos localizados en el área occidental, englobando parte de la Depresión Central y Prepirineo Occidental, mientras que los valores mínimos se sitúan en el Sistema Litoral (Figura 2.28). El segundo componente, RPC210TN, presenta una distribución opuesta, con sus pesos máximos en el Sistema Litoral central y meridional.

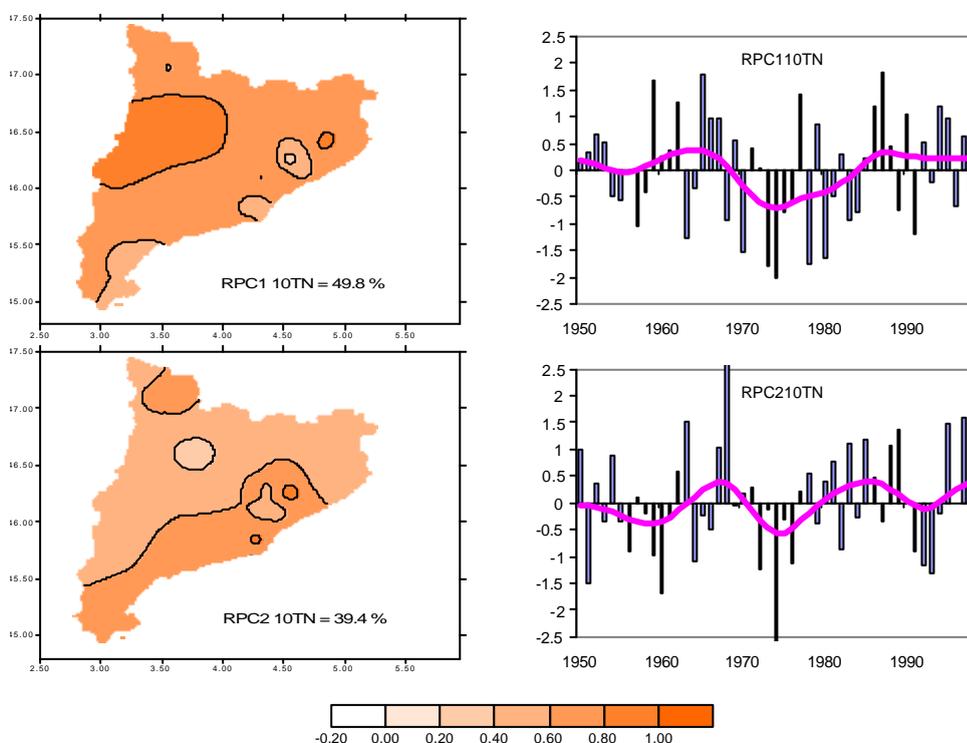


Figura 2.28. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de octubre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

Sus respectivas series temporales adquieren un comportamiento bastante similar, de carácter oscilatorio, que en el segundo componente tiene una leve tendencia positiva, mientras que para el primero ésta es nula. Ambos componentes contribuyen de forma similar a la forma adoptada por la curva regional de este mes.

Noviembre

El mes de noviembre recupera unos patrones espaciales (Figura 2.29) semejantes a los correspondientes a los meses de enero y marzo. El primer componente, RPC111TN, tiene los pesos máximos situados en el área central occidental y en menor grado en el resto del territorio, exceptuando los sectores montañosos del Pirineo y del Sistema Litoral, situados a mayor altitud que las áreas circundantes. La serie temporal de este componente presenta como característica más destacable una fase fría en la década de los años 70 y parte de los años 80, con una tendencia total casi nula.

El segundo componente, RPC211TN, muestra un patrón espacial caracterizado porque sus máximos valores se localizan en áreas topográficamente elevadas, en los sectores de montaña media del Pirineo Occidental y del Sistema Litoral Catalán. Con una tendencia marcadamente positiva, su comportamiento temporal se caracteriza por una extensa fase cálida que abarca desde 1960 hasta el final de la serie.

La curva regional presenta una mayor similitud con la evolución del primer componente, aunque influenciada por la tendencia presente en el segundo componente.

Diciembre

El primer componente, RPC112TN, distribuye sus pesos máximos por gran parte del territorio, con excepción de los sectores montañosos del Pirineo Occidental y del Sistema Litoral, así como el área sur de Cataluña (Figura 2.30). La serie temporal asociada a este componente presenta un comportamiento estable, con pocas oscilaciones y una tendencia general ligeramente positiva.

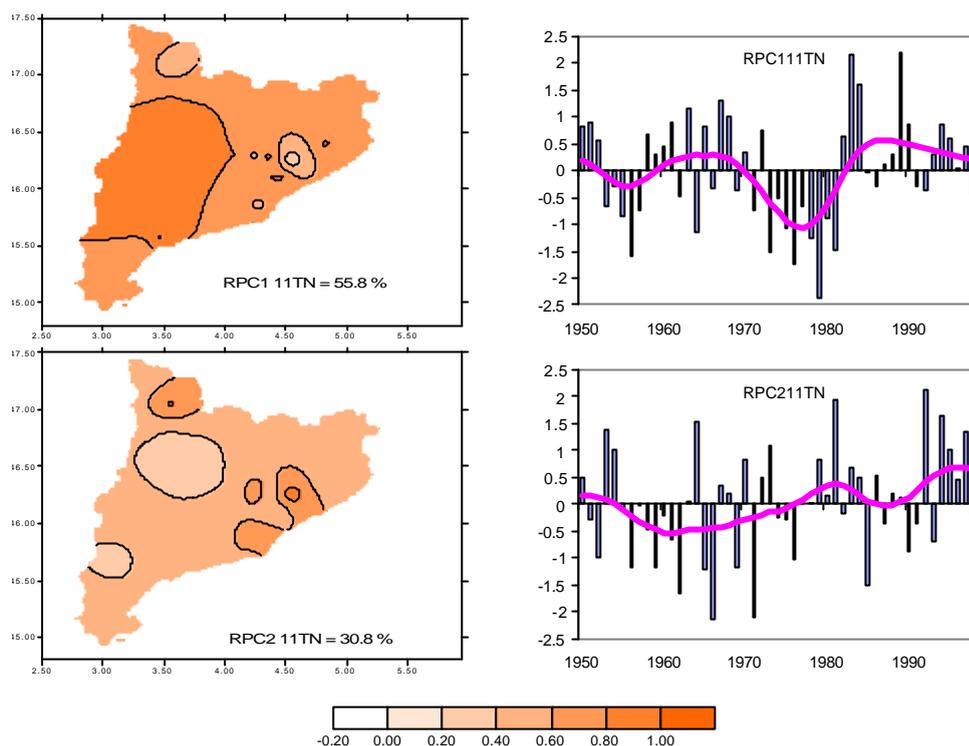


Figura 2.29. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de noviembre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

Los sectores topográficamente elevados respecto los circundantes de montaña media del Pirineo y el Sistema Litoral quedan agrupados, al igual que para el mes anterior, en el segundo componente, RPC212TN. Su comportamiento temporal se caracteriza por un extenso y sostenido incremento que se inicia a principios de los años 60 y se prolonga hasta el final del periodo, obteniéndose una tendencia general de la serie de carácter positivo. Esta evolución es notablemente similar a la de la curva regional, que esta claramente influenciada por la evolución térmica en estos sectores.

El tercer componente, RPC312TN, centra sus valores máximos en el sur del territorio. Su serie temporal presenta un comportamiento caracterizado por un descenso de las temperaturas desde el inicio de la serie hasta mediados de los 70. A partir de 1974 este comportamiento se invierte en un incremento térmico que, con alguna fluctuación a principio de los 80, continúa durante el resto del periodo.

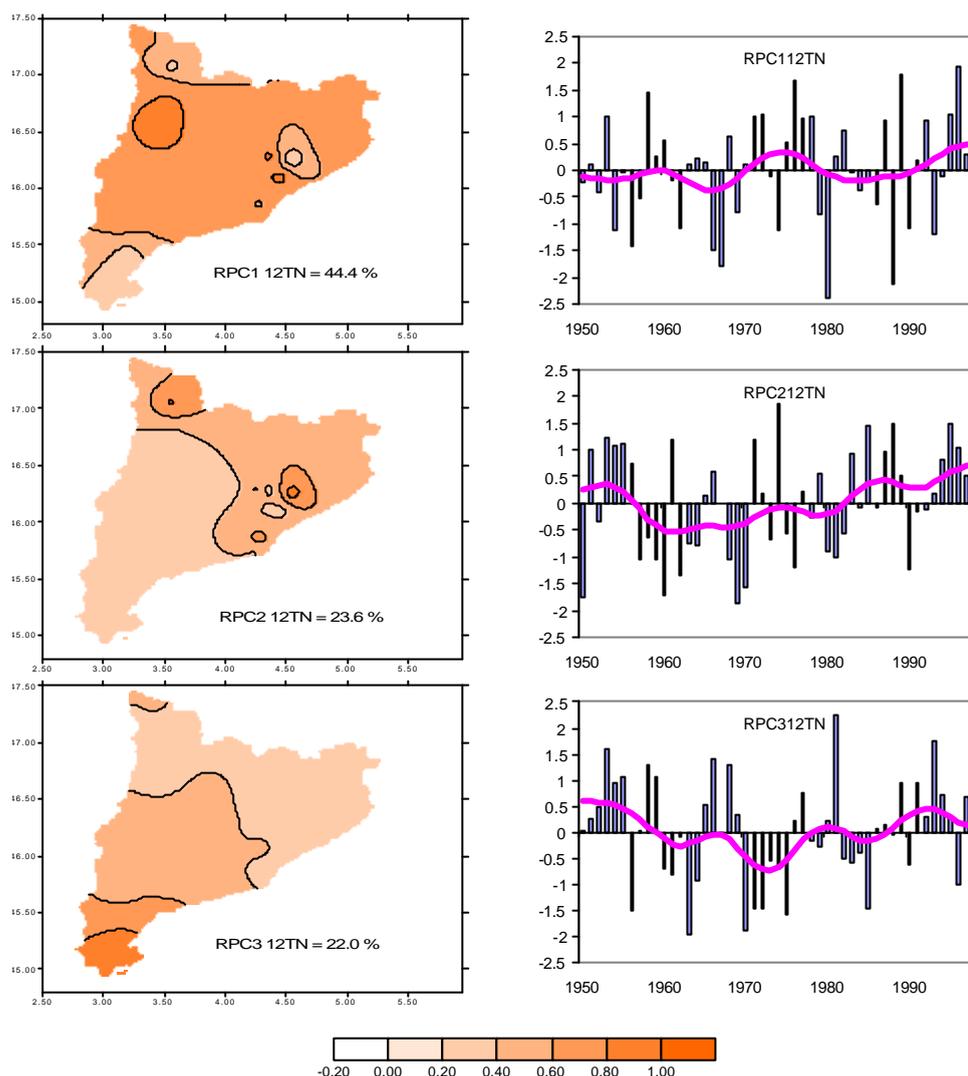


Figura 2.30. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria del mes de diciembre (izquierda) y series temporales de los mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Fig. 2.1.

En conjunto, los componentes principales rotados obtenidos del análisis de los promedios mensuales de temperatura mínima diaria presentan un número de tendencias significativas menor que los componentes extraídos del de los promedios de temperatura máxima.

La contribución de los diversos componentes a la evolución de las series regionales mensuales de la temperatura mínima no es tan homogénea como en el caso de las máximas. Mientras que en los meses estivales predomina la influencia de los componentes que presentan una distribución espacial de carácter litoral, en los meses invernales la curva regional esta fuertemente

influencia por la evolución térmica en áreas topográficamente elevadas respecto las circundantes, especialmente sectores montañosos del Pirineo Occidental y del Sistema Litoral Catalán, de forma similar a las contribuciones a la curva regional en el caso de la temperatura media.

En los meses pertenecientes a las estaciones equinocciales, este comportamiento es más ambiguo, y la evolución de las series regionales resulta de la influencia de los diversos componentes diferenciados en cada mes.

La influencia que ejercen los diversos RPCs de los tres parámetros sobre las series regionales de los diferentes meses y parámetros denota un denominador común en la mayoría de los casos. En aquellos meses en que la serie temporal de uno de los componentes presenta una tendencia superior a la del resto, la curva regional se identifica con la evolución de este componente. Si la serie del RPC muestra diversos subperiodos de comportamiento térmico diferenciado, la influencia sobre la curva regional es máxima en los subperiodos en que se produce un incremento o decremento importante de los valores térmicos, disminuyendo en el resto.

En cambio, en aquellos meses en que ninguno de los componentes muestra una tendencia mayor que el resto, la curva regional es resultado de la suma de contribuciones de los RPCs de ese mes, sin que la influencia de ninguno de ellos domine sobre el resto.

En función de estas características, puede afirmarse que la evolución de las curvas regionales, aunque construidas a partir de observaciones realizadas en el conjunto de territorio, esta claramente determinada, si se da el caso, por aquellos sectores que presentan una tendencia notablemente mas elevada que el resto.

2.3 Evaluación de la influencia del Mediterráneo Occidental sobre la temperatura del aire en Cataluña

La existencia de una masa de agua como el mar Mediterráneo colindante con el territorio catalán es, entre otros, un factor climogénico a considerar

cuando se analiza el comportamiento térmico de este territorio, especialmente en los sectores limítrofes al mismo. Albentosa (1973) deriva la acción climatizadora del Mediterráneo sobre el este de la Península Ibérica como resultado de las características geográficas de este mar, de forma que las masas de aire que penetran en él experimentan una desnaturalización en sus caracteres originarios, con fuerte incremento térmico. Esta influencia es directa en la fachada costera, atenuándose hacia el interior, especialmente en aquellos sectores en los cuales la altitud ejerce una acción primordial.

Análisis realizados sobre la temperatura marina y la temperatura del aire sobre los continentes revelan un elevado grado de consistencia entre la evolución de las anomalías térmicas de la superficie marina y las anomalías de la temperatura de aire en los sectores costeros durante el siglo XX (Parker *et al.*, 1995). Durante el periodo de calentamiento producido entre mediados de los años 70 y el año 2000 se observa un mayor calentamiento en las temperaturas terrestres respecto las temperaturas de la superficie oceánica, debido a la escasa inercia térmica de la temperatura del aire en relación a la temperatura de la superficie del mar respecto a su respuesta a los forzamientos.

El gran número de interacciones que se producen entre las masas marinas y la atmósfera aparece también reflejado en las relaciones que se establecen entre las temperaturas superficiales del mar (a partir de aquí SST, del acrónimo en inglés *Sea Surface Temperature*) y diversos patrones troposféricos (Enfield, 1999; Kawamura, 1994), como por ejemplo la relación entre la Oscilación del Atlántico Norte y la SST del Atlántico Norte (Robertson *et al.*, 2000; Rodwell *et al.*, 1999). Al contrario que en otras zonas marinas, en la cuenca mediterránea son casi inexistentes los patrones teleconectivos troposféricos definidos, debido a la influencia que inducen factores como la complejidad geográfica de la región, la desconexión con regiones cercanas y la importancia de los fenómenos mesoescalares⁶. Por

⁶ El único patrón teleconectivo troposférico propuesto en el Mediterráneo Occidental es la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) definido por Martín Vide (2002).

ello, este análisis está orientado a incluir el comportamiento de la variabilidad climática del Mediterráneo reflejada en las SST como otro factor explicativo más de la evolución de la temperatura del aire en el noreste peninsular.

Con objeto de establecer la influencia que el Mediterráneo Occidental ejerce sobre la evolución interanual de las temperaturas en Cataluña y testar la existencia de relaciones entre la SST y la evolución de las temperaturas catalanas, se han calculado las correlaciones existentes entre los componentes principales rotados extraídos de los promedios de temperatura del aire en Cataluña y las series mensuales de SST correspondientes a dos fuentes: una, a los valores de la cuadrícula correspondiente a los 40°-45° de latitud norte y 0°-5° de longitud este de la base de datos HadSST1 de temperatura superficial del mar proporcionado por la *Climatic Research Unit* (CRU) de la Universidad de East Anglia⁷; y la segunda, a las observaciones realizadas frente a la localidad de L'Estartit⁸, situada en el litoral norte catalán, entre 1969 y 1998.

En el primer caso, HadSST1, la serie corresponde a la agregación de una cuadrícula perteneciente a una base de datos global de calidad contrastada, con una gran densidad de observaciones y numerosas correcciones destinadas a garantizar la homogeneidad de los datos contenidos. La cuadrícula escogida cubre la superficie del Mediterráneo Occidental situada frente a las costas catalanas hasta distancias de 300-400 Km, fuera de la plataforma continental.

La segunda serie, la de L'Estartit, es una serie observacional que, aunque no cubre todo el periodo de estudio, es interesante analizar debido a que proporciona información puntual sobre la evolución térmica de las aguas más cercanas al litoral catalán.

Al examinar los coeficientes de correlación obtenidos (Tablas 2.6 y 2.7) puede observarse que existen contrastes entre los componentes

⁷ Disponible en www.cru.uea.uk/cru/data/old-temperature/. Base de datos introducida por Parker *et al.*, (1995) y modificada por Rayner *et al.*, (1996).

⁸ Datos proporcionados por Josep Pascual, correspondientes a las observaciones realizadas por él mismo.

Tabla 2.6. Coeficientes de correlacion entre los diferentes RPCs extraidos de los promedios mensuales de temperatura diaria y las series anuales de temperatura superficial del mar del HadSST1.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
RPC101TM	0.33*											
RPC201TM	0.31*											
RPC103TM			0.60**									
RPC104TM				0.40**								
RPC204TM				0.60**								
RPC107TM							0.78**					
RPC108TM								0.79**				
RPC111TM											0.46**	
RPC212TM												0.28*
RPC312TM												0.30*
RPC101TX	0.32*											
RPC102TX		0.46**										
RPC202TX		0.60**										
RPC103TX			0.56**									
RPC203TX			0.33*									
RPC204TX				0.55**								
RPC206TX						0.76**						
RPC207TX							0.74**					
RPC208TX								0.63**				
RPC308TX								0.39**				
RPC109TX									0.45**			
RPC209TX									0.44**			
RPC211TX											0.36*	
RPC101TN	0.33*											
RPC201TN	0.33*											
RPC203TN			0.60**									
RPC204TN				0.43**								
RPC304TN				0.46**								
RPC105TN					0.52**							
RPC205TN					0.46**							
RPC305TN					0.48**							
RPC106TN						0.49**						
RPC206TN						0.69**						
RPC107TN							0.69**					
RPC207TN							0.46**					
RPC108TN								0.67**				
RPC208TN								0.39**				
RPC110TN									0.44**			
RPC210TN									0.69**			
RPC111TN										0.48**		
RPC112TN											0.28*	
RPC212TN												0.34*

* Nivel de significacion del 95 %
 ** Nivel de significación del 99 %

representativos de los diferentes patrones espaciales. Los coeficientes de correlación significativos de los componentes extraídos de los promedios mensuales de la temperatura media diaria con las series mensuales de las SST se corresponden, durante los meses centrales del año, con una distribución espacial de sus pesos máximos localizada en el área litoral. Esta correlación es máxima en el caso del primer componente del mes de agosto, de valor igual a 0.86 para la correlación con la serie de L’Estartit y 0.79 con la serie del CRU. Durante los meses invernales, aparecen correlaciones significativas, de valor mas bajo, con componentes representativos de sectores montañosos y de sectores deprimidos.

Estos resultados son similares a los obtenidos con los componentes principales extraídos de los promedios mensuales de la temperatura máxima

Tabla 2.7. Coeficientes de correlacion entre los diferentes RPCs extraidos de los promedios mensuales de temperatura diaria y las series anuales de temperatura superficial del mar de L’Estartit.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
RPC103TM			0.51**									
RPC203TM			0.40*									
RPC204TM				0.48**								
RPC107TM							0.76**					
RPC108TM								0.86**				
RPC202TX		0.50**										
RPC103TX			0.40*									
RPC203TX			0.59**									
RPC204TX				0.38*								
RPC206TX						0.51**						
RPC207TX							0.79**					
RPC208TX								0.68**				
RPC308TX								0.59**				
RPC109TX									0.51**			
RPC209TX									0.57**			
RPC112TX												0.37*
RPC203TN			0.51**									
RPC104TN				0.47*								
RPC105TN					0.60**							
RPC205TN					0.55**							
RPC305TN					0.41*							
RPC106TN						0.51**						
RPC206TN						0.53**						
RPC107TN							0.66**					
RPC207TN							0.54**					
RPC108TN								0.77**				
RPC208TN								0.48**				
RPC110TN										0.39*		
RPC210TN										0.56**		

* Nivel de significacion del 95 %

** Nivel de significación del 99 %

diaria. De los RPCs extraídos de este parámetro, diez de los trece coeficientes de correlación significativos se identifican con componentes que muestran un patrón espacial de carácter litoral cuando se correlan con las series de SST de la CRU, alcanzando sus valores más altos en los meses centrales del año. Para las correlaciones con las SST de L’Estartit, los resultados son análogos, en este caso con 9 de los 11 coeficientes significativos pertenecientes a RPCs representativos de los patrones espaciales centrados en áreas litorales. En ambos casos, los meses equinocciales muestran coeficientes significativos con todos los componentes, a la vez que en los meses estivales se registran los coeficientes mas elevados, siempre relacionados con los componentes litorales.

Respecto a los RPCs pertenecientes a los promedios mensuales de la temperatura mínima, aquellos que configuran disposiciones litorales de sus pesos máximos también tienen coeficientes de correlación significativos en

los meses centrales del año, pero se detectan además correlaciones significativas en componentes con distribuciones espaciales centradas en áreas del interior, normalmente de valor algo inferior. Las correlaciones significativas se extienden asimismo a los meses invernales, aunque con valores bajos de los coeficientes.

Las similitudes en la evolución de la temperatura del aire en Cataluña y la SST no son homogéneas ni en el espacio ni a lo largo del año. El efecto que ejerce la limítrofe masa marina sobre las temperaturas catalanas es máximo en los sectores litorales, que muestran correlaciones significativas en los tres parámetros de temperatura analizados. No obstante, la penetración hacia el interior de esta influencia marina es mayor en el caso de la temperatura mínima, mientras que para las temperaturas máximas, al igual que para las medias, su efecto queda circunscrito a las áreas litorales.

Se observa también una concentración de dicha influencia marina en los meses de primavera, principios del otoño y, especialmente, en los meses de verano, en los que se detectan las correlaciones más altas. En cambio, entre noviembre y febrero la relación entre las temperaturas terrestres y las marinas es casi inexistente. Esta distribución intranual parece indicar que la influencia de la temperatura marina depende del debilitamiento de la circulación zonal. En los meses invernales, en los que se ve favorecida la entrada de masas de aire atlánticas, la influencia marina mediterránea es mínima mientras que en los meses estivales, con el debilitamiento de la circulación del Oeste y el estancamiento atmosférico provocado por las altas presiones que se sitúan sobre la Península Ibérica, la influencia de la SST adopta sus valores máximos.

2.4 Síntesis del capítulo

El análisis inicial realizado sobre los promedios anuales de las temperaturas media, máxima y mínima diarias confirma la existencia de sectores del territorio catalán con una evolución térmica diferenciada. En esta escala anual, la temperatura media diaria configura dos áreas diferenciadas: una,

abarcando el conjunto del litoral y prelitoral catalán y con una tendencia positiva significativa, responsable en gran medida del incremento térmico registrado en la serie regional catalana de la temperatura media; y otra, de carácter interior que comprende el sector occidental del territorio y la cual no presenta una tendencia apreciable.

Similar división se encuentra en los componentes aislados a partir del promedio anual temperatura máxima diaria, con la única tendencia positiva de la evolución térmica relacionada igualmente con el componente que engloba el área litoral, siendo éste el que más contribuye al aumento experimentado por la serie regional de la temperatura máxima.

Los componentes aislados del promedio anual de la temperatura mínima diaria, en cambio, muestran unos patrones espaciales diferentes. La serie regional esta claramente influenciada por uno de los componentes que abarca gran parte del territorio, sin que en ninguno de ellos se distinga tendencia significativa. Esta diferencia entre los componentes de los dos parámetros extremos indica una mayor contribución de la temperatura máxima respecto a la temperatura mínima en la configuración de la temperatura media a escala anual.

Al realizar el análisis a escala mensual se detectan los patrones espaciales identificados en la escala anual, pero aparecen también definidos otros patrones térmicos no diferenciados con anterioridad. Así, en los componentes extraídos de los promedios mensuales de la temperatura media diaria aparece entre los meses de marzo y agosto un patrón espacial que abarca el Sistema Litoral Catalán, ya identificado a escala anual, pero también otra distribución espacial que engloba el sector noroccidental del territorio. Durante los meses invernales, entre noviembre y enero, se distinguen dos patrones espaciales diferentes de los anteriores: uno, ya identificado en escala anual, correspondiente al área de la Depresión Central, con tendencias prácticamente nulas; y otro, que se identifica con sectores de montaña media mediterránea del Pirineo Occidental y el Montseny, donde se encuentran localizados los observatorios situados a mayor altitud utilizados este análisis.

Los patrones espaciales que presentan mayores tendencias en sus series temporales son los que normalmente tienen mayor similitud con la serie regional del mes correspondiente, de manera que la variabilidad interanual de la serie regional está estrechamente relacionada con la de la evolución térmica en las zonas del territorio cuyas series temporales presentan una mayor tendencia.

Según esta característica, entre noviembre y enero predomina la influencia que ejercen sobre la serie regional las áreas de territorio de montaña media, situadas a mayor altitud o elevadas topográficamente sobre los sectores circundantes, mientras que de marzo a agosto la mayor contribución a las series regionales mensuales la ejerce el sector de territorio definido por el Sistema Litoral Catalán.

A diferencia de lo observado en escala anual, en base mensual la temperatura media está más contribuida por la temperatura mínima que no por la temperatura máxima.

El análisis realizado sobre los promedios mensuales de la temperatura mínima diaria arroja resultados muy similares a los de la temperatura media. En los meses estivales predomina sobre las series regionales mensuales de la temperatura mínima diaria la influencia de los componentes que presentan una distribución espacial centrada en el área del litoral. En cambio, en los meses de características invernales, que para este parámetro se extienden entre noviembre y marzo, la curva regional está fuertemente influenciada por la evolución térmica en áreas topográficamente elevadas respecto de las circundantes, especialmente los sectores montañosos del Pirineo Occidental y del Sistema Litoral Catalán, de forma similar a las contribuciones a la curva regional en el caso de la temperatura media. En los meses pertenecientes a las estaciones equinocciales, este comportamiento es más ambiguo, y la evolución de las series regionales resulta de la influencia de los diversos componentes diferenciados en cada mes.

En los componentes obtenidos del análisis de los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria se diferencian patrones espaciales similares a los anteriores. Sin embargo, el patrón que abarca el área del Sistema Litoral

Catalán aparece durante todo el año, englobando la mayoría de las tendencias positivas significativas detectadas en este parámetro y definiendo la evolución de las series regionales mensuales de la temperatura máxima.

La relación existente entre los parámetros de la temperatura del aire en Cataluña y la temperatura superficial del Mediterráneo Occidental es máxima en los sectores litorales. No obstante, la penetración hacia el interior de esta influencia marina es mayor en el caso de la temperatura mínima, mientras que para las temperaturas medias, al igual que para las máximas, su efecto queda circunscrito a las áreas litorales.

Se observa también que la influencia de la temperatura marina del Mediterráneo depende del debilitamiento de la circulación zonal. En los meses invernales, en los que se ve favorecida la entrada de masas de aire atlánticas, la influencia marina mediterránea es mínima mientras que en los meses estivales, con el debilitamiento de la circulación del Oeste y el estancamiento atmosférico provocado por las altas presiones que se sitúan sobre la Península Ibérica y la cuenca del Mediterráneo Occidental, la influencia de la SST adquiere sus valores máximos.

3 Los patrones espaciales de la temperatura del aire en Cataluña definidos tras el análisis de conglomerados

En el capítulo anterior se ha observado que la evolución de la temperatura del aire en Cataluña presenta diferencias territoriales destacables, con comportamientos y tendencias divergentes que influyen de manera desigual en la conducta de las series regionales. Una parte de esta variabilidad se detecta a escala anual, pero es dentro del análisis del comportamiento térmico intranual donde mejor se detectan estas variaciones. Esto obedece a que aunque existen sectores del territorio con un comportamiento climáticamente homogéneo, varían en función de la época del año examinada, de forma que un patrón espacial detectado en un conjunto de meses puede ser inexistente en otros.

El presente capítulo está dedicado a identificar y analizar los principales patrones espaciales que se observan en las temperaturas catalanas a lo largo del año, identificando aquellas zonas en las cuales durante todo o una parte del año se detecta un comportamiento homogéneo de la temperatura del aire en Cataluña. Para ello se ha aplicado el Análisis de Conglomerados a los componentes principales obtenidos con anterioridad, con objeto de identificar patrones espaciales reiterados dentro de cada uno de los parámetros térmicos. Los conglomerados de los diferentes parámetros que presenten una distribución espacial semejante se agruparan para definir los patrones espaciales que caracterizaran las áreas térmicamente homogéneas de Cataluña, analizando sus características espaciales y sus diferencias en la evolución térmica.

El capítulo se encuentra estructurado en dos grandes apartados. En primer lugar se describen los diferentes grupos de componentes obtenidos al aplicar

el análisis de Conglomerados a los componentes obtenidos en cada uno de los parámetros térmicos (apartado 3.1). Cada uno de los tres subapartados que lo forman esta dedicado a describir los *clusters* extraídos tras el análisis de la temperatura media, máxima o mínima, indicando su extensión territorial, los componentes que los integran y la evolución de las temperaturas en ese sector, así como su influencia sobre la evolución general de las series regionales catalanas de la temperatura del aire y, finalmente, su relación con la evolución de la temperatura superficial del Mediterráneo Occidental.

En segundo lugar, el apartado 3.2, en el que se realiza la síntesis y análisis de la información aportada en el apartado 3.1, se encuentra a su vez dividido en dos subapartados. El primero recoge la definición de las distribuciones espaciales que se han identificado en los conglomerados comunes a los tres parámetros de temperatura, y que se han denominado patrones térmicos catalanes, identificándose los conglomerados que presentan estos patrones espaciales, el área abarcada por cada patrón y sus características propias. El segundo subapartado está dedicado a analizar las diferencias estacionales en las temperaturas catalanas a partir de los patrones espaciales, evaluar las diferencias existentes entre los tres parámetros térmicos utilizados en este trabajo, y a definir la evolución observada de la Amplitud Térmica Diaria en los diferentes patrones espaciales.

3.1 Conglomerados definidos para cada uno de los tres parámetros de la temperatura diaria

La aplicación de la técnica del Análisis de Conglomerados a los componentes principales se ha realizado por separado para cada uno de los tres parámetros de estudio. Esto nos permite obtener conglomerados o conjuntos de componentes que presentan un cierto grado de similitud en su distribución espacial a lo largo del año.

Como se indicaba en el segundo capítulo, para la diferenciación de los conglomerados se ha utilizado una distancia de combinación de

conglomerados reescalada de valor 5 en los dendrogramas obtenidos (Apéndice IV). Tras sucesivas pruebas con umbrales más altos y más bajos, se ha establecido que este valor proporciona conglomerados que presentan patrones espaciales bastante homogéneos. Con distancias más pequeñas se produce una excesiva fragmentación y con distancias mayores se obtienen conjuntos demasiado grandes, con distribuciones espaciales muy diferenciadas entre sí. En casos puntuales se flexibilizó el umbral para permitir la inclusión o exclusión de algún componente, con objeto de obtener un conglomerado más representativo y acorde con el resto de resultados en el primer caso, y para conseguir un conglomerado más homogéneo en el segundo, medida recomendada por algunos autores (Serrano *et al.*, 1999; Wilks, 1995; Huth *et al.*, 1993).

Los conjuntos de componentes resultantes permitirán evaluar sí, para cada parámetro de temperatura de forma individual, los patrones térmicos espaciales se presentan invariables o por el contrario la distribución espacial de las temperaturas varía a lo largo del año. También nos permitirá examinar si los componentes que presentan un mismo patrón espacial muestran una evolución en el tiempo similar entre ellos.

En los siguientes subapartados se describen los patrones espaciales de los diferentes conglomerados y se examinan las similitudes y diferencias en la evolución temporal de los componentes que los forman. Cada uno de los tres subapartados (4.1.1; 4.1.2; 4.1.3) está dedicado a los *clusters* formados por componentes de uno de los promedios mensuales de temperatura.

3.1.1 Resultados del análisis de conglomerados sobre los componentes extraídos del promedio mensual de la temperatura media diaria.

El Análisis de Conglomerados de los componentes principales del promedio mensual de la temperatura media diaria distingue cuatro conglomerados, que engloban 14 de los 15 componentes rotados (Tabla 3.1).

La estacionalidad de los conglomerados queda patente al observar que dos de ellos agrupan componentes de los meses centrales del año, de carácter

Tabla 3.1. Tendencias anuales de los componentes principales rotados integrados en los conglomerados determinados para los promedios mensuales de temperatura media diaria.

COMED1	COMED2	COMED3	COMED4
RPC203TM 0.008	RPC111TM 0.013	RPC103TM 0.008	RPC211TM 0.007
RPC204TM 0.003	RPC112TM 0.003	RPC104TM 0.003	RPC312TM 0.006
RPC107TM 0.012	RPC101TM 0.008	RPC207TM 0.009	RPC201TM 0.022*
RPC108TM 0.034**		RPC208TM 0.011	

* Significativa al 95 %
 ** Significativa al 99 %

estival, mientras que los otros dos presentan componentes pertenecientes a meses fríos, de carácter invernal.

Los dos conglomerados que recogen componentes de los meses primaverales y estivales, entre marzo y agosto, son el COMED1 y COMED3. El COMED1 (Figura 3.1) muestra un patrón espacial de carácter litoral, con los valores máximos en el Sistema Litoral Catalán, mientras que el COMED3 (Figura 3.2) agrupa componentes centrados en el sector noroccidental del territorio, Pirineo y Prepirineo Occidentales. Este reparto territorial entre áreas cercanas y alejadas respecto a la costa, se relaciona con la temperatura superficial del Mediterráneo Occidental. La totalidad de los componentes integrados en el COMED1 presenta coeficientes de correlación significativos con las SSTs del Mediterráneo Occidental, significación que es casi inexistente entre los componentes del COMED3.

En cuanto a la evolución temporal de sus respectivos valores, durante la primavera los componentes integrados en ambos conglomerados muestran tendencias similares, aunque con una evolución diferenciada. Estas tendencias son del mismo signo que las de las series regionales (Tabla 3.2), aunque de intensidad menor, indicando que los dos conglomerados contribuyen de manera similar al incremento térmico regional durante los meses de marzo y abril.

En los meses centrales del verano, en cambio, se detectan tendencias notablemente más elevadas en el COMED1 respecto al COMED3. La diferencia más relevante la encontramos en el mes de agosto, donde la

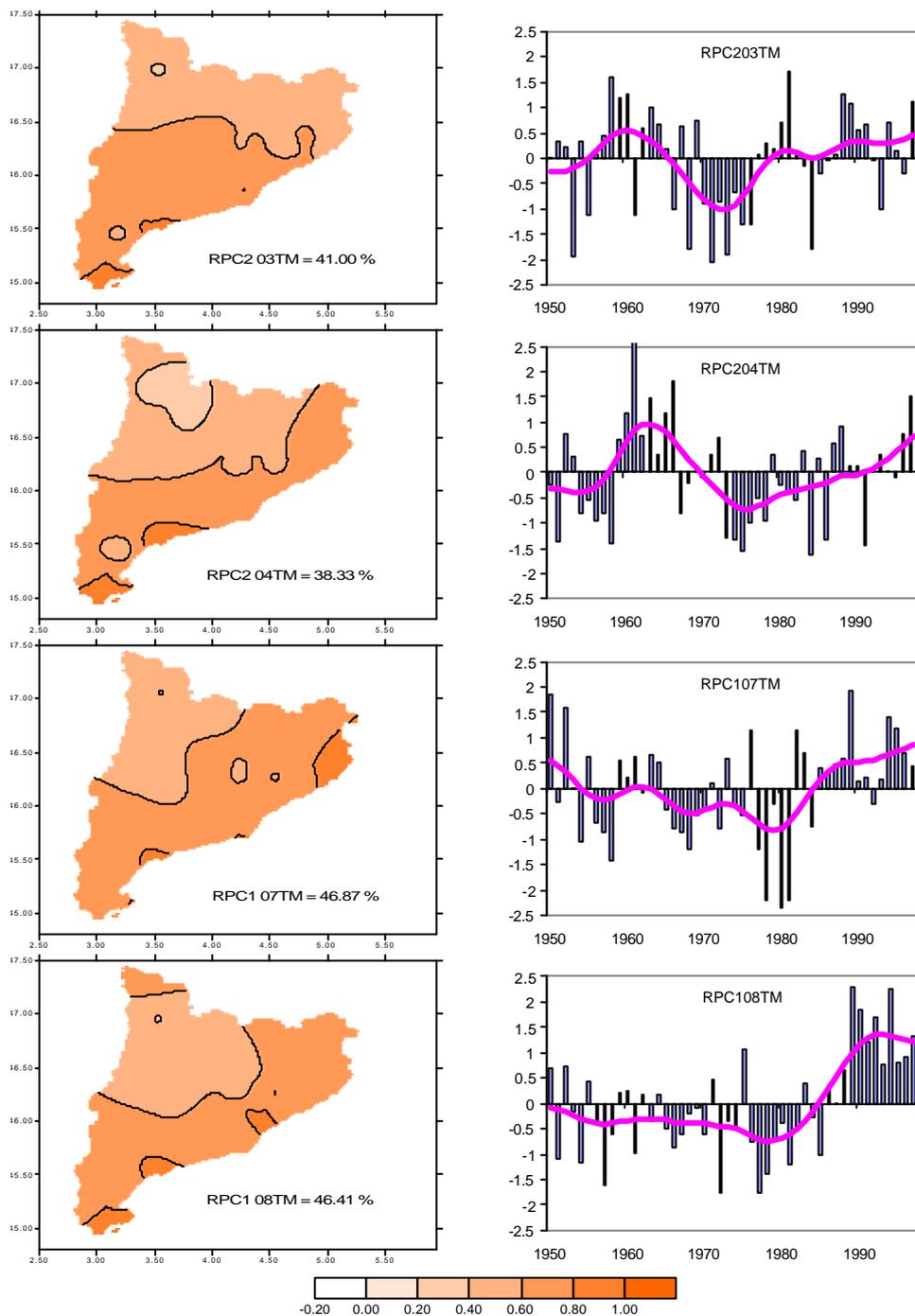


Figura 3.1. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMED1 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha). Las columnas representan los valores del componente. La curva representa un filtro gaussiano de trece términos. Se han utilizado seis años extra en los extremos con valores igual al promedio de los seis primeros/finales años de la componente.

componente de este mes integrada en el COMED1 presenta la única tendencia significativa de ambos conglomerados. Estas mayores tendencias

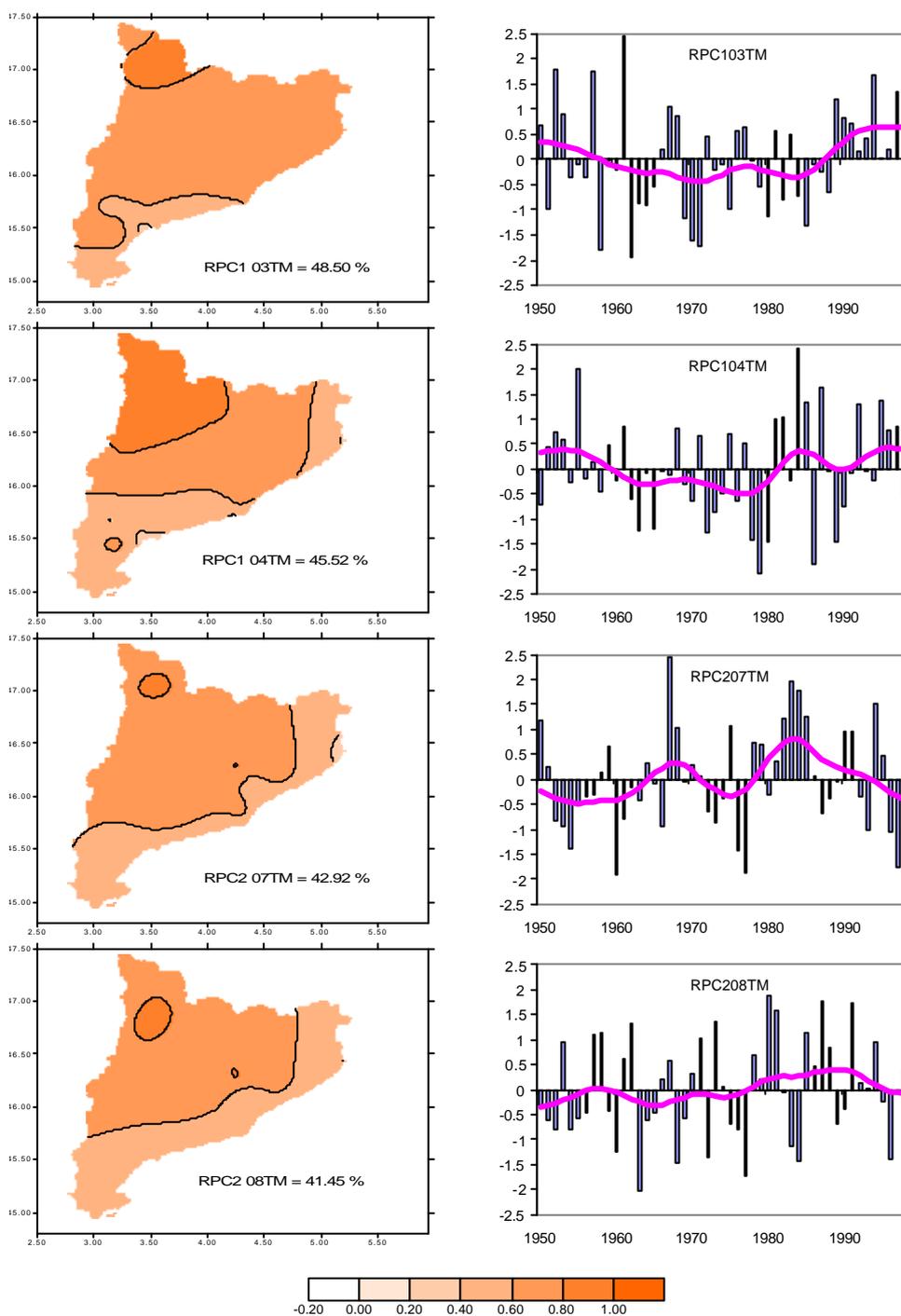


Figura 3.2. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMED3 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Figura 3.1.

observadas durante los meses de julio y agosto en los sectores mas cercanos a la costa se corresponden con fuertes tendencias detectadas en las series regionales, lo que indica un predominio de la influencia de las áreas

Tabla 3.2. Tendencias anuales de las series regionales catalanas de los promedios mensuales de la temperatura media diaria para aquellos meses representados en los COMED.

Mes	Tendencia	Mes	Tendencia
Enero	0.027*	Agosto	0.036**
Marzo	0.018	Noviembre	0.021
Abril	0.008	Diciembre	0.021
Julio	0.018		

* Significativa al 95 %

** Significativa al 99 %

definidas por el COMED1 respecto las del COMED3 en el incremento registrado por las series regionales de la temperatura media en los meses de julio y, especialmente agosto.

Así pues, en los meses centrales del año, y especialmente durante el agosto, el litoral catalán, influido por el incremento de la temperatura marina, ha registrado un importante ascenso de los valores de temperatura media durante la segunda mitad del siglo XX, responsable en mayor medida de las tendencias observadas en las series regionales mensuales y estacionales.

Los dos conglomerados de carácter invernal muestran una distribución espacial diferenciada respecto sus homólogos de los meses centrales del año. Uno, el COMED2 (Figura 3.3), está localizado en el centro y sur del área occidental del territorio, comprendiendo la Depresión Central y el sector meridional del Sistema Litoral Catalán. El segundo, el COMED4 (Figura 3.4), se encuentra centrado sobre el Pirineo Occidental y el macizo del Montseny. La clasificación de los componentes en estos dos grupos indica, a diferencia de lo que sucedía con los conglomerados estivales, una división del territorio coincidente con las características topográficas de las dos áreas definidas por los conglomerados. El sector caracterizado por el COMED2 engloba las zonas deprimidas altitudinalmente de la Depresión del Ebro, mientras que el COMED4 coincide con áreas topográficamente elevadas.

La única tendencia significativa estadísticamente se detecta durante el mes de enero en el COMED4, mucho mayor que la correspondiente al COMED2

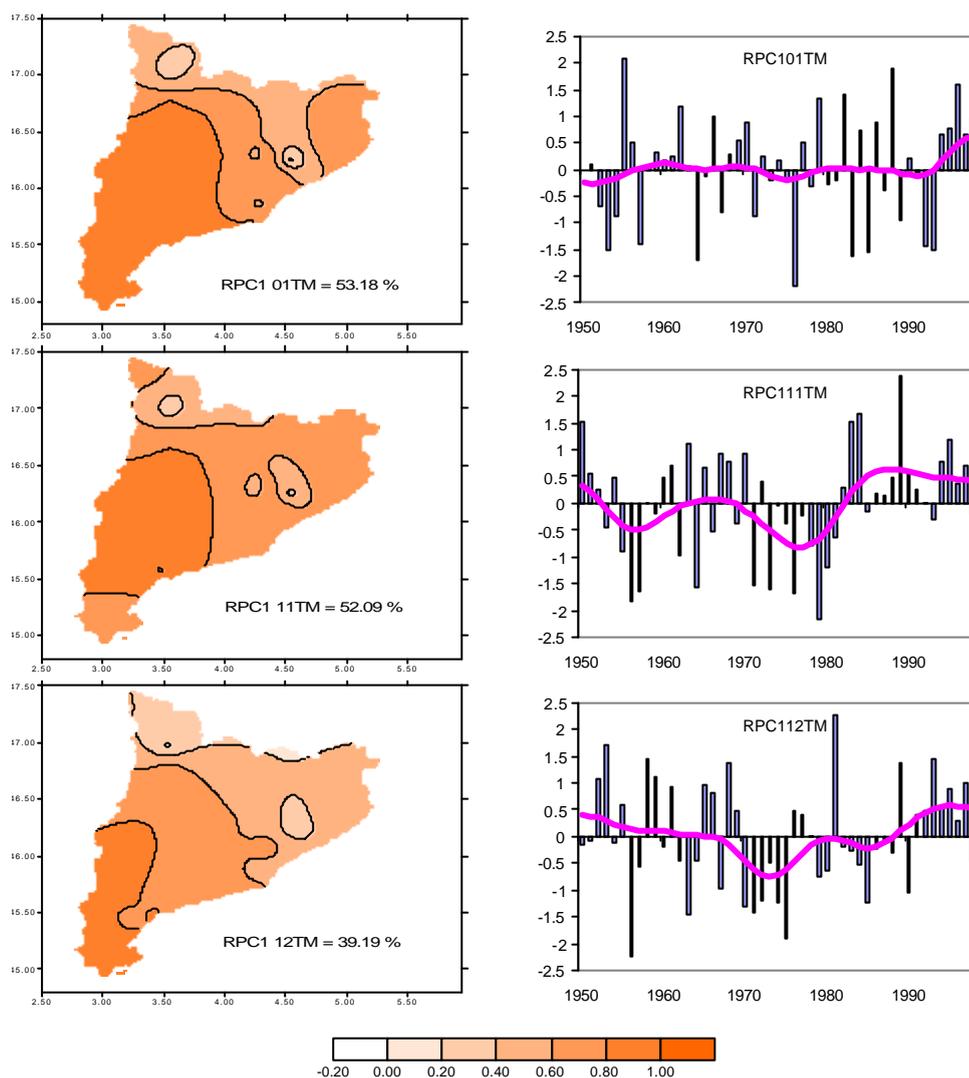


Figura 3.3. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMED2 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Figura 3.1.

y similar a la tendencia revelada en la serie regional, lo que indica que en este mes la evolución regional de la temperatura media viene definida por el incremento térmico experimentado en las zonas de montaña.

En el mes de diciembre, en cambio, las tendencias que arrojan ambos conglomerados son similares y de menor magnitud que la de la serie regional. Para noviembre se muestran tendencias mas definidas que el mes anterior pero sin llegar a tener significación estadística, con valores mayores para las áreas deprimidas respecto las zonas de alta y media montaña mediterránea. Esta diferencia en el comportamiento de la temperatura media

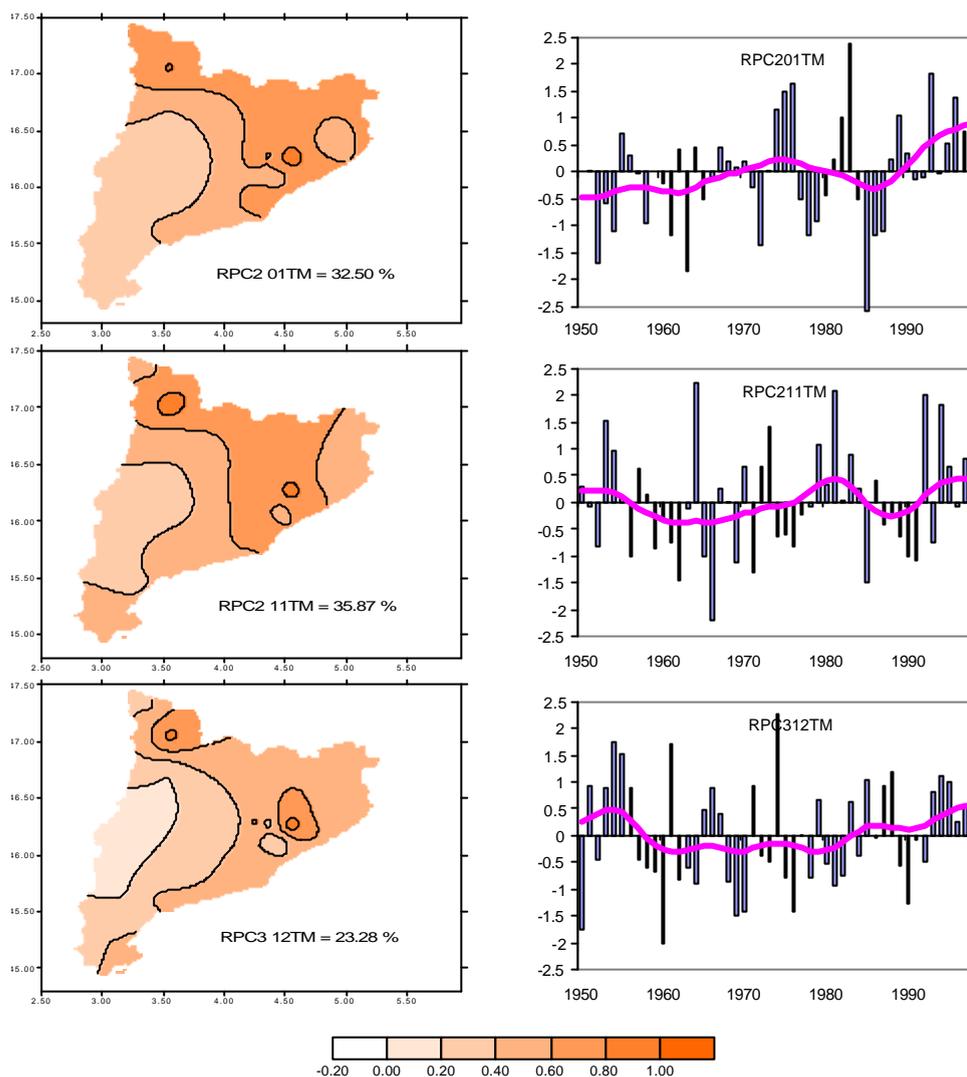


Figura 3.4. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMED4 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Figura 3.1.

invernal se relaciona, como se explica más adelante, con la evolución diferenciada que presentan durante el invierno los dos parámetros extremos en las zonas de mayor altitud.

Existe, por tanto, una diferenciación clara entre el verano y el invierno en cuanto: a los patrones térmicos que aparecen; a qué sectores presentan mayor tendencia en su evolución térmica e influencia sobre la evolución temporal de las series regionales correspondientes; y, finalmente, a la influencia ejercida por la evolución térmica marina.

3.1.2 Resultados del análisis de conglomerados sobre los componentes extraídos del promedio mensual de temperatura máxima diaria.

La aplicación del Análisis de Conglomerados a los componentes principales extraídos de los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria proporciona cinco conglomerados con patrones espaciales definidos, que agrupan a 22 de los 29 componentes principales rotados determinados para este parámetro.

Los patrones espaciales de los conglomerados de la temperatura máxima son similares a los identificados en la temperatura media. Con una distribución intranual también semejante, engloban algunos meses más que en el caso de la temperatura media debido a que es mayor el número de meses con RPCs diferenciadas en la temperatura máxima que en la temperatura media.

Los dos conglomerados más extensos, siete componentes cada uno, son el COMAX3 y el COMAX4, que agrupan componentes de meses comprendidos entre febrero y septiembre. En el primero, COMAX3 (Figura 3.5), los componentes principales aparecen centrados sobre el sector noroccidental del territorio, con los valores máximos centrados en el área del Pirineo y Prepirineo Occidentales, extendiéndose con menor magnitud a buena parte de la Depresión Central. Los pesos de los componentes van disminuyendo hacia el sur y este, con los mínimos situados en la costa.

En el COMAX4 (Figura 3.6) domina el carácter litoral de los componentes, con una rápida disminución conforme se progresa hacia el interior. El área que abarca este patrón se circunscribe al Sistema Litoral Catalán y solo en algunos casos abarca los sectores más meridionales de la Depresión Central.

Existe una notable diferencia entre ambos conglomerados en cuanto a evolución y tendencia de los RPCs agrupados en cada uno. Los componentes agrupados en el COMAX4 presentan en general tendencias positivas bien definidas (Tabla 3.3), con significación estadística superior al 95 % en 4 de los 7 componentes y superior al 99 % en 3 de estos 4. Entre ellos se

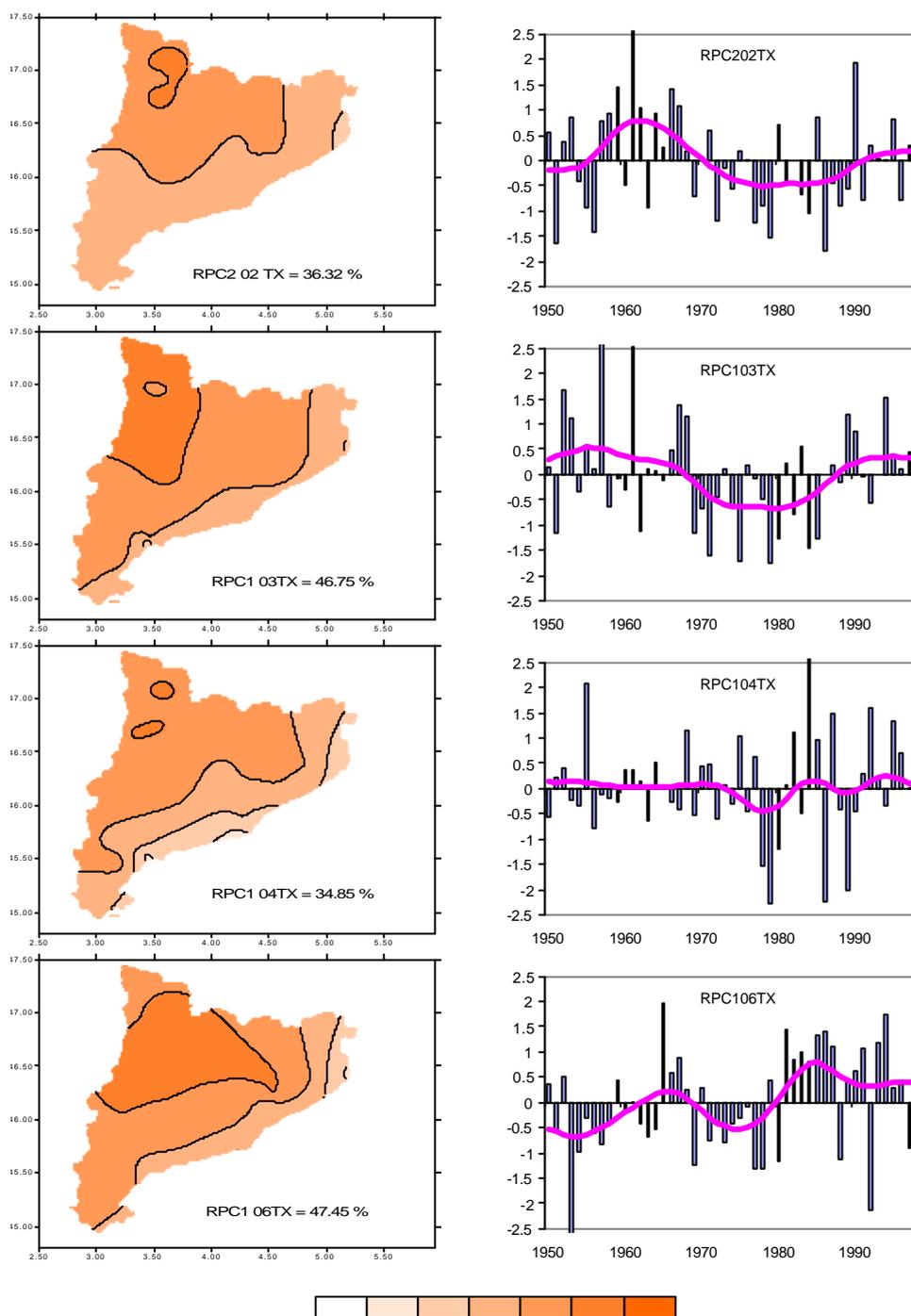


Figura 3.5. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMAX3 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Figura 3.1.

encuentra la tendencia más elevada de la temperatura máxima, de 0.042 en el mes de agosto.

En el COMAX3, en cambio, únicamente en el mes de junio se detecta una tendencia positiva con significación al 95 %, mientras que el resto de

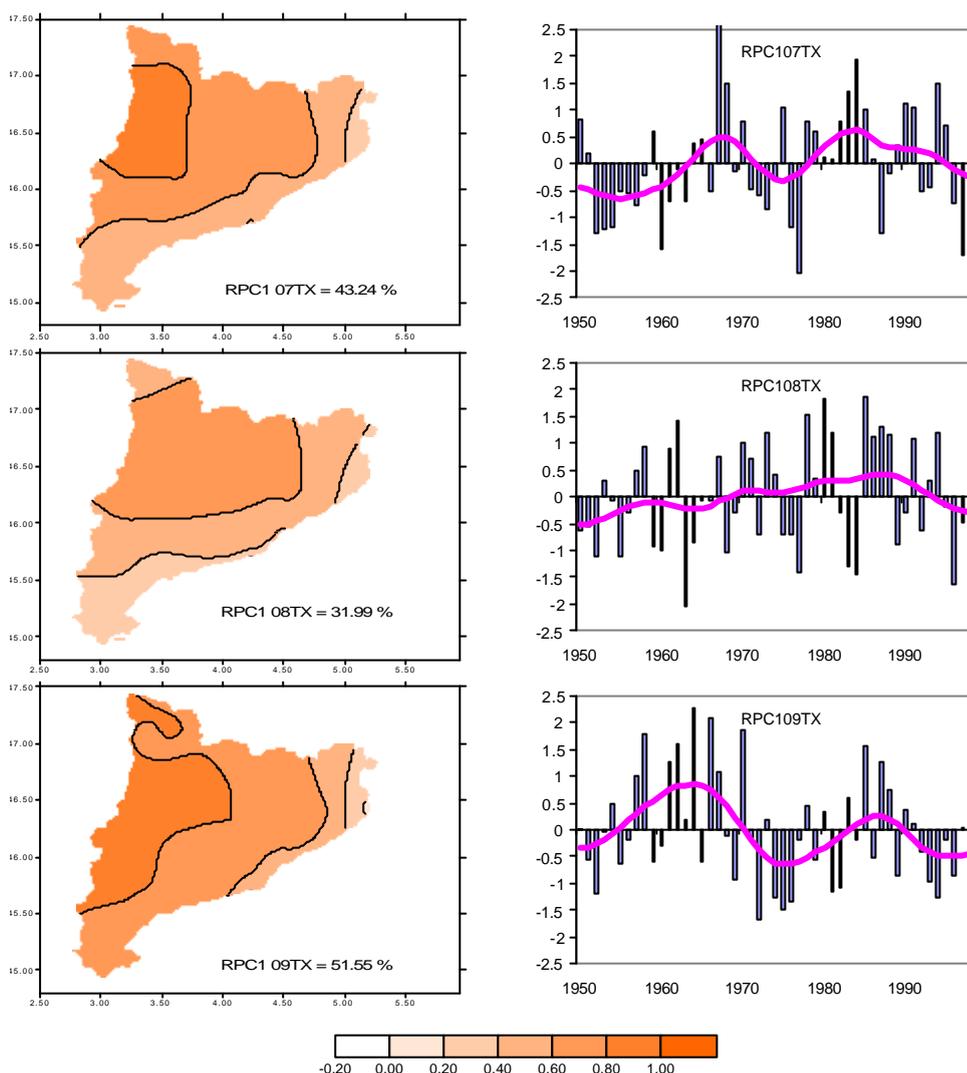


Figura 3.5. (Continuación).

componentes oscila entre tendencias negativas durante los meses de primavera y septiembre, y positivas no significativas en julio y agosto.

De la comparación de las tendencias de los componentes integrados en los conglomerados con las de las series regionales de sus respectivos meses (Tabla 3.4) se desprende el predominio de la influencia de los componentes agrupados en el COMAX4 en los incrementos térmicos experimentados por las series regionales. De febrero a abril, los incrementos de temperatura detectados en el área de Sistema Litoral Catalán controlan de forma clara la tendencia de sus respectivas series regionales, sumándose también el mes de agosto. El resto de los meses, junio, julio y septiembre, la evolución regional

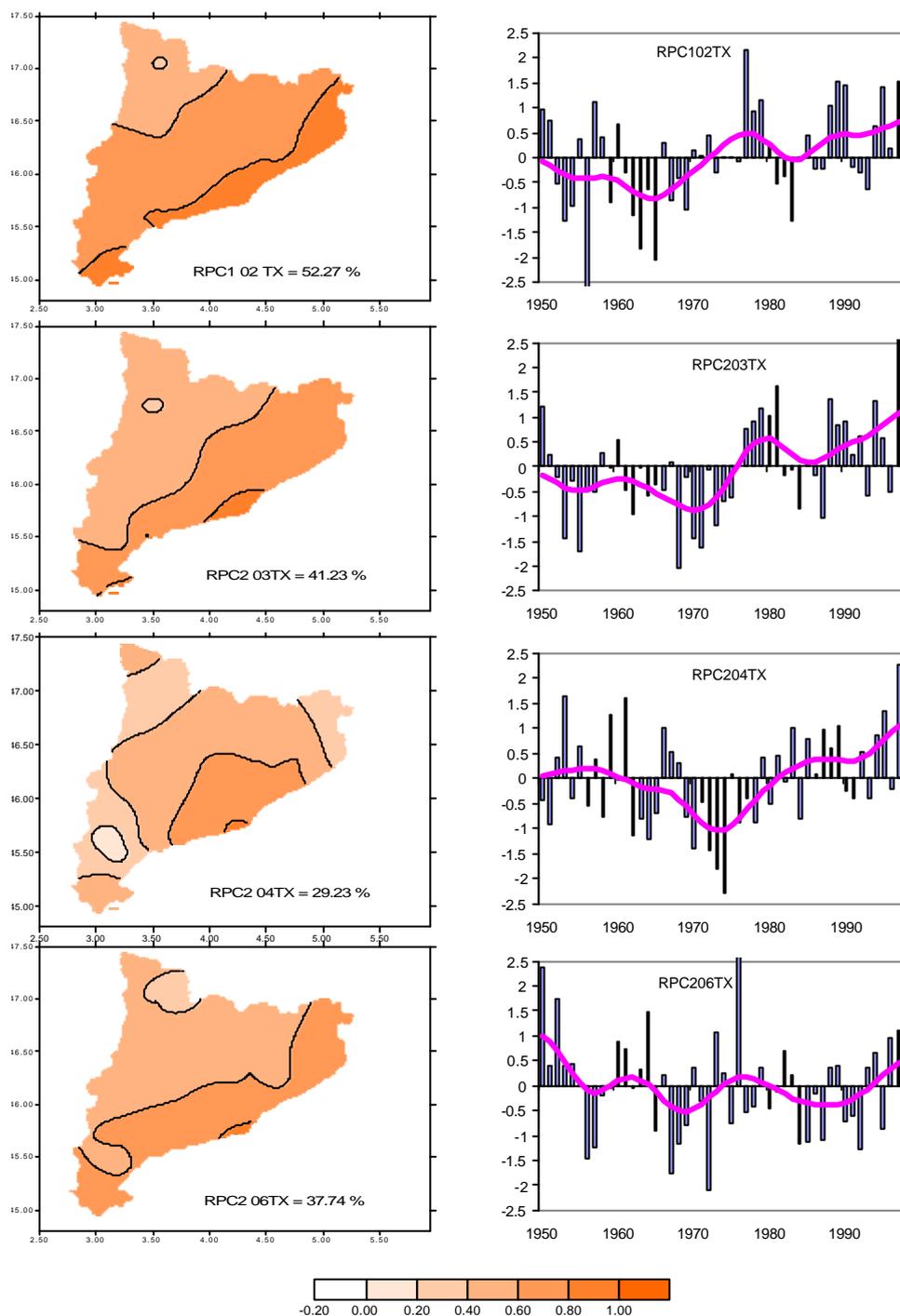


Figura 3.6. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMAX4 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Figura 3.1.

muestra una tendencia intermedia entre las pendientes identificadas en ambos conglomerados.

Los tres conglomerados restantes presentan un carácter marcadamente invernal, apareciendo definidos únicamente entre noviembre y enero. Dos de

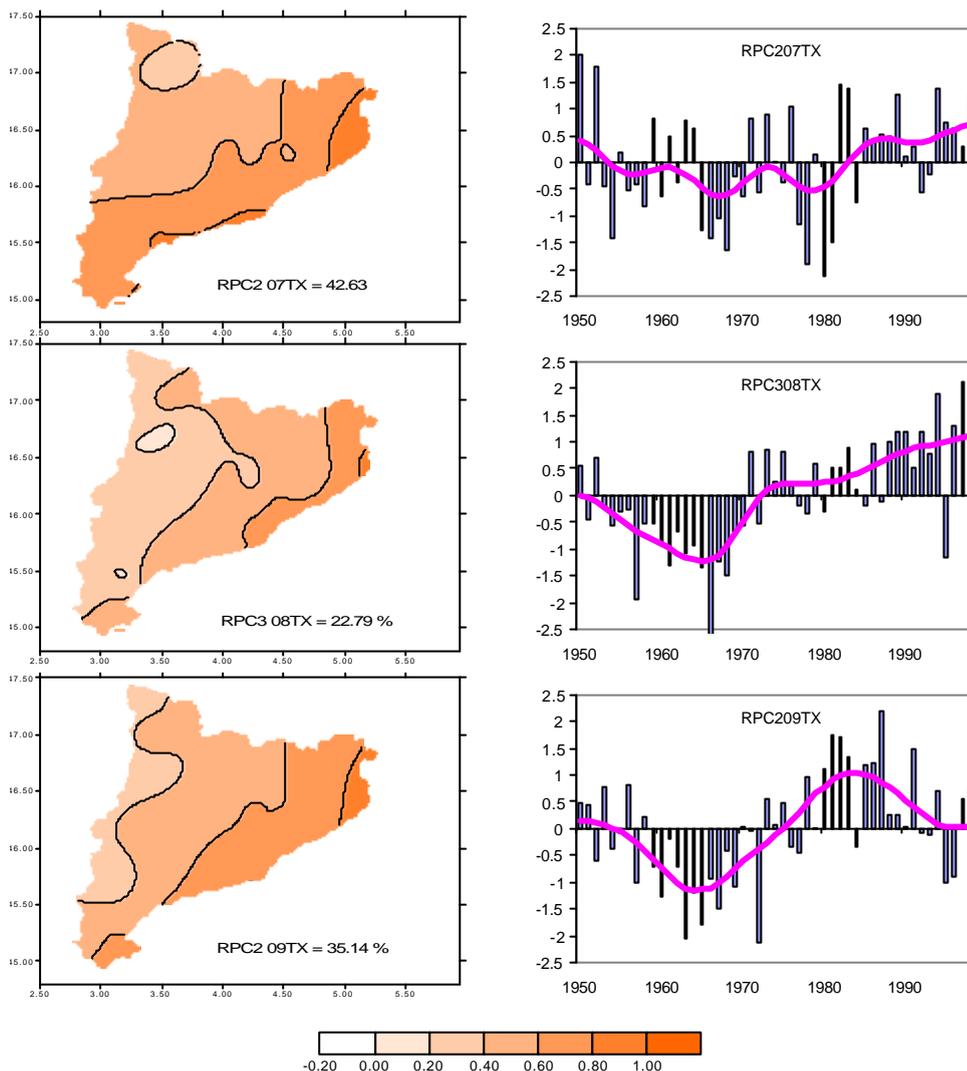


Figura 3.6. (Continuación).

estas agrupaciones muestran una distribución espacial similar a la de los conglomerados invernales de la temperatura media. Uno, el COMAX2 (Figura 3.7), que aparece centrado en el sector occidental de la Depresión Central, el área deprimida que se integra dentro de la Depresión del Ebro. Presenta tendencias nulas similares a las detectadas en la temperatura media, aunque en el mes de diciembre la evolución presenta una pendiente más de carácter negativo, aunque sin significación estadística.

Los sectores de alta y media montaña se encuentran también diferenciados, agrupados en el COMAX1 (Figura 3.8). Este conglomerado agrupa dos componentes de los meses de noviembre y diciembre, centrados en el Pirineo Occidental y el macizo del Montseny, donde se ubican los

Tabla 33. Tendencias anuales de los componentes principales rotados integrados en los conglomerados determinados para los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria.

COMAX1		COMAX2		COMAX3	
RPC311TX	-0.015	RPC211TX	0.002	RPC202TX	-0.009
RPC312TX	-0.016	RPC212TX	-0.017	RPC103TX	-0.008
		RPC201TX	0.001	RPC104TX	-0.001
				RPC106TX	0.022*
				RPC107TX	0.014
				RPC108TX	0.010
				RPC109TX	-0.013
COMAX4		COMAX5			
RPC102TX	0.026**	RPC111TX	0.041**		
RPC203TX	0.030**	RPC112TX	0.038**		
RPC204TX	0.018	RPC301TX	0.014		
RPC206TX	-0.008				
RPC207TX	0.013				
RPC308TX	0.042**				
RPC209TX	0.024*				

* Significativa al 95 %

** Significativa al 99 %

observatorios situados a mayor altitud. Aunque con una distribución espacial similar al parámetro de medias, la evolución térmica de la temperatura máxima en este sector es muy diferente, caracterizada por tendencias negativas, aunque no significativas estadísticamente.

Sin embargo, la principal característica propia en la temperatura máxima invernal reside en la diferenciación del litoral respecto los dos conglomerados anteriores. Así, el COMAX5 (Figura 3.9) define un

Tabla 3.4. Tendencias anuales de las series regionales catalanas de los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria para aquellos meses representados en los COMAX.

Mes	Tendencia	Mes	Tendencia
Enero	0.025*	Julio	0.025
Febrero	0.034	Agosto	0.041**
Marzo	0.027	Septiembre	0.012
Abril	0.015	Noviembre	0.019
Junio	0.013	Diciembre	0.018

* Significativa al 95 %

** Significativa al 99 %

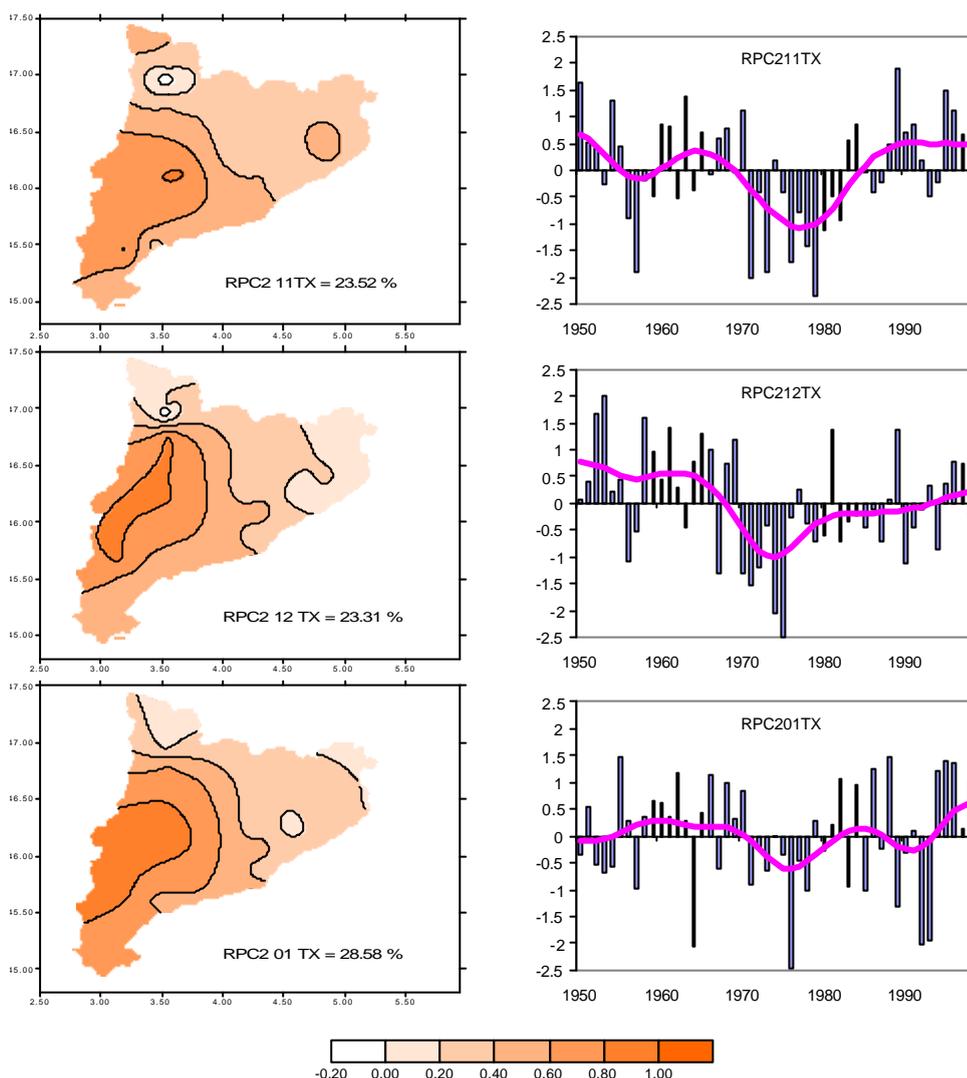


Figura 3.7. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMAX2 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Figura 3.1.

comportamiento específico del Sistema litoral Catalán respecto el resto del territorio entre los meses de noviembre y enero. Se caracteriza por un vigoroso incremento térmico experimentado en este sector, con tendencias positivas en los meses de noviembre y diciembre significativas al 99 %, únicamente comparables a la experimentada por este mismo sector litoral durante el mes de agosto.

Del examen de las tendencias de las series regionales de los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria se desprende que durante los meses de noviembre y diciembre la serie regional esta influenciada por el

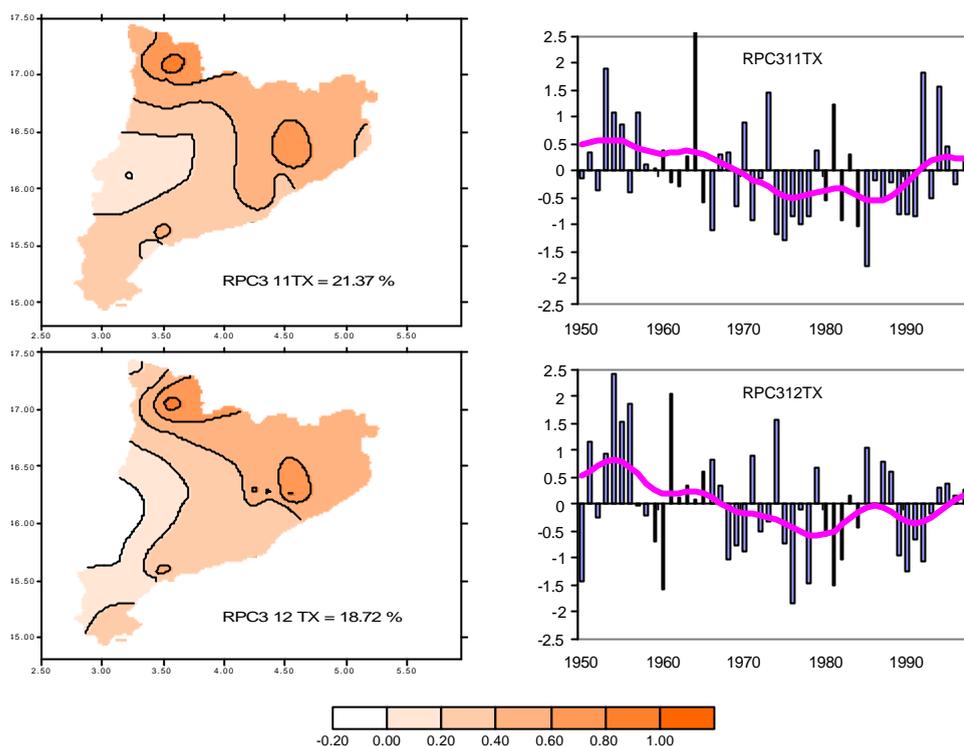


Figura 3.8. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMAX1 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Figura 3.1.

incremento detectado en las áreas del litoral, aunque con una intensidad que es la mitad de la de éstas, debido a la moderación en el incremento que introduce la influencia de las áreas de interior y de montaña.

3.1.3 Resultados del análisis de conglomerados sobre los componentes extraídos del promedio mensual de la temperatura mínima diaria.

El Análisis de Conglomerados define un total de cuatro conglomerados para los componentes principales rotados del promedio mensual de la temperatura mínima diaria, que engloban a 20 de los 24 componentes diferenciados en este parámetro.

Igual que sucede con la temperatura media y la temperatura máxima, los conglomerados se encuentran divididos en dos grupos en función de sí

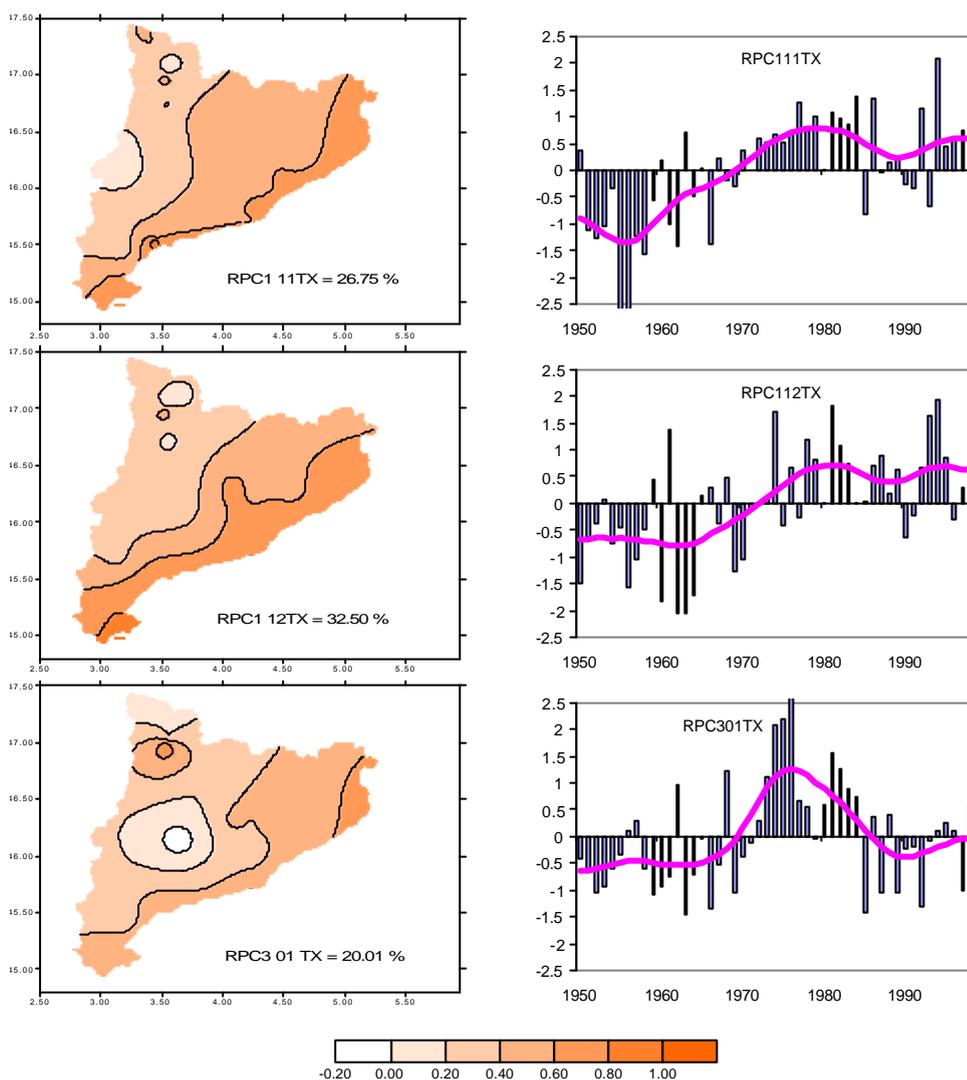


Figura 3.9. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMAX5 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Figura 3.1.

aparecen diferenciados durante los meses centrales del año o, por contra, durante los meses invernales. Sin embargo, al contrario de lo que ocurre en el caso de los dos parámetros anteriores, en los conglomerados obtenidos para la temperatura mínima la extensión intranual de los conglomerados invernales es mucho mayor, identificándose estos patrones espaciales entre los meses de octubre y abril.

Dos conglomerados, el COMIN1 y el COMIN3, agrupan componentes de meses comprendidos entre octubre y abril (Tabla 3.5). Los componentes integrados en el COMIN1 (Figura 3.10) muestran un patrón espacial que

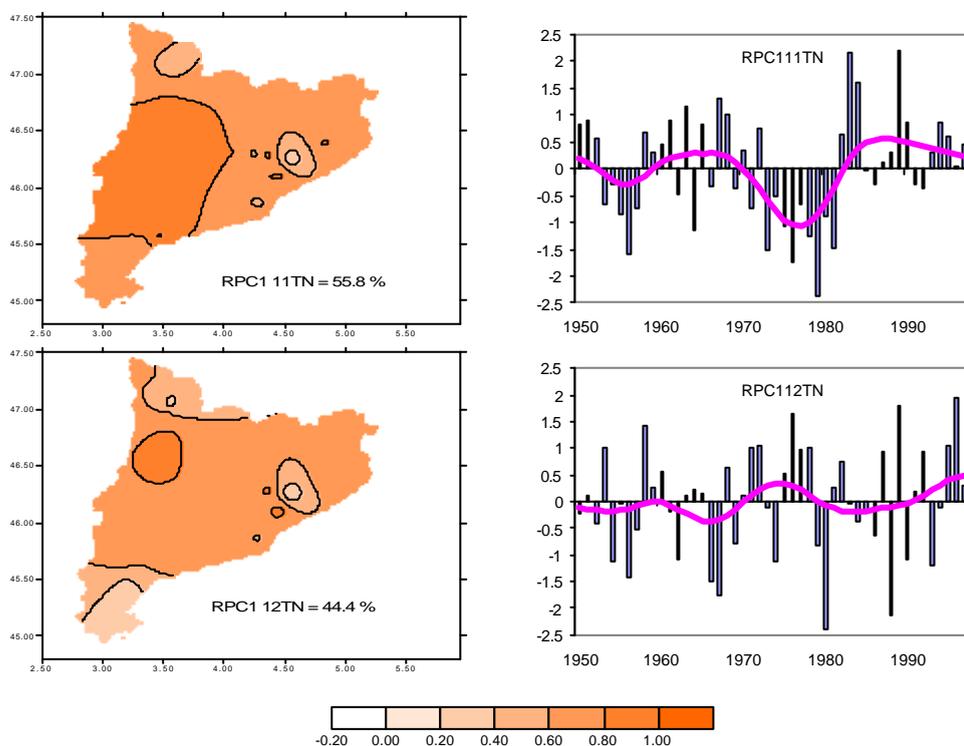
Tabla 3.5. Tendencias anuales de los componentes principales rotados integrados en los conglomerados determinados para los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria.

COMIN1		COMIN2		COMIN3		COMIN4	
RPC111TN	0.005	RPC105TN	-0.008	RPC211TN	0.018	RPC304TN	-0.001
RPC112TN	0.009	RPC106TN	-0.003	RPC212TN	0.016	RPC305TN	0.016
RPC101TN	0.006	RPC207TN	0.006	RPC201TN	0.024*	RPC206TN	0.009
RPC103TN	-0.004	RPC208TN	0.002	RPC203TN	0.012	RPC107TN	0.006
RPC110TN	0.000			RPC204TN	0.000	RPC108TN	0.037**
						RPC210TN	0.009

* Significativa al 95 %

** Significativa al 99 %

abarca buena parte del territorio, destacando el centro y sur de la parte occidental, en general áreas que comprenden sectores de la Depresión Central, caracterizados por consistir en cuencas de erosión que conforman zonas altitudinalmente deprimidas. Las series temporales de los componentes integrados en el COMIN1 presentan tendencias nulas o



levemente positivas, sin significación estadísticas.

Figura 3.10. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMIN1 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Figura 3.1.

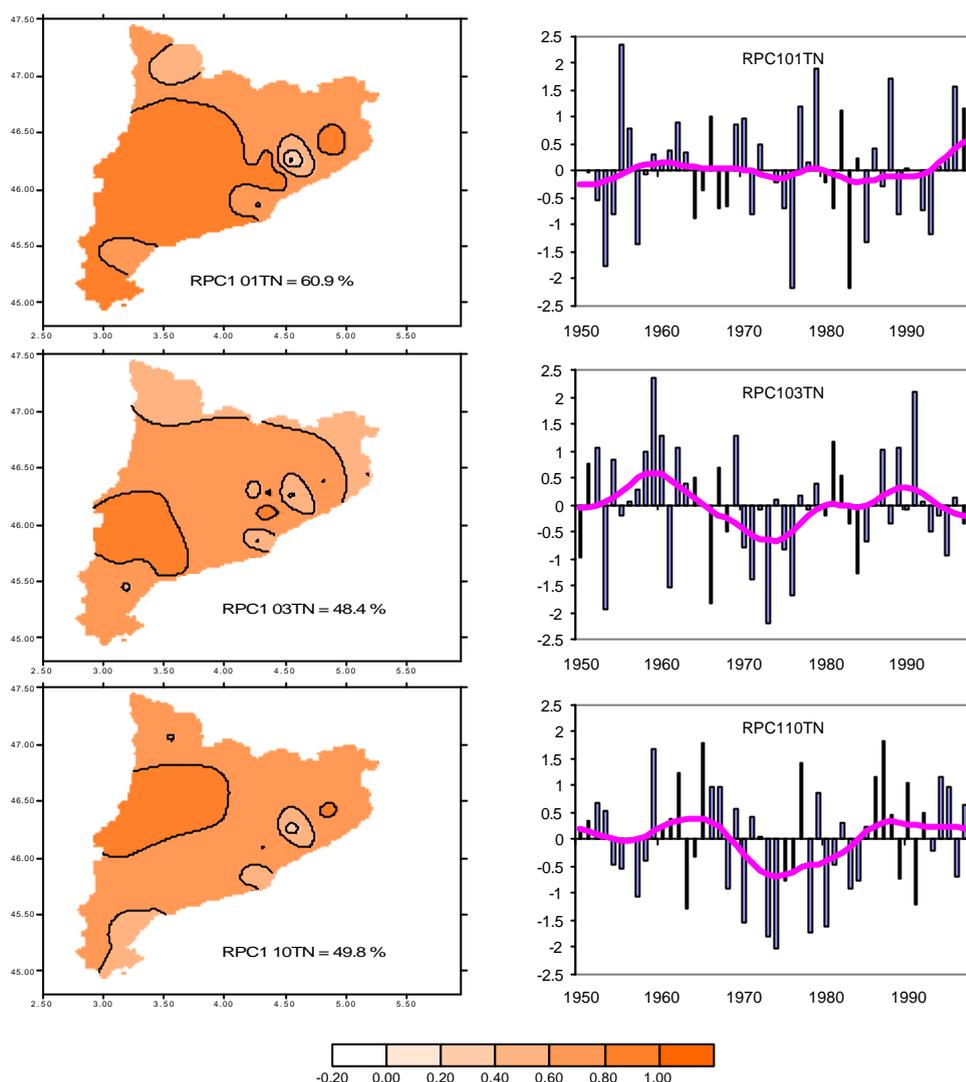


Figura 3.10. (Continuación)

El COMIN3 (Figura 3.11) define un patrón espacial en el que destacan zonas elevadas topográficamente respecto las áreas circundantes, representados por sectores de montaña media del Pirineo y de las sierras que configuran el Sistema Litoral Catalán. Estos sectores presentan tendencias mayores que los componentes integrados en el COMIN1, aunque solo en el caso del mes de enero la tendencia es significativa estadísticamente para los niveles escogidos.

Al comparar la evolución temporal de los componentes que integran ambos conglomerados con las series regionales catalanas de temperatura mínima de sus respectivos meses (Tabla 3.6), se observa que dichas series

regionales presentan tendencias muy similares a las detectadas en el COMIN3. Este hecho indica un predominio de la influencia de los

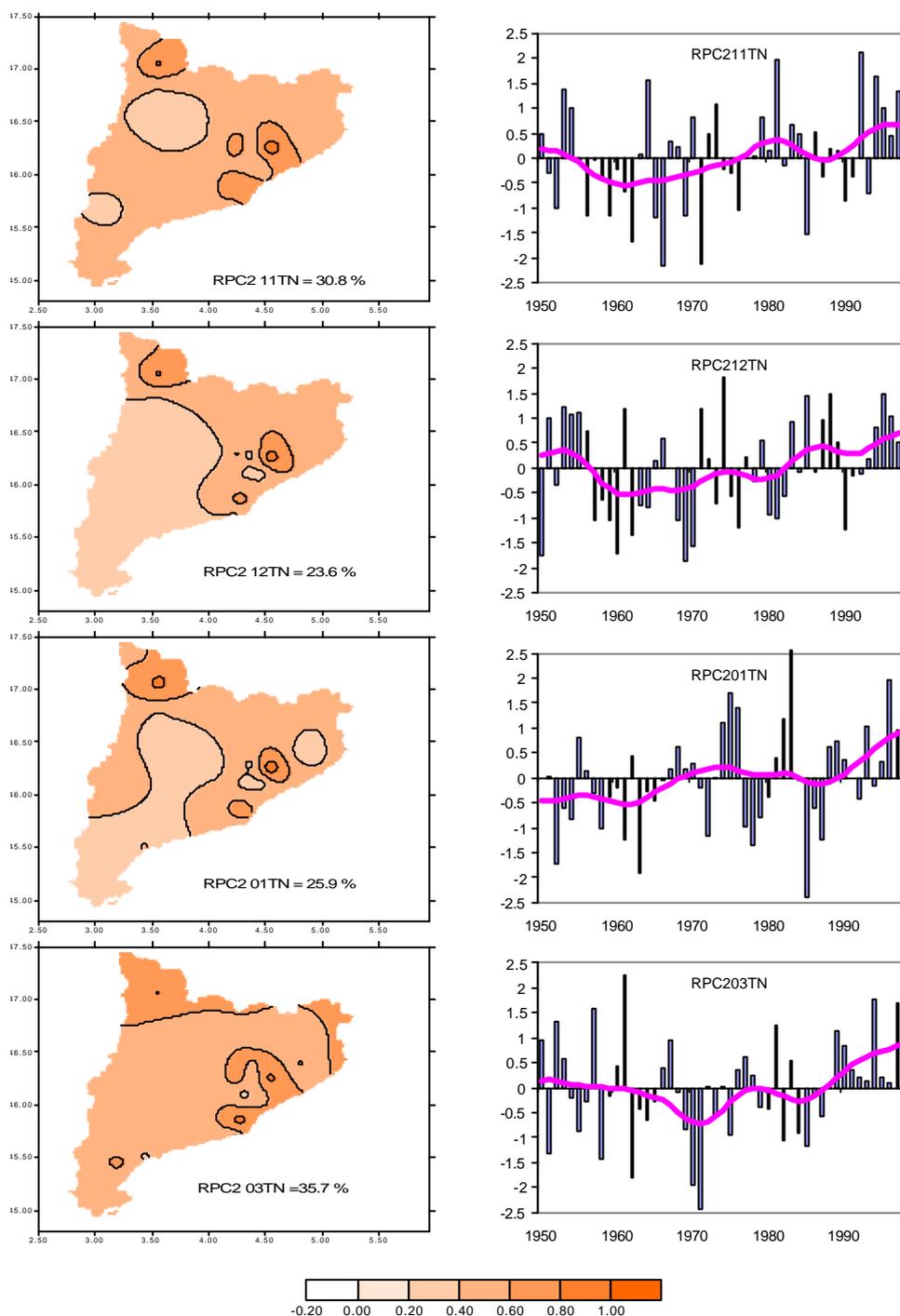


Figura 3.11. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMIN3 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Figura 3.1.

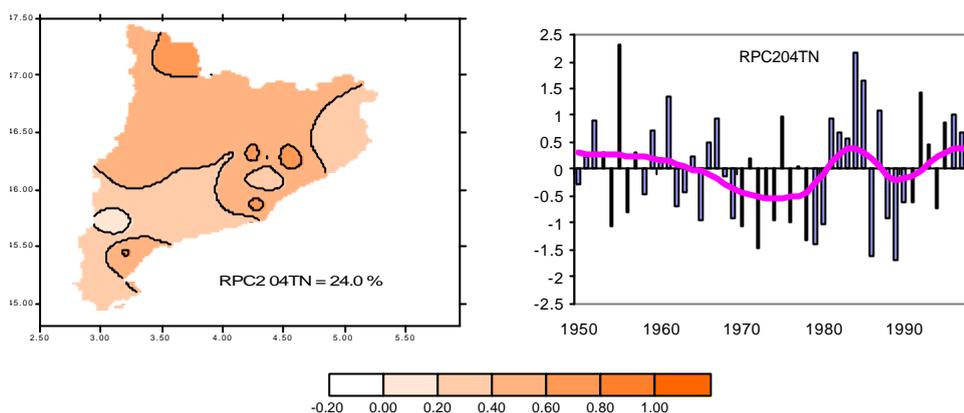


Fig. 3.11. (Continuación)

componentes de las áreas de montaña en la caracterización del incremento experimentado por las series regionales catalanas.

Entre los meses de abril a octubre se distinguen dos conglomerados. El COMIN4 (Figura 3.12) agrupa seis componentes que muestran patrones espaciales centrados en el área del Sistema Litoral Catalán. La extensión de estos patrones varía según los meses, con su máximo en los meses de julio y agosto, en los cuales abarca también buena parte de la Depresión Central, y una extensión mucho menor en los meses de primavera.

Las series temporales asociadas a este conglomerado presentan leves tendencias totales positivas, con excepción de la del componente del mes de agosto, que es mucho más vigorosa y con significación estadística, aunque en todos se observan evoluciones positivas sostenidas entre los veinte y treinta últimos años.

Tabla 3.6. Tendencias anuales de las series regionales catalanas de los promedios mensuales de la temperatura mínima diaria para aquellos meses representados en los COMIN.

Mes	Tendencia	Mes	Tendencia
Enero	0.030	Julio	0.011
Marzo	0.010	Agosto	0.030**
Abril	0.000	Octubre	0.010
Mayo	-0.002	Noviembre	0.023
Junio	0.008	Diciembre	0.024

* Significativa al 95 %

** Significativa al 99 %

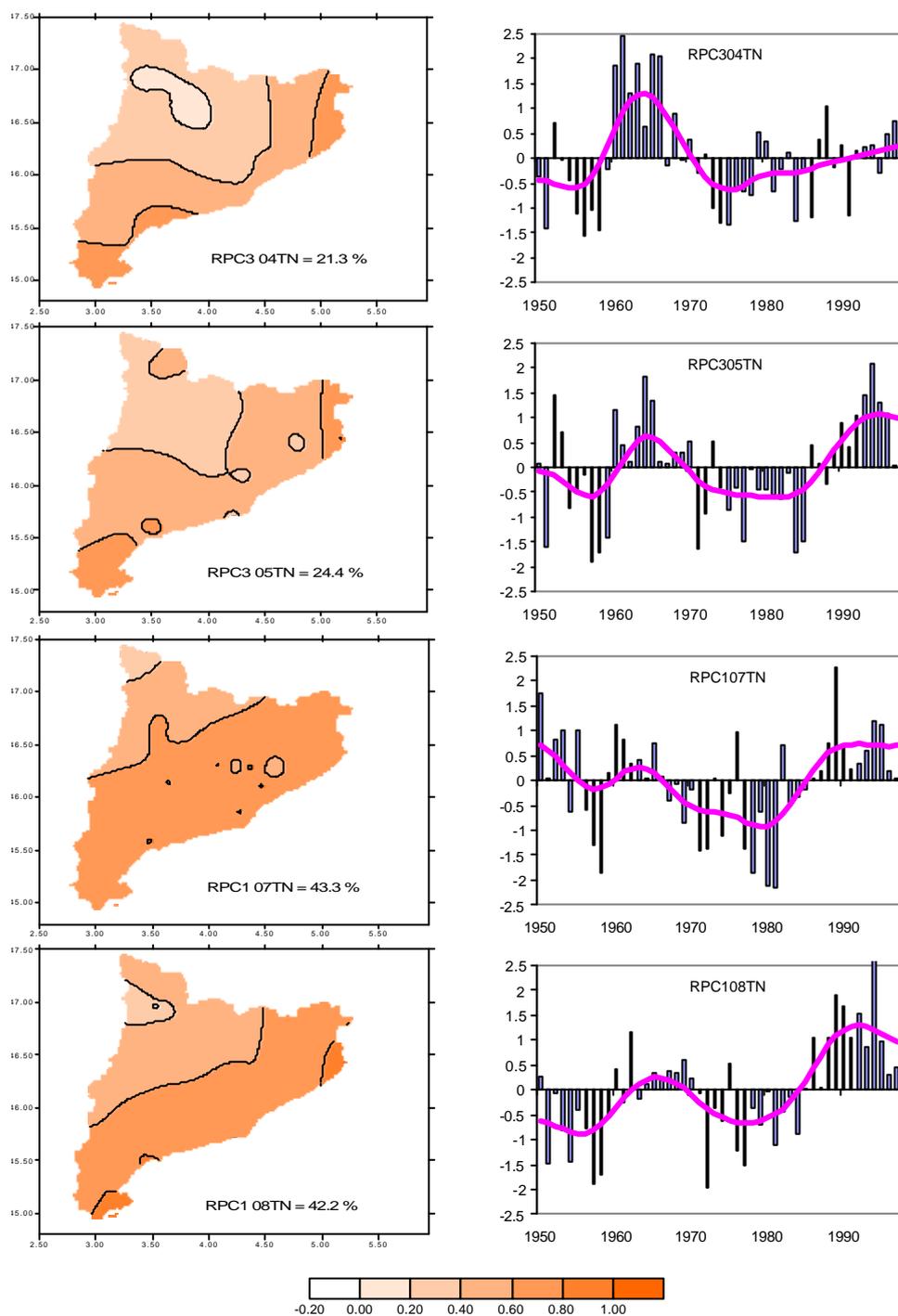


Figura 3.12. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMIN4 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Figura 3.1

El COMIN2 (Figura 3.13) se identifica durante un intervalo intranual algo menor, entre los meses de mayo a agosto. Se caracteriza por una distribución espacial centrada en el Pirineo Occidental y abarcando también, aunque con

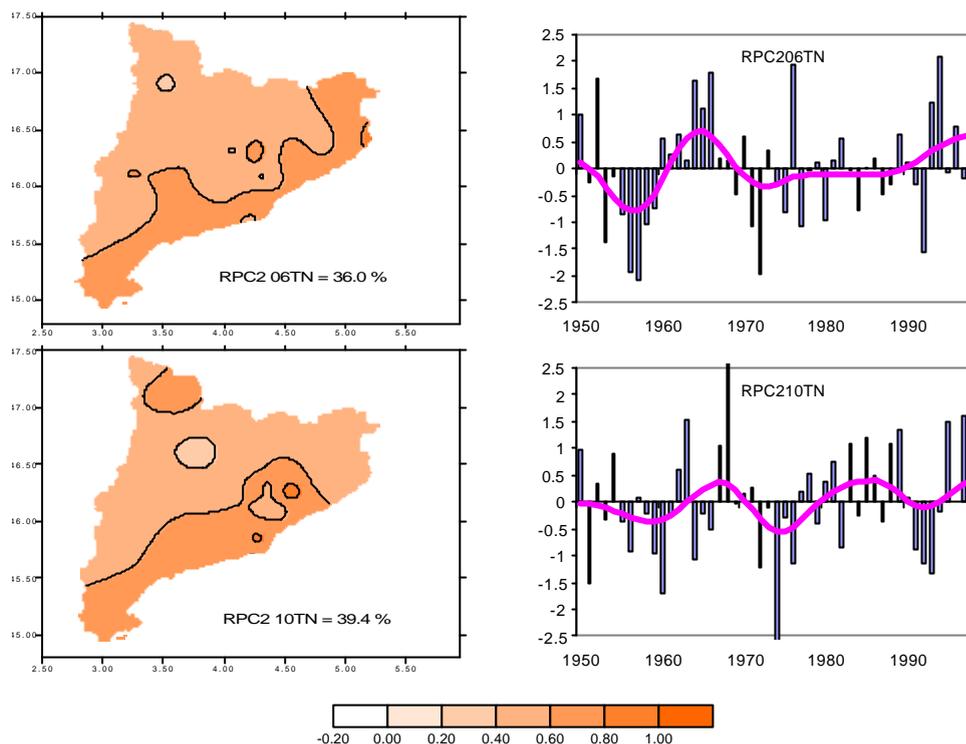


Figura 3.12. (Continuación).

una progresiva disminución hacia el litoral, la Depresión Central. Como sucede con conglomerados de los parámetros de media y de máxima que muestran un patrón espacial similar, las tendencias totales del COMIN2 son nulas o de carácter ligeramente negativo.

Las tendencias detectadas en las series regionales correspondientes a estos meses indican una mayor influencia de los sectores costeros en su evolución en la mitad de los casos (junio, agosto, octubre), si bien durante los meses de mayo y julio esta atribución esta compartida entre ambos conglomerados. El mes de abril constituye el punto de transición entre los conglomerados de carácter invernal y estival, con sus dos componentes repartidas entre el COMIN4 y el COMIN3, ambos con tendencia nula.

Como se indicaba en el capítulo anterior, los componentes rotados extraídos de los promedios mensuales de la temperatura mínima muestran correlaciones significativas con las series de temperatura superficial del mar en todos los meses del año examinados. Si bien estas correlaciones tienen coeficientes más elevados en los meses centrales del año, especialmente con los componentes que presentan un patrón espacial de carácter litoral, los

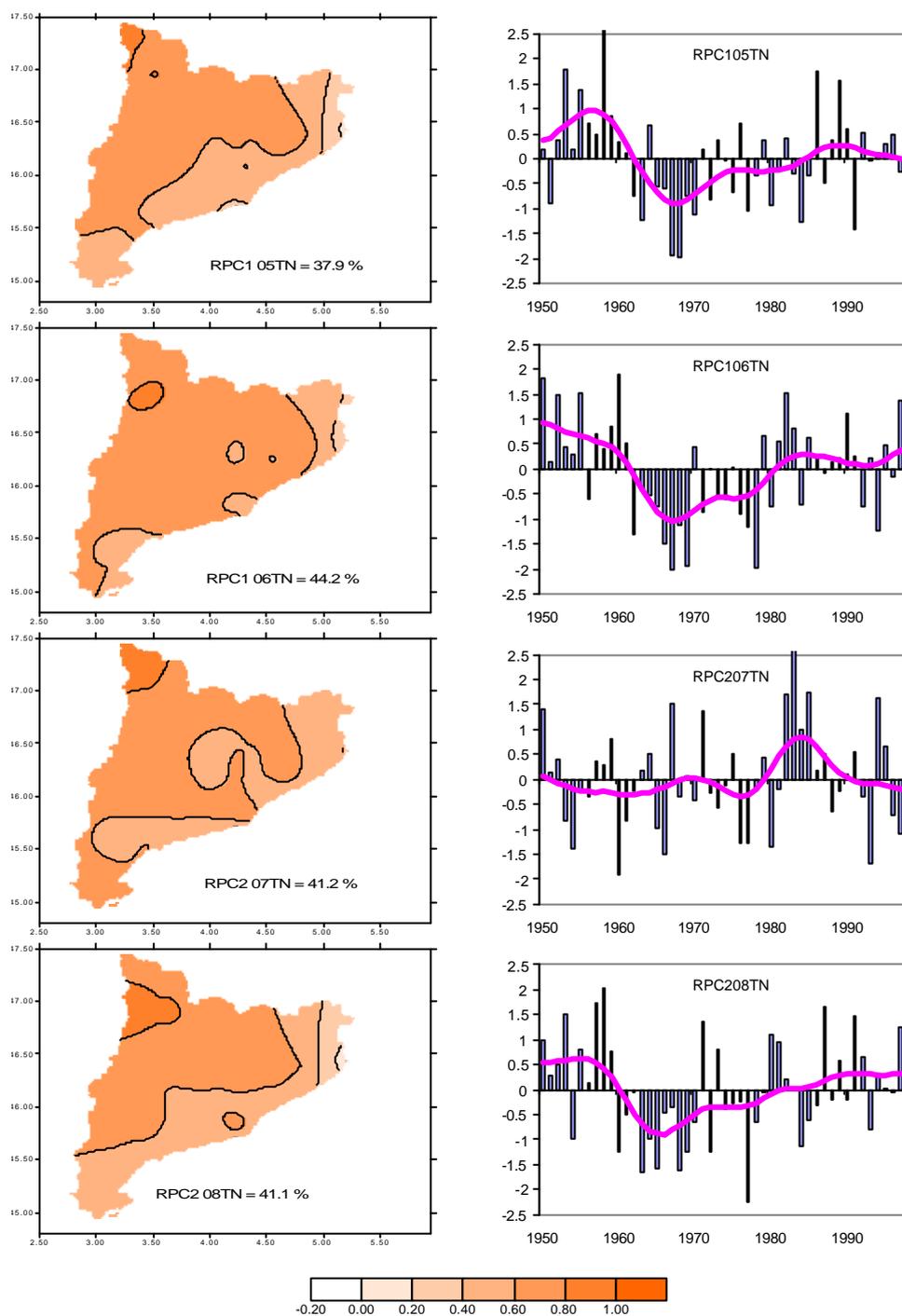


Figura 3.13. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados que integran el COMIN2 (izquierda) y series temporales de esos mismos componentes (derecha). Columnas y líneas igual que en Figura 3.1.

meses invernales también apuntan una cierta relación con las SSTs, inexistente en el caso de la temperatura máxima y media, que parece indicar una mayor sensibilidad de la temperatura mínima respecto al forzamiento térmico marino.

3.2 Descripción y análisis de los Patrones Espaciales deducidos del Análisis de Conglomerados aplicado a los promedios mensuales de las temperaturas diarias

En los distintos conglomerados que se han descrito se observan patrones espaciales que se repiten en los tres parámetros térmicos analizados. En general corresponden a la diferencia, ya apuntada por los componentes extraídos de las temperaturas anuales, entre el interior y el litoral del territorio. Existe además una división entre los patrones que pertenecen a los meses fríos del año y patrones pertenecientes a los meses cálidos.

En función de estos criterios espaciales (interior-costa) y temporales (invernal-estival), se han agrupado los conglomerados pertenecientes a los tres parámetros térmicos que presentan una mayor similitud en la distribución de los pesos de sus componentes por el territorio, diferenciándose cuatro patrones espaciales: el patrón Litoral; el patrón de Depresión Occidental; el patrón de Montaña; y el patrón Noroccidental. En la Tabla 3.7 se indican los componentes que integran estos cuatro patrones espaciales.

3.2.1 Patrón Litoral

Se caracteriza por una distribución espacial en la que los pesos máximos de los componentes se localizan a lo largo del Sistema Litoral Catalán, disminuyendo hacia el interior conforme aumenta la distancia a la costa. El tercio noroccidental del territorio, el Pirineo y Prepirineo occidental, suelen presentar los pesos mínimos.

Es el patrón que se identifica en un mayor número de conglomerados, cuatro en total: el COMED 1, el COMAX4, el COMIN4 y el COMAX5. Los tres primeros son conglomerados de meses comprendidos entre febrero y octubre, mientras que el COMAX5 corresponde a meses típicamente invernales. Este patrón espacial es el único que incluye, al menos en el caso de la temperatura máxima, componentes de todas las estaciones del año. Esta

distribución espacial indica la alta homogeneidad intranual del comportamiento térmico en el parámetro de máxima y pone de relieve la diferenciación espacial que muestra la evolución de las temperaturas invernales de los parámetros extremos, con una distribución espacial de la temperatura media mas acorde con la división espacial presente en la temperatura mínima.

Tabla 3.7. Componentes principales rotados que forman parte de los diversos patrones espaciales en cada uno de los meses del año.

Enero	RPC101TM	Dep. Occidental	Agosto	RPC108TM	Litoral
	RPC101TN	Dep. Occidental		RPC108TN	Litoral
	RPC201TX	Dep. Occidental		RPC308TX	Litoral
	RPC301TX	Litoral		RPC208TM	Noroccidental
	RPC201TM	Montaña		RPC208TN	Noroccidental
	RPC201TN	Montaña		RPC108TX	Noroccidental
Febrero	RPC102TX	Litoral	Septiembre	RPC209TX	Litoral
	RPC202TX	Noroccidental		RPC109TX	Noroccidental
Marzo	RPC103TN	Dep. Occidental	Octubre	RPC110TN	Dep. Occidental
	RPC203TM	Litoral		RPC210TN	Litoral
	RPC203TX	Litoral	Noviembre	RPC111TM	Dep. Occidental
	RPC203TN	Montaña		RPC111TN	Dep. Occidental
	RPC103TM	Noroccidental		RPC211TX	Dep. Occidental
	RPC103TX	Noroccidental		RPC111TX	Litoral
Abril	RPC204TM	Litoral		RPC211TM	Montaña
	RPC304TN	Litoral		RPC211TN	Montaña
	RPC204TX	Litoral		RPC311TX	Montaña
	RPC204TN	Montaña	Diciembre	RPC112TM	Dep. Occidental
	RPC104TM	Noroccidental		RPC112TN	Dep. Occidental
	RPC104TX	Noroccidental		RPC212TX	Dep. Occidental
Mayo	RPC305TN	Litoral		RPC112TX	Litoral
	RPC105TN	Noroccidental		RPC312TM	Montaña
Junio	RPC206TN	Litoral		RPC212TN	Montaña
	RPC206TX	Litoral		RPC312TX	Montaña
	RPC106TN	Noroccidental			
	RPC106TX	Noroccidental			
Julio	RPC107TM	Litoral			
	RPC107TN	Litoral			
	RPC207TX	Litoral			
	RPC207TM	Noroccidental			
	RPC207TN	Noroccidental			
	RPC107TX	Noroccidental			

Las series temporales de los RPCs que definen un patrón espacial Litoral presentan en general tendencias positivas⁹, incrementos que en mas de la mitad de los casos son considerablemente más elevados que en los otros componentes del mismo mes y parámetro. Esto es válido para el mes de agosto en los tres parámetros, los meses de noviembre diciembre, febrero, marzo, abril y septiembre para la temperatura máxima, y los meses de mayo, junio y octubre para la temperatura mínima. Únicamente en un caso, el RPC206TX, se produce un comportamiento inverso. El resto presentan tendencias positivas equivalentes a otros componentes de sus respectivos meses y parámetros.

En los meses en que este patrón espacial está presente en alguno de los componentes, ese RPC determina la evolución de la curva regional mensual y contribuye sustancialmente a los incrementos en los valores de las anomalías de temperatura observados en dichas series regionales, como resultado del carácter positivo de las tendencias de los RPCs.

Por tanto, el patrón Litoral define el área que más netamente contribuye a las series regionales catalanas de la temperatura media durante la primavera y el verano. Idéntica influencia sobre las series regionales se identifica en el caso de la temperatura mínima, aunque con un inicio más tardío y abarcando hasta octubre.

Cuando nos referimos a la temperatura máxima, esta influencia del área definida por el patrón Litoral se extiende al conjunto del año¹⁰. Así pues, exceptuando algunos meses en los cuales los incrementos de la serie regional están moderados por otros sectores, el incremento regional detectado en las series regionales de la temperatura máxima catalana durante todo el año obedece al incremento experimentado en el sector definido por el patrón Litoral.

Las características de la distribución espacial de este patrón, cercanía al mar y disminución con la distancia a la línea de costa, se relacionan con la influencia que ejercen la temperatura superficial marina y sus variaciones

⁹ Todos los componentes principales rotados con tendencias positivas de significación superior al 99 % se hallan incluidas en el patrón Litoral.

temporales. Los coeficientes de correlación entre las dos series de SST utilizadas y los RPCs muestran valores que indican una relación estrecha y significativa entre la temperatura superficial del Mediterráneo en las costas catalanas y la temperatura del aire en el sector definido por el patrón Litoral. Esta correlación es más intensa durante los meses típicamente veraniegos, junio, julio y agosto, con coeficientes de correlación que alcanzan valores máximos de 0.86.

3.2.2 Patrón Noroccidental.

Este patrón espacial constituye el opuesto al patrón Litoral, definiendo un área que engloba principalmente el tercio noroccidental del territorio catalán. Los pesos máximos de los componentes que presenta esta distribución espacial aparecen centrados en el Pirineo y Prepirineo occidentales, así como en sectores septentrionales de la Depresión Central. La principal característica común de estos territorios es la distancia al mar Mediterráneo, ya que constituyen las zonas más alejadas a esta masa marina, apreciándose una disminución de los pesos máximos de los RPCs, con la proximidad a la línea de costa.

Se trata de un patrón espacial característico de los meses estivales, observándose también en primavera y otoño con variaciones entre los tres parámetros estudiados. En los RPCs de la temperatura máxima aparece entre febrero y septiembre, mientras que para la temperatura mínima su extensión intraanual es más reducida, identificándose en componentes de mayo a agosto. De forma intermedia entre los dos anteriores, para la temperatura media se observa entre marzo y agosto.

Los componentes principales rotados identificados con el patrón Noroccidental se agrupan en tres conglomerados, uno por cada parámetro: el COMED3, el COMAX3 y el COMIN2.

Las series de los componentes correspondientes presentan tendencias negativas o levemente positivas, con pendientes en algunos casos igual y en la mayoría mucho menor que otros componentes del mismo mes que se

¹⁰ Exceptuando el mes de junio

incluyen en el patrón Litoral. La única excepción a esta evolución se produce, para las temperaturas máximas, durante los meses de junio y julio. Durante los tres meses de verano se detecta una progresiva disminución de la tendencia de la temperatura máxima en este área. El mes de junio se observa una tendencia positiva significativa, única en este patrón y notablemente superior a la presente en el área definida por el patrón Litoral. En el mes de julio, la tendencia disminuye y prácticamente se equipara a su homóloga del sector Litoral, mientras que en agosto se recupera el comportamiento general en el patrón Noroccidental, con una tendencia sensiblemente menor a la observada en el área del Patrón Litoral.

La ausencia de tendencias en la mayoría de las señales térmicas procedentes de esta zona se traduce en una escasa influencia en la estructura temporal de las series regionales catalanas y en la orientación de las tendencias presentes en las mismas. Solo en casos en que se detectan pendientes similares a las existentes en el patrón Litoral se produce una cierta influencia sobre las curvas regionales, compartida con la ejercida por el área del litoral. Este es el caso de los componentes de la temperatura media, que exceptuando el mes de agosto presenta pendientes similares a las del patrón opuesto. Para la temperatura mínima únicamente en el mes de julio la tendencia es similar en ambos patrones.

Al examinar la relación entre la evolución de la temperatura del aire en el sector del patrón Noroccidental y la evolución de la SST, se advierte que los valores de correlación de los componentes de la temperatura mínima son sensiblemente más elevados y de mayor significación estadística que para los otros dos parámetros. Estos valores de correlación más elevados se relacionarían con la fase de crecimiento detectada en los dos tercios últimos del periodo durante los meses de mayo, junio y agosto. Esta fase cálida que se inicia en los años 60 para la temperatura mínima no tiene correspondencia en la temperatura máxima, o si se detecta es de menor entidad. La temperatura media, en este aspecto, muestra una evolución mucho más cercana al parámetro de máximas.

3.2.3 Patrón de Depresión Occidental

La denominación de patrón de Depresión Occidental obedece a que los pesos de valor mas elevado de los RPCs que se identifican con esta distribución espacial se sitúan preferentemente en el sector occidental de la Depresión Central, en la amplia cuenca deprimida que constituye el sector nororiental de la Depresión del Ebro. No obstante, la cobertura territorial de este patrón varía en función del parámetro observado.

En los componentes extraídos del promedio mensual de la temperatura media, el área definida por este patrón se expande hasta incluir la mitad sur del Sistema Litoral Catalán. Para la temperatura máxima se corresponde de forma bastante estricta al sector mencionado de la Depresión Central, extendiéndose en algún caso a sectores deprimidos del Prepirineo Occidental. Por último, para los RPCs de la temperatura mínima adopta su máxima extensión, abarcando además de las áreas mencionadas en los parámetros anteriores, otras cuencas deprimidas del territorio, tanto de la Depresión Central como de sectores de la Depresión Prelitoral septentrional.

Estas áreas del territorio catalán se caracterizan por presentar, durante los meses invernales y en condiciones de altas presiones dinámicas que favorecen el prolongado estancamiento del aire, frecuentes situaciones de inversión térmica que se traducen en situaciones de nieblas radiactivas más o menos persistentes. Esta particularidad provoca que, en dichos episodios, los valores térmicos tengan comportamientos muy diferentes al del resto del territorio, especialmente en cuanto a los valores de la temperatura máxima, que son notablemente inferiores.

Los componentes que presenta este patrón se localizan en tres conglomerados: el COMED2, el COMAX2 y el COMIN1. Son conglomerados de carácter invernal, englobando componentes de los meses de noviembre, diciembre y enero, aunque en el caso de las temperaturas mínimas se extiende también a marzo y octubre.

Las tendencias de los RPCs incluidos en estos conglomerados no adquieren significación estadística en ninguno de los casos para los niveles de significación escogidos en este análisis, mostrando una evolución

temporal con pocas variaciones destacables en la mayoría de los casos. Al igual que sucedía con el patrón anterior, no tienen una contribución marcada en la caracterización de las series regionales.

Respecto a su relación con la temperatura superficial marina, se encuentra una nueva diferencia entre la temperatura mínima y las temperaturas máxima y media. Si para las dos últimas la relación con las SSTs es mínima, en el caso de la temperatura mínima aparecen coeficientes de correlación significativos. Este hecho, al igual que sucedía para el patrón Noroccidental, indica una mayor penetración en el territorio de la influencia marina a la hora de configurar las variaciones temporales de las condiciones térmicas nocturnas y vespertinas, recogidas éstas particularmente por el parámetro de la temperatura mínima, que sobre los otros dos parámetros de temperatura del aire estudiados.

3.2.4 Patrón de Montaña

La denominación de esta distribución espacial de los pesos de los componentes como Patrón de Montaña obedece a la localización de los pesos máximos en ubicaciones altitudinalmente más elevadas que las circundantes, en sectores de montaña media mediterránea. Así, se distinguen áreas del Pirineo occidental y de las sierras que configuran el Sistema Litoral Catalán, en las que existen observatorios situados entre los 800 y los 1700 m. incluidos en este estudio. Como sucede para el patrón de Depresión Occidental, la extensión de esta distribución espacial es más reducida en el caso de la temperatura máxima, localizándose únicamente en áreas en donde se dispone de registros térmicos obtenidos por encima de los 1000 m. de altitud.

Un conglomerado de cada uno de los parámetros presenta este patrón: El COMED4, el COMAX1 y el COMIN3. Son conglomerados de carácter invernal, limitada su extensión a noviembre y diciembre para los RPCs del COMAX1, incluyendo también enero para los componentes de la temperatura media, y hasta abril en el parámetro de mínima

Las series correspondientes a estos componentes presentan discrepancias en su evolución según los diferentes parámetros. Para la temperatura media, en noviembre y diciembre se identifican tendencias levemente positivas, mientras que la de enero es claramente positiva y significativa. Pese a mostrar una menor pendiente que los componentes de la mínima, los RPCs extraídos del promedio mensual de temperatura media que presentan un patrón de Montaña son los que marcan la evolución de las series regionales invernales para este parámetro, responsabilizándose del fuerte incremento detectado durante el mes de enero en dichas series regionales.

En el conglomerado correspondiente a las temperaturas mínimas, el COMIN3, las tendencias de las series de los componentes son de carácter positivo, significativas en el mes de enero, y constituyen las más elevadas de los componentes invernales y primaverales para este parámetro. Estas zonas de montaña en las cuales no se producen situaciones de inversión térmica habitualmente, están experimentando un rápido incremento en sus valores mínimos. Las robustas tendencias detectadas en estas áreas del territorio tienen una elevada influencia sobre las variaciones temporales de las series regionales mensuales catalanas de la temperatura mínima, contribuyendo mayormente al incremento térmico detectado en estas series. Las áreas de montaña media catalana constituyen las principales responsables del incremento térmico registrado en la temperatura mínima durante los meses invernales y la primavera.

Al igual que el resto de componentes de la temperatura mínima que se integran en otros patrones espaciales, se observa una cierta relación con la temperatura marina, inexistente para los otros dos parámetros. Existen correlaciones significativas en los meses de diciembre a marzo, en los que tanto en la temperatura mínima del aire como en la SST se observan incrementos en los valores de las anomalías térmicas durante la segunda mitad del periodo, aunque el calentamiento sobre el territorio catalán se inicia con anterioridad al calentamiento del Mediterráneo Occidental, lo que indica que ambos fenómenos están respondiendo a otras causas, posiblemente relacionadas con factores de forzamiento a gran escala.

En el COMAX1, las dos únicas componentes de este conglomerado presentan tendencias negativas. El sector definido por el patrón de Montaña es el único en el cual las tendencias de los componentes de la temperatura máxima y mínima presentan un comportamiento opuesto, lo que indica una importante disminución de la diferencia entre ambos parámetros. Este comportamiento dispar en la evolución térmica de la máxima y la mínima se ha detectado también en otros puntos del Pirineo, como el observatorio del Pic du Midi de Bigorre, situado en la vertiente francesa pirenaica (Bücher y Dessens, 1991), en el que también se observa una fuerte tendencia positiva en la temperatura mínima y una tendencia negativa en la temperatura máxima. En otras zonas montañosas también se han detectado evoluciones de la ATD de carácter negativo, con mayores incrementos en las mínimas que en las máximas, como es el caso del noreste de los Alpes (Weber *et al.*, 1997).

3.3 Diferencias estacionales y variaciones espacio-temporales de la temperatura del aire en Cataluña

Una vez determinados y definidos los patrones espaciales de la temperatura en Cataluña, el presente subpartado está dedicado al examen de las características propias de cada uno de estos patrones. Se examinan, por un lado, las diferencias que a lo largo del año presenta la distribución de la temperatura en áreas de comportamiento homogéneo. Por otro lado, el comportamiento de los diferentes parámetros térmicos, especialmente los dos parámetros extremos, en cada patrón espacial presenta características singulares y diferenciadas, que inciden en una diferente persistencia de los patrones espaciales para los diversos parámetros y en una evolución térmica que en algunos casos puede ser muy contrastada. Por ello, se ha creído oportuno incluir el examen de la evolución de la Amplitud Térmica Diaria, como indicador de las diferencias en la evolución de ambos parámetros extremos.

3.3.1 Diferencias estacionales de los patrones espaciales de temperatura

Los cuatro patrones espaciales definen áreas en las que los parámetros de temperatura presentan un comportamiento característico, pero la presencia o ausencia de estos patrones está íntimamente relacionada con la época del año que se examina.

El patrón de Depresión Central y el patrón de Montaña tienen carácter invernal, apareciendo únicamente en los meses fríos del año, especialmente en noviembre, diciembre y enero, aunque para el parámetro de mínimas se extiende hasta el mes de abril. La presencia de la mayoría de los componentes asociados a estos dos patrones en los tres meses mencionados y la semejanza en la evolución temporal entre ellos nos indica que son estos meses los que exhiben un comportamiento diferenciado que podemos denominar invernal. Aunque los meses que corresponden al invierno según las estaciones climatológicas estándares comúnmente utilizadas en análisis en base estacional son diciembre, enero y febrero (Karl *et al.*, 1993; Jones, 1999), los resultados anteriormente expuestos muestran que, en el área de estudio, noviembre presenta un comportamiento más acorde con el de diciembre y enero, mientras que febrero responde a patrones de las temperaturas relacionados con meses primaverales. Albentosa (1973), en su estudio de los climas de Cataluña ya asociaba el comportamiento sinóptico de noviembre con los tipos de tiempo invernales, considerando la estación otoñal como una estación de transición con influencias estivales e invernales.

El estudio de las relaciones existentes entre la variabilidad de la presión atmosférica y otras variables climatológicas han llevado a diversos autores a abandonar la clasificación tradicional de las estaciones en favor de análisis a escala mensual, o a agregaciones mensuales más amplias o de tipo móvil, más acordes con las características del comportamiento de las variables examinadas. Hurrell (1996) en su análisis de la influencia de las teleconexiones extratropicales invernales sobre la temperatura del Hemisferio Norte utiliza el término invierno para el periodo comprendido entre los meses de diciembre y marzo, el mismo que utilizan Volodin y Galin

(1999) en su estudio del calentamiento continental invernal en el Hemisferio Norte.

A escalas mayores y más cercanas al área de estudio, Bojariu y Paliu (2001) analizan la respuesta invernal de la temperatura y precipitación en Rumania a las variaciones del índice NAO utilizando los meses comprendidos entre noviembre y febrero. Otros autores (Conejo, 2001) amplían este periodo invernal al abarcado por los meses de noviembre a abril en el estudio de las secuencias de la precipitación en España.

Otro enfoque utilizado es el realizado por diversos autores para el estudio de la variabilidad de la precipitación (Frias y Rodríguez-Puebla, 2001) y las relaciones entre rachas secas y húmedas (Rodríguez-Puebla *et al.*, 2001) en la Península Ibérica, que define un promedio de tres estaciones de primavera móviles correspondientes al periodo comprendido entre febrero y junio.

De los anteriores párrafos se desprende la poca idoneidad del uso de las estaciones climáticas tradicionales para este tipo de estudios, dado que primavera y otoño, como estaciones de transición entre el comportamiento estival y el invernal, no tienen un comportamiento definido. En los patrones espaciales de temperatura presentados en esta tesis, los meses pertenecientes a las estaciones equinocciales se identifican con patrones térmicos estivales o invernales, dependiendo del parámetro estudiado, pero sin presentar un patrón térmico individualizado.

Otra diferencia detectada entre los patrones espaciales de carácter invernal y aquellos que aparecen en los meses centrales del año reside en la variable que caracteriza la división del territorio en las áreas definidas por cada patrón.

La principal variable que diferencia entre los sectores del territorio identificados con los patrones invernales, de Montaña y de Depresión Occidental, está relacionado con la ubicación topográfica, correspondiendo al patrón de Depresión Occidental las depresiones interiores de la cuenca del Ebro y al patrón de Montaña las áreas topográficamente elevadas. Esta diferencia se ha observado en diversas zonas como la Meseta Meridional (Rasilla *et al.*, 1999) o Suiza (Beniston y Rebetez, 1996), relacionándose con

frecuentes situaciones de inversión térmica que afectan durante los meses invernales a las zonas deprimidas, cuando se producen condiciones de estabilidad atmosférica provocadas por situaciones de altas presiones sobre el territorio.

Entre los meses de mayo y septiembre todos los componentes aparecen ligados a dos patrones: el Litoral y el Noroccidental. Estos patrones representan el comportamiento estival de los parámetros térmicos, abarcando los meses estándares del verano y extendiéndose al final de la primavera y principio del otoño.

Si entre los patrones invernales la principal diferencia radica en la altitud topográfica de los sectores que abarcan, entre los patrones estivales el factor principal de diferenciación es la cercanía o lejanía al mar Mediterráneo. Esta relación con la masa marina aparece claramente reflejada en los coeficientes de correlación obtenidos entre los componentes de temperatura de los tres parámetros y las series de temperatura superficial del mar, tanto para la que corresponde a un punto concreto, la serie de SST de L'Estartit, como para la agregación de la cuadrícula de 40-45° N y 0-5°E de SST de la base de datos HadSST1 de la CRU. En ambos casos puede constatarse una mayor relación entre las series térmicas de componentes identificadas con el patrón Litoral y la temperatura marina, mientras que el valor de las correlaciones desciende notablemente con los componentes relacionados con el patrón Noroccidental.

Los meses de febrero, marzo, abril y octubre, no muestran un comportamiento propio característico sino que los componentes de estos meses aparecen repartidos entre los patrones invernales y los estivales, indicando su condición de meses de transición entre ambos tipos.

3.3.2 Diferencias espacio-temporales entre los parámetros extremos de la temperatura diaria

Las principales diferencias entre los parámetros de temperatura examinados se encuentran entre los promedios mensuales de las temperaturas máxima y mínima diarias, especialmente durante el periodo invernal.

Una primera diferencia se observa en la duración intraanual de los patrones invernales establecidos, mucho más dilatada para los promedios de la temperatura mínima que para los de la máxima. El patrón de Montaña se identifica con componentes del promedio de la temperatura máxima únicamente en dos meses, noviembre y diciembre, mientras que para el patrón de Depresión Occidental aparecen en estos dos meses más enero. En cambio, los componentes del promedio de la temperatura mínima se incluyen en el patrón de Montaña entre los meses de noviembre y abril, empezando al mismo tiempo que en el parámetro anterior pero extendiéndose cuatro meses más. En el caso del patrón de Depresión Occidental, se inicia un mes antes, en octubre, y finaliza dos meses después, en marzo.

Al examinar las tendencias de los componentes incluidas en cada patrón espacial se observa que en general los diferentes parámetros presentan un comportamiento paralelo, exceptuando el caso del patrón de Montaña. En este patrón los componentes del promedio de la temperatura máxima muestran una tendencia claramente negativa, mientras que las correspondientes al promedio de temperatura mínima exhiben un comportamiento opuesto, con los máximos incrementos invernales localizados en el área de montaña media mediterránea definida por este patrón. Bücher y Dessen (1991) relacionan el comportamiento análogo encontrado en el Pic du Midi de Bigorre con un incremento en la cobertura nubosa, disminuyendo la temperatura máxima por intercepción de la radiación solar directa e incrementándose la temperatura mínima por el efecto invernadero generado por el aumento de nubosidad.

Los dos patrones, el de Montaña y el de Depresión Occidental, adquieren tendencias negativas o nulas para los componentes del promedio de la temperatura máxima. El incremento térmico invernal en este caso se localiza en el área definida por el patrón Litoral, la cual únicamente para este parámetro se extiende a todo el año, mostrando en los meses de noviembre y diciembre vigorosas y significativas tendencias positivas.

El patrón Litoral y el patrón Noroccidental constituyen los dos patrones presentes durante los meses cálidos. Inversamente a lo que sucede con los patrones espaciales de carácter invernal, la mayor extensión intraanual corresponde al promedio de la temperatura máxima, con una duración que se extiende a todo el año en el caso del patrón Litoral y a los meses comprendidos entre febrero y septiembre para el Noroccidental. Por el contrario, los componentes del promedio de temperatura mínima se extienden entre abril y octubre para el patrón Litoral, y entre mayo y agosto en el caso del Noroccidental.

Por tanto, los patrones espaciales definidos como de régimen invernal abarcan una considerable parte del año en lo que respecta a las temperaturas mínimas diarias, mientras que para el promedio mensual de la temperatura máxima quedan circunscritos a dos o tres meses. A la inversa, el patrón Litoral y el patrón Noroccidental muestran mayor extensión intraanual para el promedio de la temperatura máxima que para el de la mínima, distinguiéndose en el caso del patrón Litoral durante todo el año.

Otra diferencia observada entre la temperatura máxima y mínima corresponde a su relación con la evolución de la temperatura superficial del Mediterráneo Occidental. Las correlaciones de las series temporales de los RPCs con las de las SST indican que la influencia de la temperatura marina se restringe en el caso de la temperatura máxima al área integrante del patrón Litoral, mientras que para la temperatura mínima se detecta correlación, aunque degradándose con la distancia a la costa, por todo el territorio analizado.

Los componentes del promedio mensual de temperatura media diaria, dado su carácter de promedio entre los otros dos parámetros, presentan una distribución intermedia entre los dos anteriores, con los patrones invernales entre noviembre y enero, y los patrones estivales presentes en los componentes de los meses de marzo, abril, julio y agosto.

Durante los meses invernales, la temperatura media presenta una distribución espacial similar a la temperatura mínima, con una división espacial formada por los dos patrones típicamente invernales, el de Montaña

y el de Depresión Occidental. También de forma parecida a como sucede con la temperatura mínima, los incrementos significativos registrados en las series regionales durante estos meses se basan en las tendencias detectadas en el área del patrón de Montaña. La temperatura máxima, por contra, debe su incremento en estos meses al sector del patrón Litoral, lo que indica una mayor influencia de la temperatura mínima en la configuración de las medias durante los meses invernales.

Por contra, durante el periodo estival los tres parámetros deben el incremento de las series regionales respectivas al sector costero catalán, con una influencia similar de ambos parámetros extremos sobre la temperatura media.

3.3.3 El comportamiento de la Amplitud Térmica Diaria en los diferentes patrones espaciales

La Amplitud Térmica Diaria (ATD) se define como la diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura mínima. La existencia de tendencias asimétricas en los promedios de temperatura máxima y mínima origina tendencias en la ATD, que tienen carácter positivo cuando las pendientes entre los promedios de temperatura divergen y carácter negativo cuando convergen.

Análisis a escala global de la evolución de la ATD (Karl *et al.*, 1993) indican que el promedio mensual de la temperatura mínima diaria se ha incrementado tres veces más que el promedio mensual de la temperatura máxima para el periodo 1951 – 1990, con un decremento en la ATD similar al incremento detectado en el promedio mensual de la temperatura media. Diversos estudios, pero, coinciden en señalar que esta tendencia no es constante a lo largo del año ni en el espacio (Karl *et al.*, 1994; Nichols *et al.*, 1996; Easterling *et al.*, 1997; Jones *et al.*, 1999).

Para evaluar la existencia de diferencias en el comportamiento de la ATD entre los distintos patrones espaciales de temperatura se ha calculado la pendiente de las tendencias de la ATD para aquellos meses en que se han

definido RPCs tanto para los promedios de la temperatura máxima como para los de la mínima (Tabla 3.8).

En los patrones Litoral y Noroccidental se ha calculado la ATD para los meses de junio, julio y agosto. En los meses de julio y agosto se identifican para ambos patrones tendencias levemente positivas de la ATD, sin significación estadística, concordantes con la serie regional catalana de ATD de verano descrita por Brunet *et al.* (2001b, 1999b). El mes de junio muestra un comportamiento diferente, con tendencias significativas de signo opuesto para ambos patrones: negativa en el patrón Litoral y positiva en el Noroccidental.

En los meses de noviembre, diciembre y enero, los patrones de régimen invernal, el patrón de Montaña y el patrón de Depresión Occidental, presentan una evolución de la ATD caracterizada por tendencias de carácter negativo en ambos casos, de mismo signo que el registrado en la serie regional catalana correspondiente al invierno (Brunet *et al.*, 2001b, 1999b). Estas tendencias son de gran intensidad y significativas al 99 % en el patrón de Montaña, debido a la evolución marcadamente asimétrica de los valores de máxima y mínima, mientras que en el patrón de Depresión Occidental las tendencias son menores, significativas únicamente para el mes de diciembre para el umbral del 95 %.

Esta situación de incremento en la ATD durante los meses estivales y decremento en los meses invernales aparece descrita en el análisis de variaciones y tendencias de las series regionales de la temperatura máxima, mínima y amplitud térmica diaria para el noreste español de Brunet *et al.*, (1999b). Durante el invierno la temperatura mínima presenta tendencias positivas superiores a las de la temperatura máxima, la cual se incrementa en menor medida, mientras que en el verano es el incremento de la máxima la que supera al de la temperatura mínima.

La contribución que realizan cada uno de los patrones espaciales a la evolución regional de la ATD es muy similar durante los meses de verano, con tendencias prácticamente idénticas en los meses de julio y agosto, lo que determina que en estos meses todo el territorio este caracterizado por un

incremento en la oscilación térmica diaria, aunque no alcanza los niveles de significación adoptados. En el mes de junio, aunque existe una notable diferencia en la evolución de la ATD entre el patrón Litoral y el Noroccidental, el promedio resultante es similar al de los otros dos meses.

En cuanto a los meses de invierno, la gran disminución en la ATD del patrón de Montaña queda matizada por tendencias más suaves del patrón de Depresión Occidental y posiblemente por el comportamiento del sector litoral. Aunque no queda reflejado en la Tabla 3.8 por no haberse identificado ningún componente del patrón Litoral de la temperatura mínima en estos meses, la fuerte tendencia positiva de este sector en la temperatura máxima permite suponer que la tendencia de la ATD sea de carácter positivo, anulando en gran medida, a nivel regional, el fuerte descenso de las áreas de montaña.

Tabla 3.8. Tendencias anuales de la ATD en los diferentes patrones espaciales para aquellos meses en que existen componentes de los promedios de temperatura máxima y mínima.

	Junio	Julio	Agosto
Litoral	-0.018*	0.006	0.005
Noroccidental	0.025*	0.007	0.008
	Noviembre	Diciembre	Enero
Dep. Occidental	-0.004	-0.026*	-0.005
Montaña	-0.033**	-0.032**	

* Significativa al 95 %

** Significativa al 99 %

3.4 Síntesis del capítulo

Los tres parámetros de temperatura del aire examinados para el territorio catalán muestran patrones espaciales similares. En los tres se identifican cuatro áreas con una evolución diversa, cuya diferenciación depende en general de la época del año.

El más persistente y extenso es el denominado patrón Litoral, que define un sector del territorio formado principalmente por el Sistema Litoral Catalán. Este área constituye la parte más abierta al Mediterráneo, al mismo tiempo que su sector occidental, la cordillera Prelitoral, forma una barrera importante a la penetración de la influencia moderadora del mar hacia el interior de territorio. Definido para los tres parámetros térmicos desde abril hasta octubre, es la zona en la cual se detectan un mayor número de incrementos térmicos estadísticamente significativos y la que se responsabiliza en mayor medida de las tendencias registradas en las series regionales correspondientes a dicho periodo intranual. Durante este periodo existe también una alta correlación entre las temperaturas del aire en este sector y la temperatura superficial del Mediterráneo Occidental.

En el caso de la temperatura máxima este patrón aparece también definido durante los meses de noviembre y diciembre, en los cuales igualmente es responsable del incremento detectado en las series regionales de dicho parámetro.

El segundo patrón espacial en importancia en cuanto a su contribución a los incrementos de temperatura experimentados por las series regionales mensuales es el patrón de Montaña. Bajo este patrón espacial se agrupan un conjunto de sectores del territorio caracterizados por pertenecer a áreas de montaña media y alta de sectores del Pirineo Occidental y del Sistema Litoral Catalán, en altitudes superiores a los 800 m. Se identifica durante los meses invernales, especialmente en noviembre, diciembre y enero, que es cuando esta también identificado en la temperatura media diaria. Para este parámetro, noviembre y diciembre manifiestan tendencias levemente positivas, en absoluto significativas, mientras que en enero se detecta un vigoroso incremento estadísticamente significativo. Este comportamiento del parámetro de medias diarias se debe a que, al contrario que el patrón Litoral, el patrón de Montaña no muestra una evolución temporal similar para los dos parámetros extremos de la temperatura diaria. Mientras que para la temperatura mínima aparece definido entre los meses de noviembre a abril, con tendencias positivas (aunque únicamente significativas durante el mes de

enero), en la temperatura máxima solo se diferencia en noviembre y diciembre, con una evolución de carácter negativo. Esta evolución diferencial de las temperaturas máxima y mínima indica un fuerte ascenso de los mínimos nocturnos que se produce en las zonas montañosas al mismo tiempo que una disminución de los máximos diurnos. Aunque no se ha investigado en este trabajo, esta diferencia puede obedecer a un incremento sustancial en la nubosidad en los sectores de alta y media montaña, como ha sido puesto en evidencia en otros sectores cercanos (Bücher y Dessen, 1991).

Los dos patrones restantes, el Noroccidental y el de Depresión Occidental, definen sectores de Cataluña en los cuales la temperatura no muestra en general tendencias remarcables y cuya contribución a los incrementos registrados en las series térmicas regionales es escasa o nula.

El patrón Noroccidental aparece como contrapuesto al patrón Litoral principalmente durante la primavera y el verano, centrado en el tercio noroccidental del territorio y englobando los sectores más aislados de la influencia del Mediterráneo. Únicamente en la temperatura máxima del mes de junio muestra una tendencia estadísticamente significativa, de carácter positivo.

El patrón de Depresión Occidental es el opuesto al patrón de Montaña, apareciendo en los mismos meses que este último. Define un área que incluye principalmente los sectores deprimidos de la parte occidental de la Depresión Central, aunque para la temperatura mínima se extiende a todo el sector meridional del territorio y también a depresiones de la parte oriental. Son zonas en las cuales son habituales las inversiones térmicas nocturnas durante los meses invernales en situaciones de estabilidad atmosférica. El carácter esencialmente nocturno de esos fenómenos puede explicar la mayor extensión espacial e intranual de este patrón en el caso de la temperatura mínima frente a la de las medias y las máximas. Las serie temporales asociadas a este patrón muestran unas tendencias pequeñas o nulas, con muy poca incidencia sobre las tendencias detectadas en las series regionales.

La evolución de los parámetros térmicos extremos presenta también diferencias estacionales, que se traducen en un divergente signo de la

Amplitud Térmica Diaria entre los patrones de carácter invernal y los predominantemente estivales. Durante los meses centrales del verano, julio y agosto, la ATD muestra una tendencia muy leve de carácter positivo, indicando una tendencia ligeramente superior de la temperatura máxima sobre la temperatura mínima en todo el territorio catalán. En junio, en cambio, las tendencias son significativas estadísticamente, pero de signo opuesto para el patrón Litoral y el patrón Noroccidental. Mientras que en los sectores litorales la ATD indica una disminución relacionada con el decremento de la temperatura máxima (con una elevada correlación con el comportamiento del Mediterráneo), en el interior del territorio la tendencia es claramente positiva, con un mayor incremento de las máximas sobre las mínimas.

Durante el invierno, el comportamiento de la ATD es muy diferente. Las tendencias para los dos patrones invernales, patrón de Montaña y patrón de Depresión Occidental, arrojan coeficientes negativos, especialmente significativos en las áreas de montaña. Al contrario que en el periodo estival, durante el invierno la temperatura mínima experimenta un incremento mucho mayor que la temperatura máxima en la mayoría del territorio catalán. Únicamente en el litoral, donde la temperatura máxima centra su incremento invernal, se registran de tendencias positivas de la ATD.

4 La influencia de los modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia sobre los patrones térmicos catalanes

Durante la década de los años 80 el interés por conocer el funcionamiento de la variabilidad de baja frecuencia de la presión troposférica queda reflejado en una serie de trabajos que aíslan diversos modos de variabilidad que se conocen como patrones de anomalías de circulación atmosférica o patrones teleconectivos. Estas teleconexiones se definen como asociaciones estadísticas entre variables climáticas separadas por largas distancias (Leathers *et al.*, 1991) y se identifican espacialmente como diversos centros de anomalías de presión de diferente o mismo signo.

Los estudios encaminados a identificar patrones espaciales de variabilidad de baja frecuencia siguen básicamente dos métodos (Barnston y Lizevey, 1987): el método de la teleconexión; y el método de análisis de componentes principales rotados.

El primero, el método de la teleconexión, obtiene correlaciones temporales de un parámetro meteorológico entre una localización geográfica determinada y el resto de localizaciones del dominio. Este ejercicio se repite para todas las posibles localizaciones, de manera que las que presentan mayor amplitud se aceptan como centros de acción de la variabilidad de baja frecuencia, configurando un patrón teleconectivo. Este método ha sido utilizado por varios autores, tanto en la altura geopotencial de 500 mb (Wallace y Gutzler, 1981) como en la de 700 mb (Esbensen, 1984).

Por su parte, el método de análisis de componentes principales ha sido empleado por otros autores para obtener patrones distintivos en diferentes alturas geopotenciales. Entre los trabajos realizados durante la década de los años 80 pueden mencionarse los de Barnston y Lizevey (1987), que

extrajeron diez modos de variabilidad a escala mensual de la altura geopotencial de 700 mb, y cuyo análisis sirve de referencia para la mayoría de los patrones de variabilidad atmosférica de baja frecuencia que facilita el *National Center for Environmental Prediction*. Otros autores realizan estudios similares en la altura de geopotencial de 500 mb, tanto para escalas trimensuales (Horel, 1981) como pentamensuales (Hsu y Wallace, 1985).

Diversos estudios han relacionado los patrones atmosféricos emergentes con la variabilidad temporal de la temperatura del aire en superficie. Gutzler *et al.*, (1988) indican la existencia de correlación significativa entre el patrón del Pacífico/Norte América con la temperatura invernal del Hemisferio Norte. Hurrell (1996) responsabiliza a la Oscilación del Atlántico Norte de un 31 % de la variabilidad térmica invernal del Hemisferio Norte y a la Oscilación Austral de un 16 %. Jones (2001b) apunta que entre el 30 % y el 50% de las variaciones hemisféricas de la temperatura pueden explicarse mediante los índices del fenómeno del El Niño-Oscilación Austral (ENSO).

Esta relación entre temperatura y variabilidad atmosférica de baja frecuencia puede utilizarse para representar relaciones entre la circulación atmosférica a escala planetaria y climas regionales. Existen numerosos trabajos que examinan la relación entre variables climáticas a escala regional, principalmente temperatura y precipitación, y diversos patrones teleconectivos. Leathers *et al.*, (1991) relaciona el patrón del Pacífico/Norte América con la temperatura y precipitación en varios sectores de los Estados Unidos. En Europa, diversos estudios señalan conexiones entre el promedio mensual de temperatura y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), entre los que pueden citarse a Moberg *et al.*, (2000), que para el Norte de Europa identifican una correlación negativa durante el invierno en el periodo 1826-1997. Brázdil *et al.*, (2001) describe la Oscilación del Atlántico Norte como el modo de variabilidad dominante para las temperaturas invernales en la República Checa, con correlaciones de carácter positivo. Un comportamiento similar se detecta también en Rumania, especialmente en las zonas bajas del país (Bojariu y Paliu, 2001). La zona central de Inglaterra aparece también

directamente correlada con la Oscilación del Atlántico Norte (Benner, 1999) y con la Oscilación Austral (Benner, 1999; Plaut *et al.*, 1995).

Para la Península Ibérica se han encontrado diversas relaciones entre patrones de circulación y parámetros climáticos. Seguramente la variable más estudiada es la precipitación, que presenta relación con el índice NAO en gran parte del territorio, especialmente en los sectores meridional y occidental (Tildes, 2001; Pita *et al.*, 1999; Guijarro, 1999; Gómez *et al.*, 1999; Corte-Real, 1998; Rodríguez-Puebla *et al.*, 1999; Rodó *et al.*, 1997; Zorita *et al.*, 1992), mientras que en la vertiente mediterránea se relaciona también con los índices del patrón de Escandinavia (SCA) y el ENSO (Rodríguez-Puebla *et al.*, 2001; Guijarro, 1999; Rodríguez-Puebla *et al.*, 1998; Rodó *et al.*, 1997)

La relación entre diversos patrones teleconectivos y la temperatura en la Península Ibérica también se ha estudiado en diversas subregiones, aunque existe un menor número de trabajos. En el centro de la Península se encuentran relaciones significativas entre la temperatura invernal máxima y mínima y los índices de la Oscilación del Atlántico Norte y el patrón del Atlántico Este, así como entre el patrón Atlántico Este/Rusia Occidental y la temperatura mínima (Rasilla *et al.*, 1999). La relación entre la temperatura invernal y los patrones del Atlántico Este, y Atlántico Este/Rusia Occidental se destaca también en el norte de España (Sáenz *et al.*, 1999), mientras que en las cuencas del Segura y del Duero se descubren relaciones entre la Oscilación del Atlántico Norte y la temperatura (Manso y Caramelo, 2001; Horcas *et al.*, 2000).

El cambio climático que afecta a las diversas variables climáticas se manifiesta sobre los campos de presión como cambios en la circulación atmosférica, que tienden a proyectarse de forma más robusta sobre los modos de variabilidad más dominantes (Stone *et al.*, 2001). Estos cambios en los patrones de anomalías de la circulación atmosférica muestran relación con el incremento térmico producido en las áreas continentales del hemisferio norte (Wallace *et al.*, 1996). Los efectos más intensos sobre las temperaturas se derivan de los cambios de circulación atmosférica invernal

que se han producido sobre las cuencas oceánicas del hemisferio norte desde mediados de los años 70. El incremento térmico en Europa se relaciona especialmente con cambios en la NAO, dado que las variaciones térmicas asociadas a este patrón representan el 31 % de la varianza interanual hemisférica, aunque otros patrones teleconectivos también influyen en este fenómeno (Hurrell, 1996).

Si bien para las regiones españolas mencionadas en los párrafos anteriores existen trabajos que examinan las relaciones entre la evolución de los modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia y la variabilidad de la temperatura, en Cataluña esta cuestión no ha sido abordada hasta el presente, excepto integrada en estudios a escala regional y sin distinción entre los sectores del territorio que presentan una evolución térmica diferenciada.

El objetivo de este capítulo es analizar la relación existente entre la evolución de los diversos patrones espaciales determinados para los parámetros térmicos catalanes y distintos patrones de circulación atmosférica de baja frecuencia seleccionados.

Con este fin se han utilizado diversas técnicas estadísticas de análisis relacional entre variables. En primer lugar se ha analizado el coeficiente de correlación de Pearson entre las series mensuales de los componentes principales rotados y las series mensuales de diversos índices de patrones teleconectivos, con objeto de establecer el grado de asociación entre ambos grupos de variables.

Para establecer la existencia de una relación entre un índice teleconectivo y la temperatura en el área definida por uno de los patrones espaciales de temperatura, se ha tomado como criterio la presencia de coeficientes de correlación significativos entre el índice teleconectivo y todas las series térmicas de un mes determinado integradas en dicho patrón espacial.

En segundo lugar, en aquellos casos en que se ha detectado la existencia de una relación estadística entre índices teleconectivos y series térmicas, se ha aplicado un modelo de regresión lineal multivariante a cada serie de temperatura con objeto de cuantificar el porcentaje de variabilidad térmica que puede ser explicada mediante dichos índices. Este análisis se ha

realizado en dos fases. Una primera fase entre cada serie de temperatura y los índices teleconectivos relacionados con la evolución térmica del patrón espacial de temperatura, con objeto de identificar aquellos índices que presentan significación estadística al 95 % en el análisis de regresión. En la segunda fase, estos índices con significación estadística en la primera fase se han utilizado en un nuevo modelo de regresión lineal, para determinar el porcentaje de varianza de la temperatura explicada por cada uno de ellos.

El presente capítulo se ha dividido en tres secciones. En la primera se describen los patrones teleconectivos que se han utilizado en el análisis, indicando las fuentes de las cuales se han obtenido, sus características espaciales y su presencia a lo largo del año.

En la segunda sección se describen las relaciones determinadas mediante el coeficiente de correlación de Pearson entre cada índice teleconectivo y las temperaturas en Cataluña, indicando las posibles causas de dicha relación estadística

En la tercera sección se evalúa la influencia que ejercen los modos de variabilidad atmosférica sobre las variaciones interanuales de la temperatura en los diferentes sectores definidos para el territorio catalán, indicando el porcentaje de la varianza térmica explicado por aquellos patrones teleconectivos que mejor acoplados están con las temperaturas de cada sector térmicamente homogéneo.

4.1 Descripción de los patrones teleconectivos examinados

Los patrones teleconectivos se miden cuantitativamente mediante índices que evalúan la diferencia o amplitud entre los diversos polos del patrón. Los índices de patrones definidos mediante el método de las teleconexiones suelen calcularse como la diferencia entre las presiones normalizadas de dos puntos geográficos. Por el contrario, los índices de patrones establecidos mediante el análisis de componentes principales rotados para diferentes

alturas geopotenciales corresponden a las series temporales de estos componentes.

Con objeto de examinar la influencia que la variabilidad atmosférica de baja frecuencia ejerce sobre las variaciones temporales de la temperatura del aire, en los diversos sectores de territorio estudiado identificados a través de los patrones térmicos catalanes, se han evaluado 16 índices teleconectivos. Estos índices corresponden a la mayoría de los modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia identificados en el Hemisferio Norte, y aparecen en los trabajos mencionados en el apartado anterior como responsables en mayor o menor medida de la variabilidad temporal de la temperatura en el conjunto o parte de dicho hemisferio. Se ha incluido también un índice correspondiente a la Oscilación Austral, debido a su relación con la variabilidad climática en el Hemisferio Norte en general (Jones, 2001b; Hurrell, 1996) y en la Península Ibérica en particular (Rodríguez-Puebla *et al.*, 2001; Guijarro, 1999; Rodríguez-Puebla *et al.*, 1998; Rodó *et al.*, 1997).

La fuente de estos índices es doble: 14 proceden del *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) y corresponden a otros tantos patrones atmosféricos extraídos mediante un análisis de componentes principales rotados de las anomalías medias mensuales de la altura de geopotencial de 700 mb para el periodo 1964-1994, siguiendo la técnica aplicada por Barnston y Livezey (1987); los dos restantes consisten en índices teleconectivos de diferencia de presión normalizada entre dos ubicaciones geográficas, y corresponden a los índices de la Oscilación del Atlántico Norte y la Oscilación Austral proporcionados por la Climate Research Unit (CRU).

Los índices proporcionados por el NCEP están disponibles únicamente para aquellos meses en que el patrón teleconectivo ha sido diferenciado mediante el análisis de componentes principales. Por lo tanto, existen algunos patrones con índices para cada uno de los meses del año y otros que solo se diferencian en dos o tres meses (Tabla 4.1). La descripción de los

diferentes patrones se detalla a continuación. Entre paréntesis se indican los acrónimos¹¹ utilizados para los diferentes índices.

4.1.1 Oscilación del Atlántico Norte

La Oscilación del Atlántico Norte (NAO) constituye la mayor fuente de variabilidad interanual e interdecadal de la circulación atmosférica en el área del Atlántico Norte y el continente europeo, asociada con cambios en la circulación del oeste (Flatau *et al.*, 2003; Hurrell, 1995).

Consiste en un dipolo de anomalías norte-sur, con un centro situado en Groenlandia y otro centro de signo opuesto en latitudes centrales (35° - 40° N) del Atlántico Norte. La fase positiva refleja anomalías de presión negativa en altas latitudes del Atlántico Norte y anomalías positivas en las regiones centrales del Atlántico Norte, Europa Occidental y este de los Estados Unidos (Figura 4.1). La fase negativa refleja un patrón opuesto de las anomalías del campo de presión en esas regiones.

Tabla 4.1. Meses en que se distinguen los diferentes patrones teleconectivos. Los números indican el componente rotado en que aparecen para cada mes. Los espacios sin número indican los meses en que el patrón no se ha diferenciado en el análisis.

Patrones	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
NAO	2	2	3	1	1	2	3	2	2	5	1	1
EA	6	6	7		10					8	7	5
EA-JET					6	9	7	3	7			
WP	4	3	4	3	4	4	6	7	8	10	4	6
EP	9	10	9	10	8	3	1	1			6	9
NP				2	2	1	2	6				
PNA	3	1	2	5	5	10			6	6	5	2
EA/WR	7	8	10	7	9	7				7	3	4
SCA	5	9	8	8	3	5			10	1	2	3
POL	1	4	1									
TNH	8	7										8
PT						8	4	4	4			
ASU							5	5	5			

¹¹ Estos acrónimos corresponden al nombre en inglés, de acuerdo con la mayor parte de la bibliografía sobre el tema.

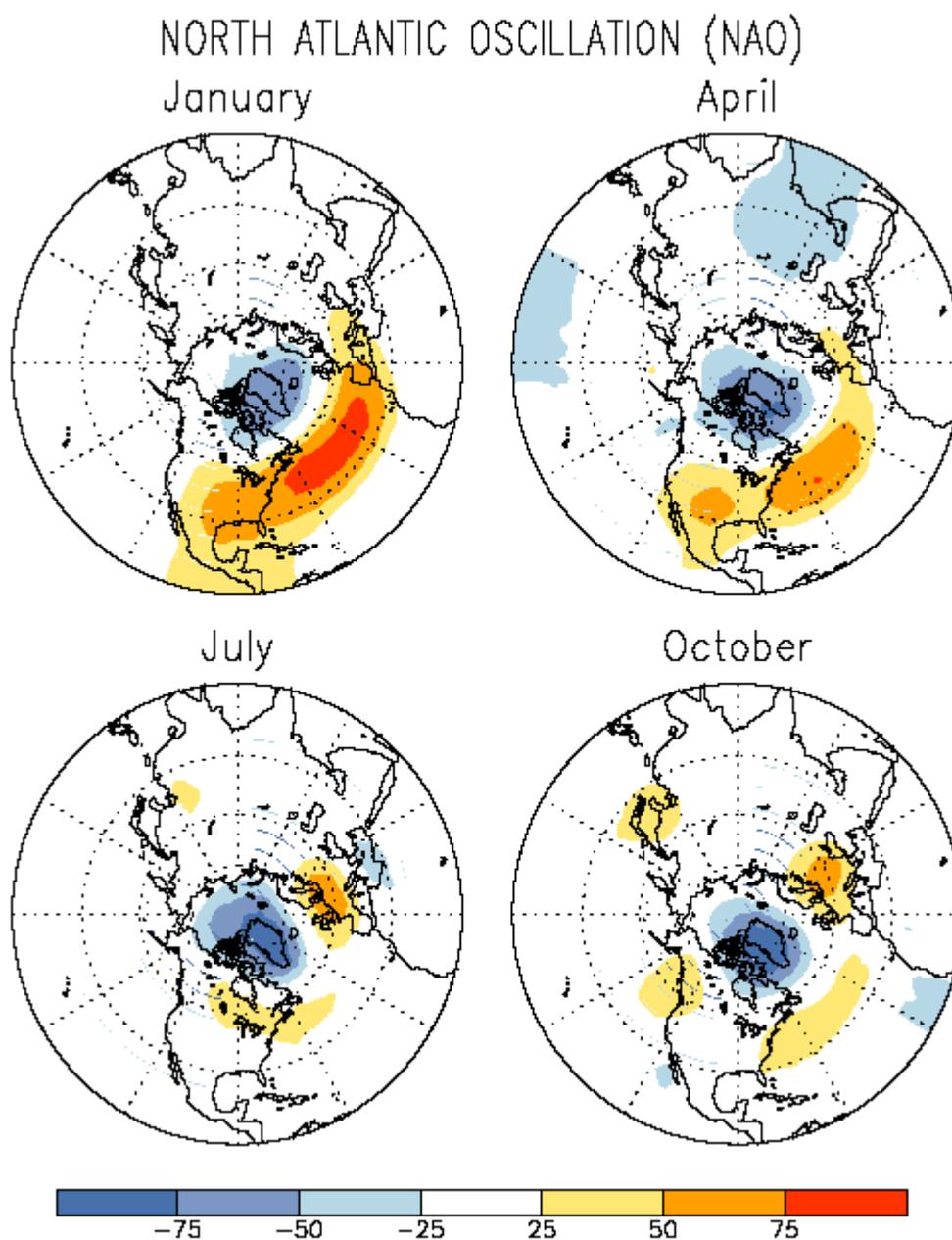


Figura 4.1. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva de la NAO.
 Fuente: National Center for Environmental Prediction. (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)

Existen diferentes índices que reproducen la evolución de la NAO en el tiempo. Tres de los más conocidos y utilizados en los análisis son: el índice NAO de P. D. Jones (1997), que se define como la diferencia de presión normalizada entre Reykiavik y Gibraltar; el índice NAO de J. W. Hurrell (1995) expresado como la diferencia de presión normalizada entre Reykiavik

y Lisboa; y el índice NAO propuesto por Barnston y Livezey (1987) a partir del RPCA de la altura de geopotencial de 700 mb.

De estos tres índices, se han escogido dos para examinar cual proporciona mejores resultados respecto su relación con la variabilidad térmica en el territorio catalán. Uno, el definido por Barnston y Livezey a través del RPCA del campo de presión, y que en este trabajo se identifica mediante el acrónimo NAO. De los dos índices expresados en forma de diferencias normalizadas de presión, se ha escogido el de P. D. Jones, ya que estudios previos indican que es el que proporciona mejores resultados (Gámiz *et al.*, 2001), identificado con el acrónimo NAOJON.

En el análisis de componentes principales rotadas de la media mensual del campo de 700 mb, este patrón teleconectivo esta presente durante todos los meses del año. Es el primer modo de variabilidad durante los meses de marzo, abril, octubre y noviembre, y se obtiene en la segunda componente de los meses de diciembre, enero, mayo, julio y agosto.

En invierno y primavera el centro situado en las latitudes centrales se ubica en el Atlántico Norte, extendiéndose hasta el territorio de estudio, por lo que la fase positiva se traduce en una anomalía positiva de presión sobre éste. En verano y otoño este centro de anomalías aparece desplazado sobre Europa Central, implicando un refuerzo de las situaciones advectivas de Levante en la zona.

4.1.2 Patrón del Atlántico Este

El patrón del Atlántico Este (EA)¹² muestra una estructura similar a la de la NAO, consistente en un dipolo de anomalías norte-sur que se extiende por todo el Atlántico Norte, con los centros desplazados hacia el sudeste respecto los de la Oscilación del Atlántico Norte. La principal diferencia del EA en relación con la NAO reside en el centro de baja latitud, que presenta fuertes relaciones con la circulación subtropical. La fase positiva del EA muestra anomalías negativas en el centro situado en las altas latitudes y anomalías positivas en el ubicado en bajas latitudes del Atlántico norte, Caribe y oeste

del Sahara. Aparece diferenciado entre los meses de septiembre a abril, desapareciendo durante los meses estivales (Figura 4.2).

La fase positiva implica sobre el área estudiada un fortalecimiento de la circulación del Oeste, mientras que la fase negativa corresponderá a un debilitamiento de esta circulación.

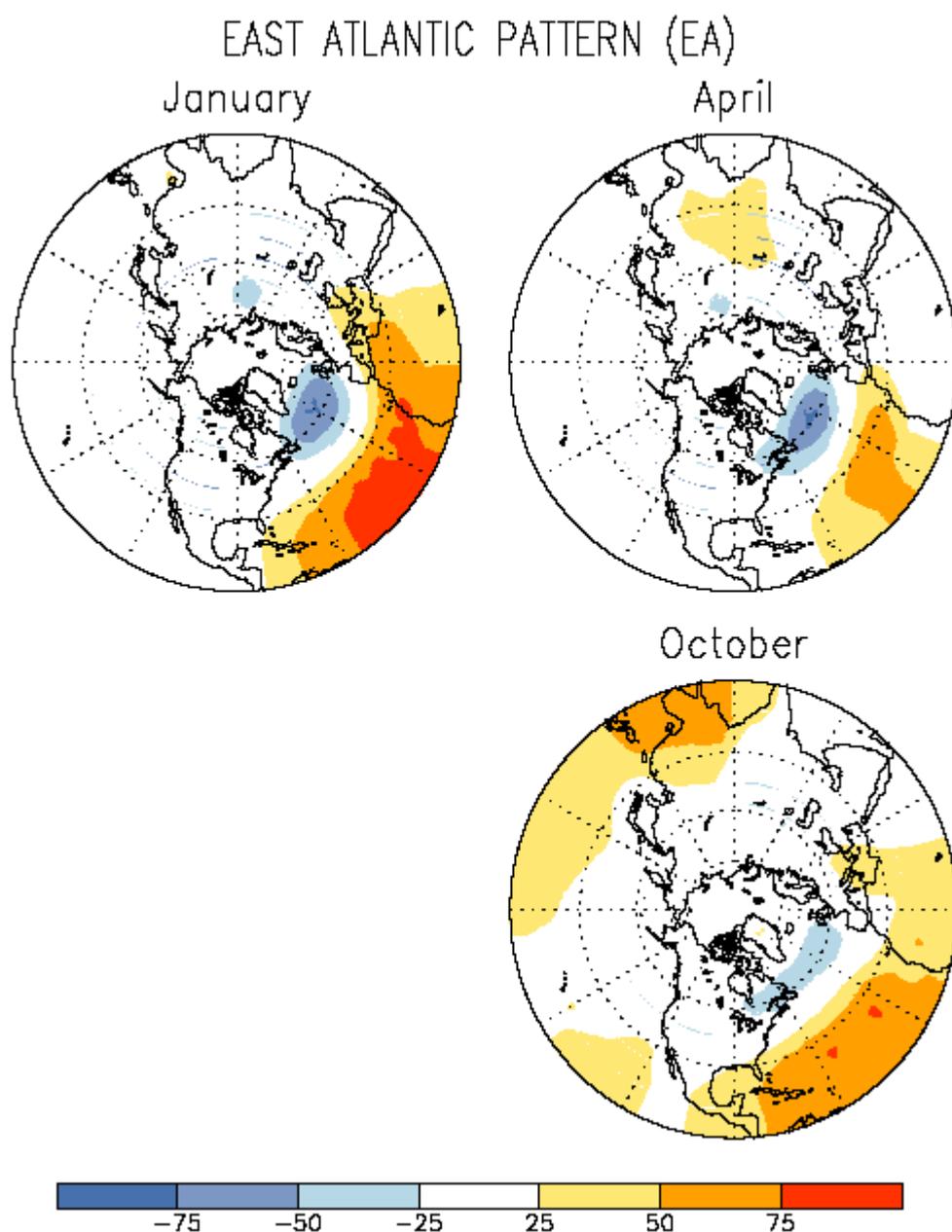


Figura 4.2. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del EA. Fuente: National Center for Environmental Prediction. (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)

¹² Del inglés *East Atlantic*.

4.1.3 Patrón del Atlántico Este-Jet

El patrón Atlántico Este-Jet (EA-JET)¹³ es el tercer modo de variabilidad de baja frecuencia localizado sobre el Atlántico Norte, presente entre los meses de abril a agosto. El patrón consiste en un dipolo norte-sur, con un centro situado sobre las altas latitudes orientales del Atlántico Norte y Escandinavia, y otro centro localizado sobre el norte de África y el Mediterráneo.

La fase positiva presenta valores negativos de las anomalías en el centro situado en el área escandinava y anomalías positivas en el centro norteafricano (Figura 4.3).

El área de estudio queda en el extremo norte del centro de anomalías situado en la banda subtropical, implicando la fase positiva del patrón un refuerzo de la circulación del Oeste al norte de la Península Ibérica y anomalías positivas de presión sobre ésta.

4.1.4 Patrón del Pacífico Oeste

El patrón del Pacífico Oeste (WP)¹⁴ es el principal modo de variabilidad de baja frecuencia sobre el Pacífico Norte en todos los meses del año. Durante el invierno y la primavera el patrón consiste en un dipolo de anomalías norte-sur, con un centro localizado sobre la Península de Kamchatka y otro vasto centro de signo opuesto en el sudeste asiático y bajas latitudes del extremo oeste del Pacífico Norte. En su fase positiva, éste último centro presenta anomalías positivas, mientras que al polo situado en altas latitudes le corresponden anomalías negativas de presión (Figura 4.4). Durante el verano y el otoño aparece un tercer centro sobre Alaska, de mismo signo que el centro del sudeste asiático.

¹³ Del inglés *East Atlantic Jet*.

¹⁴ Del inglés *Western Pacific*.

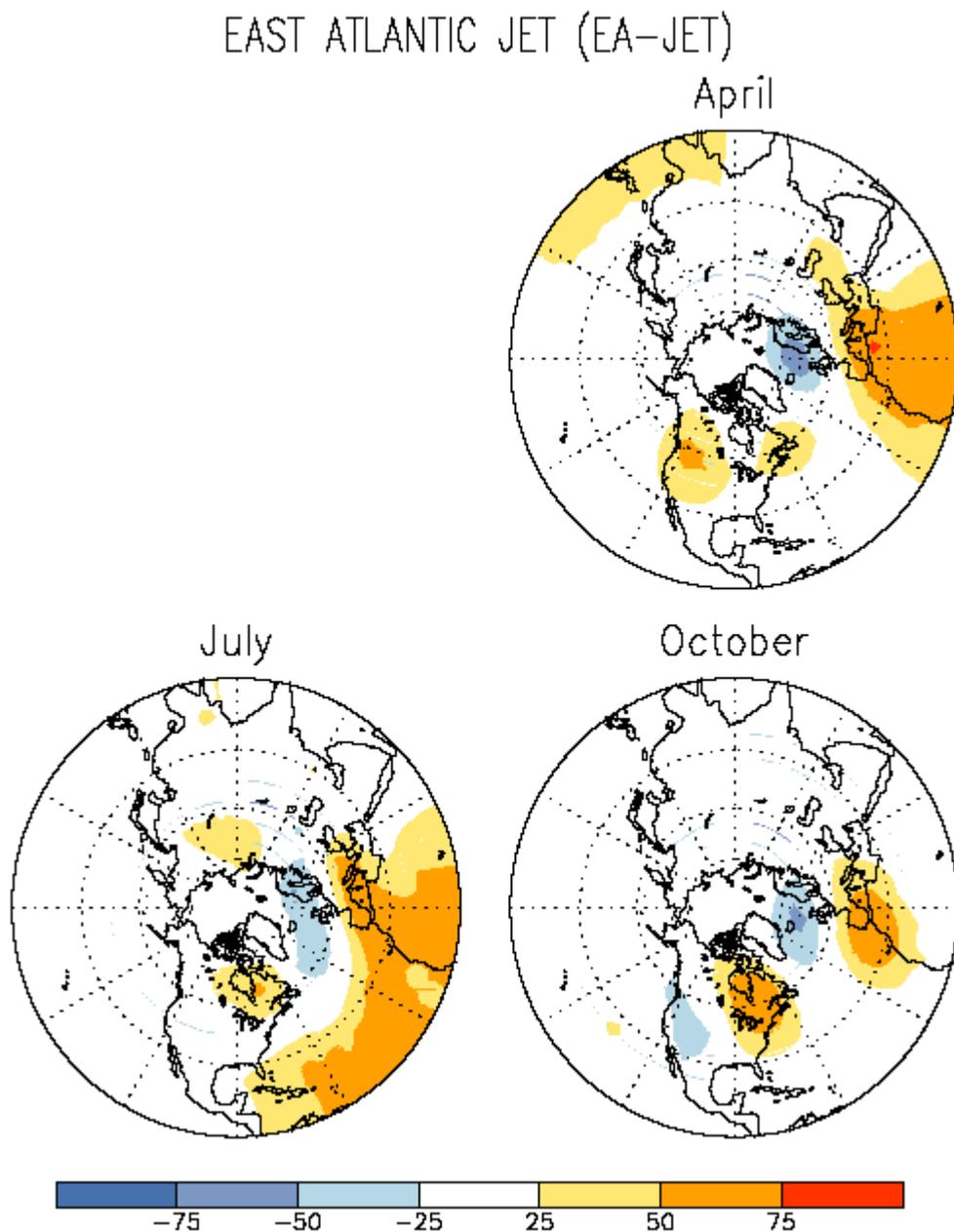


Figura 4.3. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del EA-JET. Fuente: *National Center for Environmental Prediction*. (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)

4.1.5 Patrón del Pacífico Este

Presente durante todos los meses del año excepto agosto y septiembre, el patrón del Pacífico Este (EP)¹⁵ refleja un dipolo de anomalías norte-sur sobre el este del Pacífico Norte. El centro norte se encuentra situado en los

alrededores del Golfo de Alaska y costa oeste del Canadá, mientras que el centro de signo opuesto se localiza en el área de Hawai. Durante la fase positiva del patrón EP el polo norteño presenta valores negativos, mientras que las anomalías positivas se centran en el área de las islas Hawai (Figura 4.5).

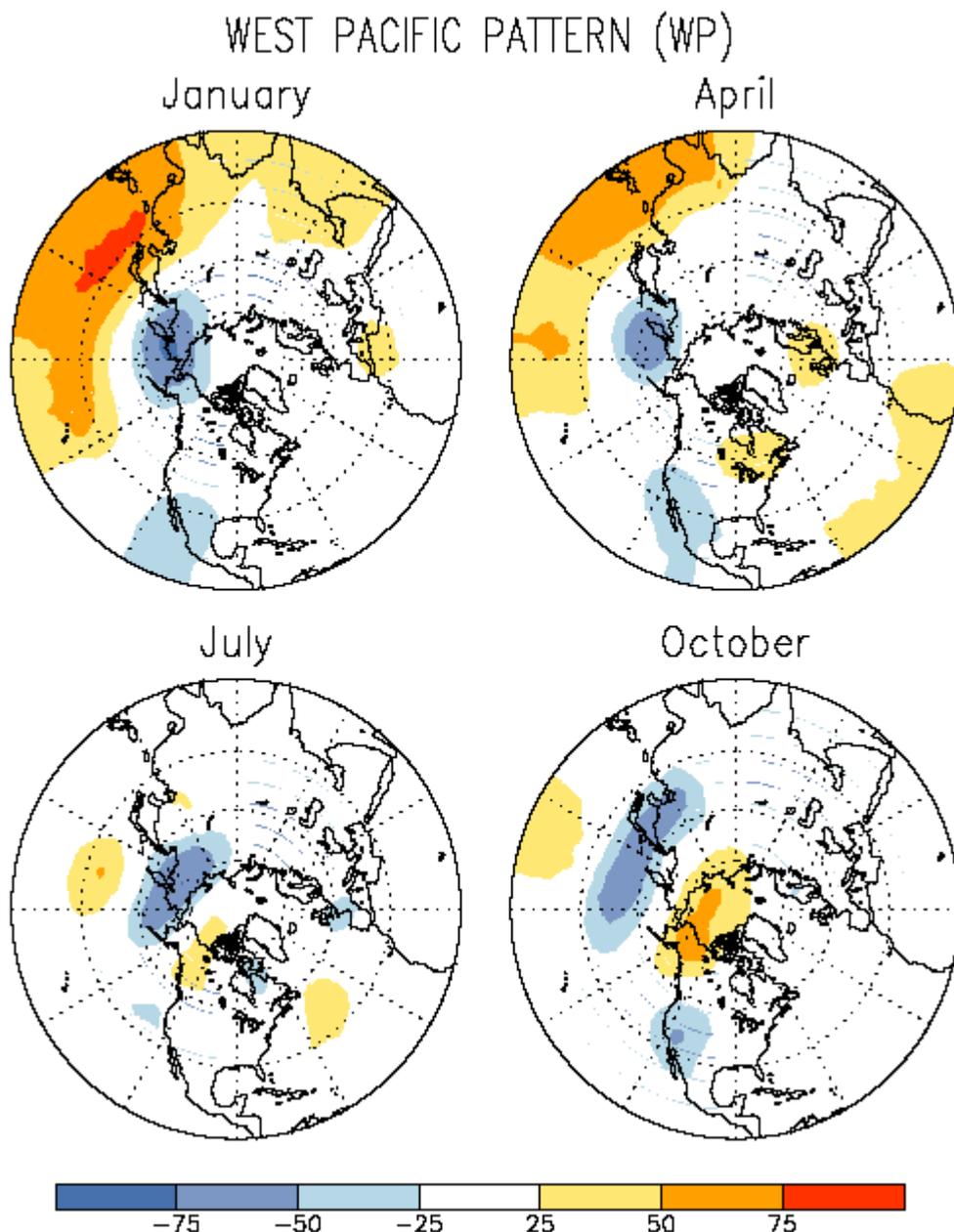


Figura 4.4. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del WP.
 Fuente: National Center for Environmental Prediction. (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)

¹⁵ Del inglés *East Pacific*.

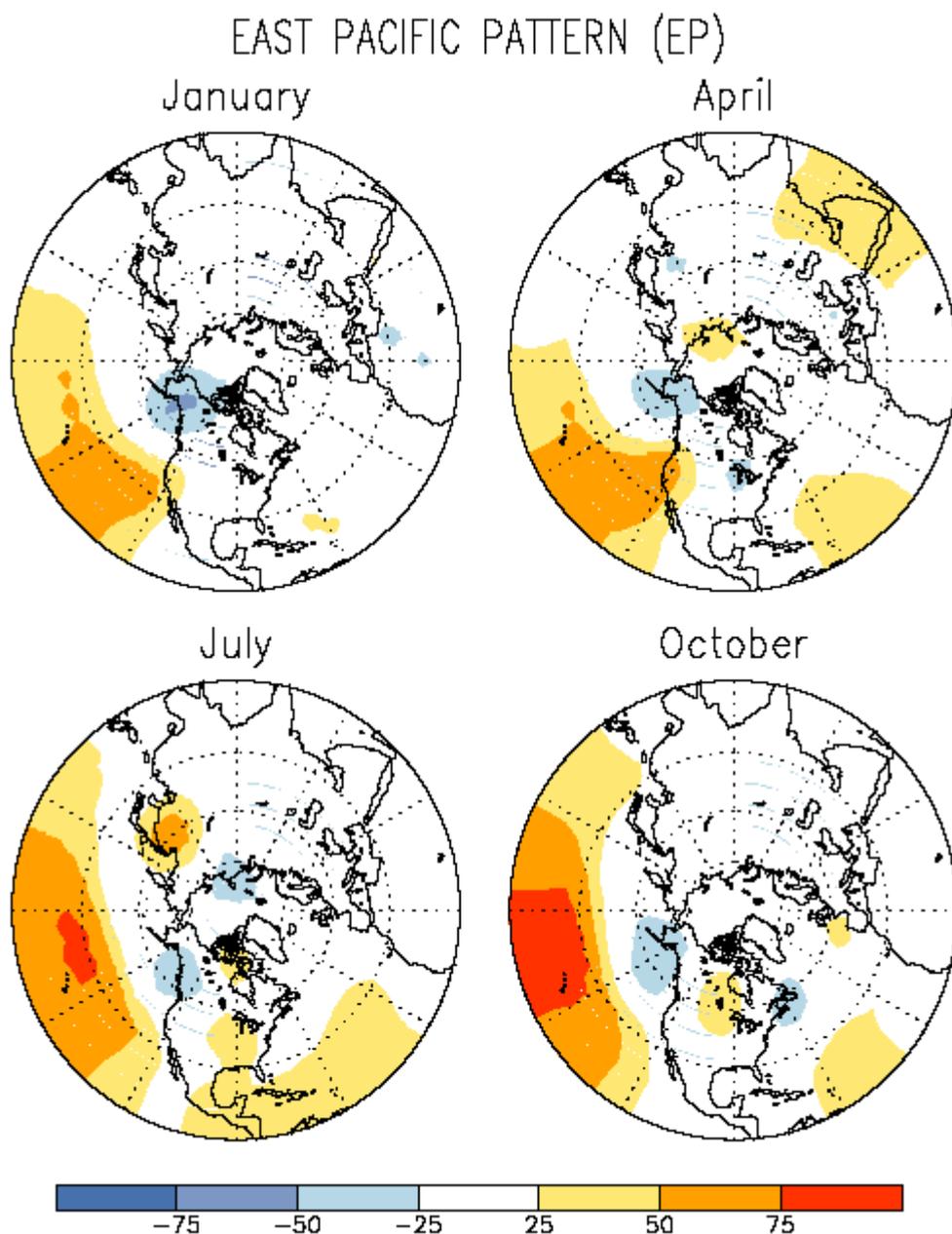


Figura 4.5. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del EP.
 Fuente: National Center for Environmental Prediction. (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)

4.1.6 Patrón del Pacífico Norte

El patrón del Pacífico Norte (NP)¹⁶ es uno de los principales modos de variabilidad en el Pacífico durante los meses en que aparece, entre marzo y julio. Consiste en un vasto centro de anomalías que ocupa las latitudes

¹⁶ Del inglés *North Pacific*.

centrales del este y centro del Pacífico Norte, y una región de anomalías mas débiles de signo opuesto que se localiza en el este de Siberia, Alaska y la región de las Rocosas, aunque en el mes de julio este centro se debilita y aparece otro centro, muy difuminado, sobre el norte de África. Durante la fase positiva el centro oceánico presenta valores negativos de las anomalías de presión y valores positivos en los centros continentales (Figura 4.6).

4.1.7 Patrón del Pacífico/Norte América

Otro de los principales modos de variabilidad de baja frecuencia que aparece en las latitudes extratropicales del Hemisferio Norte es el patrón Pacífico/Norte América (PNA)¹⁷. Aparece todos los meses del año con excepción de los meses de junio y julio. Consiste en un patrón cuadripolar, con dos centros del mismo signo localizados al sur de las islas Aleutianas y sobre el sudeste de los Estados Unidos. Anomalías de signo opuesto aparecen en la vecindad de las islas Hawai, y sobre el Canadá central durante el invierno y la primavera.

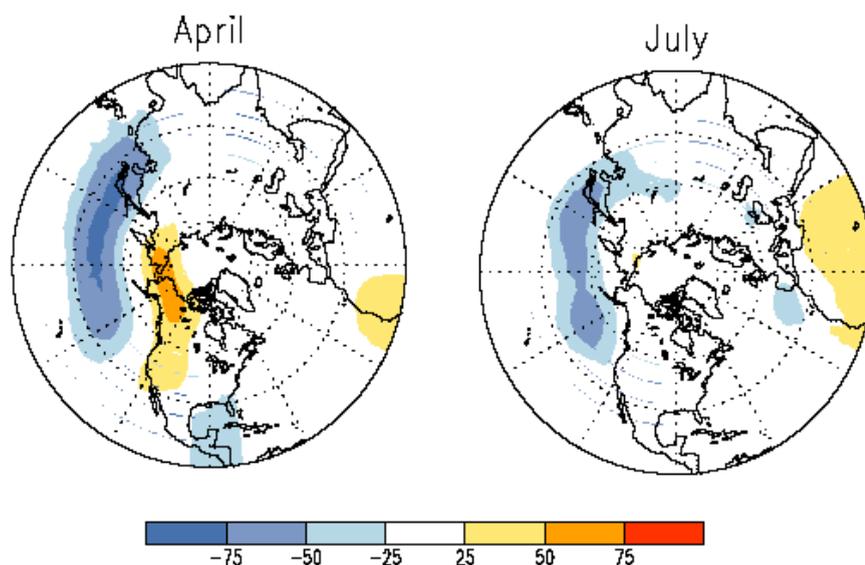


Figura 4.6. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del NP. Fuente: National Center for Environmental Prediction. (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)

¹⁷ Del ingles *Pacific/North American*.

La fase positiva corresponde a valores positivos de las anomalías de los centros hawaiano y canadiense, y valores negativos de las anomalías en los otros dos centros (Figura 4.7).

La máxima expansión del centro de las Aleutianas se produce en invierno, mientras que en primavera adquiere su mayor amplitud sobre el centro de las islas Hawai.

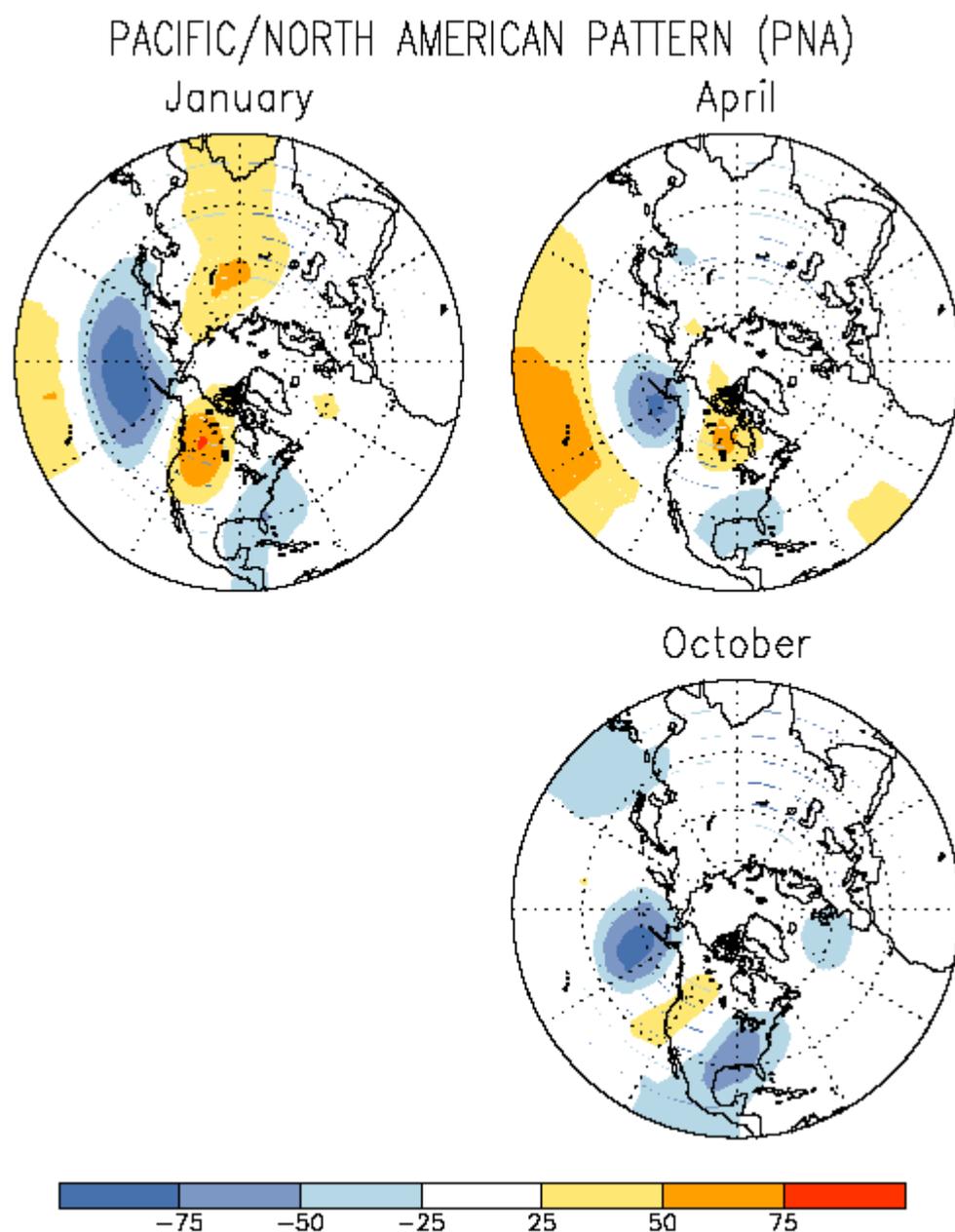


Figura 4.7. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del PNA. Fuente: National Center for Environmental Prediction. (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)

En otoño, en cambio, este último centro desaparece y el polo del Canadá central aparece muy desdibujado, predominando los dos centros de mismo signo situados sobre las Aleutianas y el sudeste de los Estados Unidos.

4.1.8 Patrón del Atlántico Este/Rusia Occidental

El patrón del Atlántico Este/Rusia Occidental (EA/WR)¹⁸ se distingue durante el invierno, la primavera y el otoño, desapareciendo durante los meses estivales, de junio a agosto. Durante los meses invernales el patrón EA/WR consiste en dos centros principales de anomalías, localizados sobre el Mar Caspio y sobre Europa Occidental. En la fase positiva éste último centro adquiere valores positivos de las anomalías de presión, mientras que el polo situado sobre el Mar Caspio muestra valores negativos (Figura 4.8). Un tercer centro de anomalías, de mismo signo que el situado sobre Rusia, aparece ante las costas portuguesas en primavera y más retirado en dirección oeste durante el otoño.

4.1.9 Patrón de Escandinavia

El patrón de Escandinavia (SCA)¹⁹ consiste en un centro primario de anomalías que abarca Escandinavia y grandes porciones del Océano Ártico y norte de Siberia, presente durante casi todo el año con excepción de dos meses, junio y julio. Dos difuminados centros adicionales de signo opuesto al anterior aparecen localizados sobre Europa Occidental y sobre Mongolia y el oeste de China. La fase positiva de este patrón se asocia con valores positivos de las anomalías sobre Escandinavia y valores negativos sobre los otros dos centros, mientras que para el territorio analizado se registran anomalías negativas de la presión (Figura 4.9).

¹⁸ Del inglés *East Atlantic/Western Russia*.

¹⁹ Del inglés *Scandinavia*.

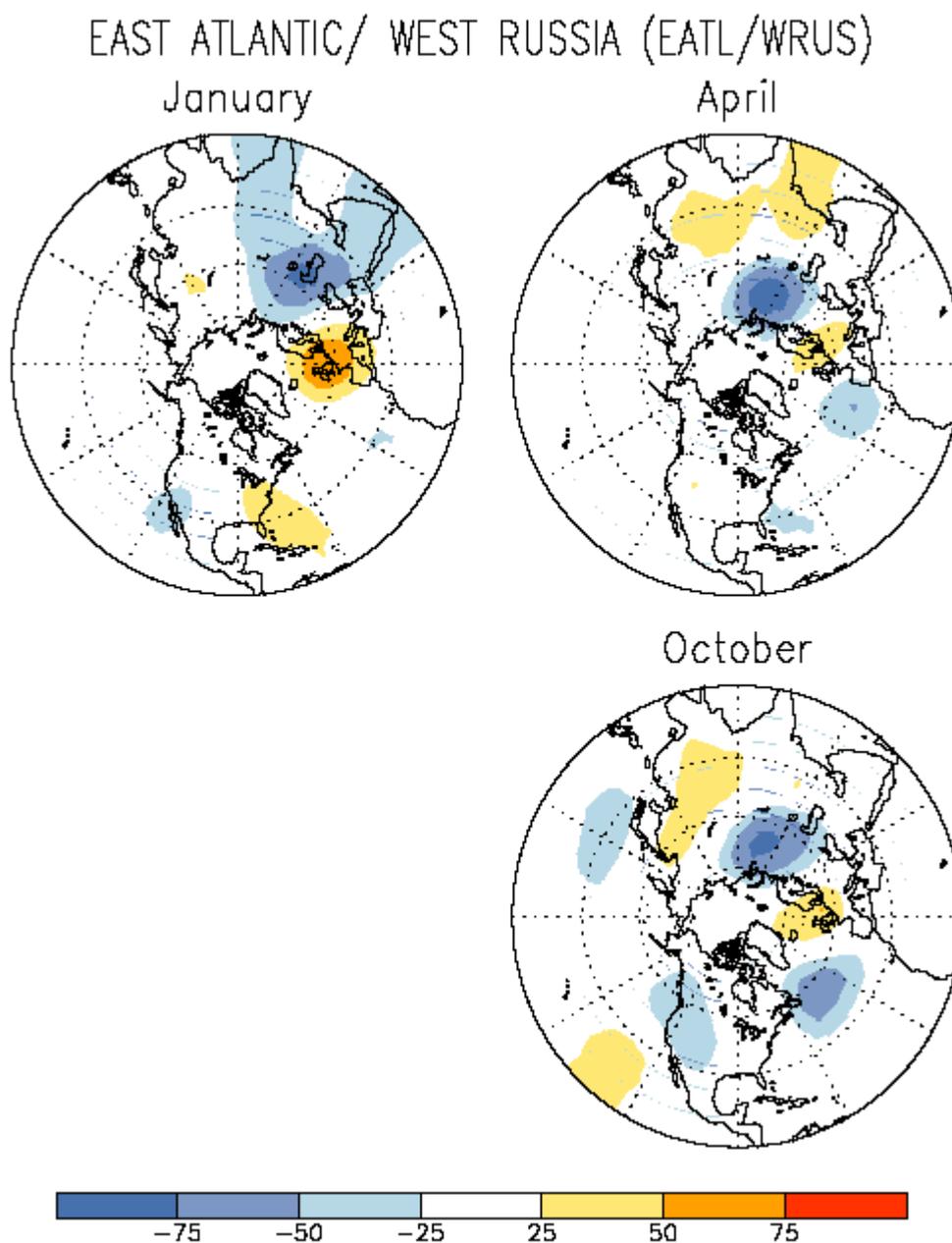


Figura 4.8. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del EA/WR. Fuente: National Center for Environmental Prediction. (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)

4.1.10 Patrón Polar/Euroasiático

El patrón Polar/Euroasiático (POL)²⁰ aparece únicamente durante el invierno, y es el principal modo de variabilidad de baja frecuencia durante los meses de diciembre y febrero de los identificados en el análisis del NCEP

²⁰ Del inglés *Polar/Euroasiático*.

de la altura de geopotencial de 700 mb. Consiste en un gran centro de anomalías sobre la región polar y dos centros de signo contrario localizados sobre Europa y noreste de China. La fase positiva corresponde a valores negativos de las anomalías en la región polar y valores positivos de las anomalías en los centros europeo y asiático (Figura 4.10).

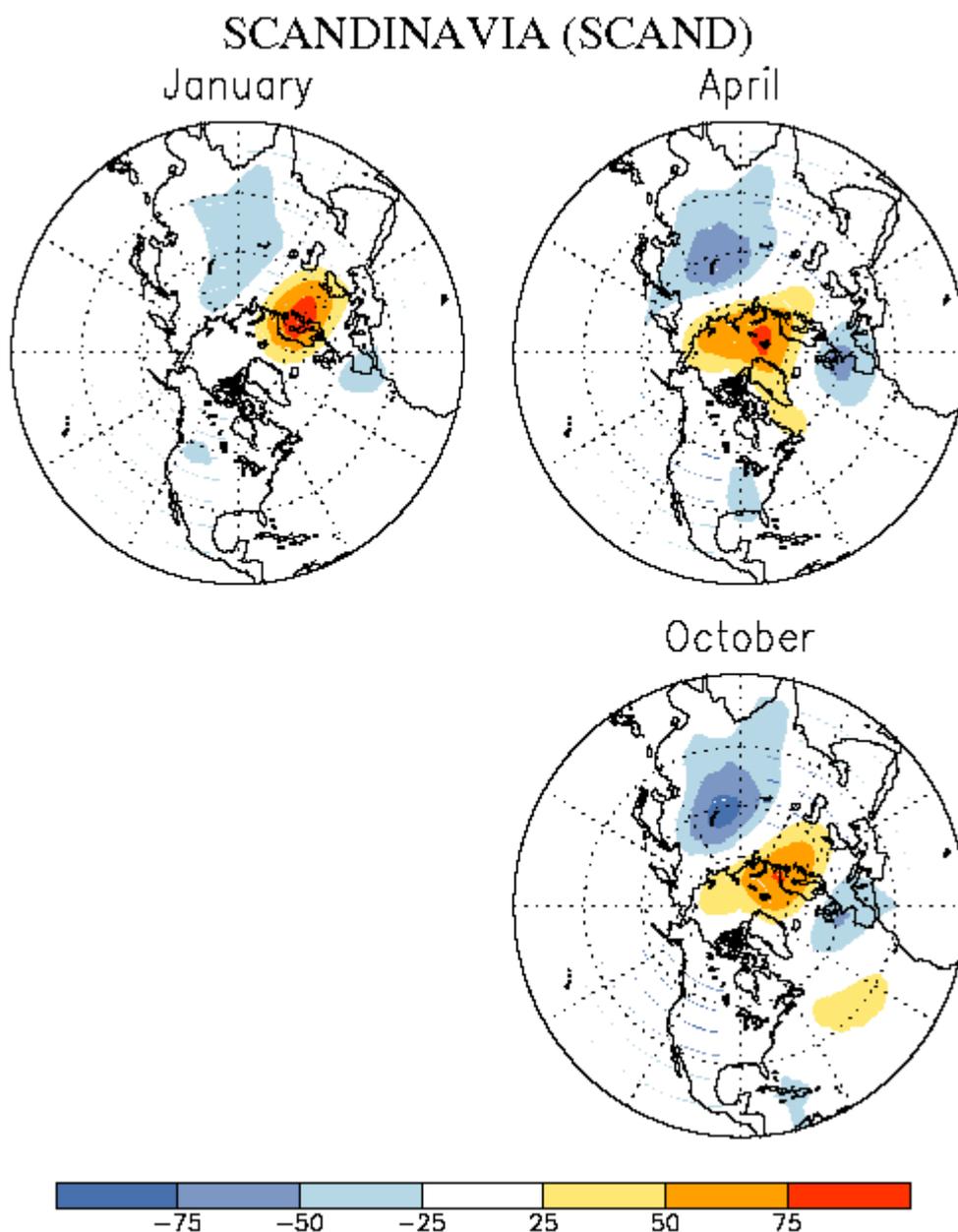


Figura 4.9. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del SCA.
 Fuente: National Center for Environmental Prediction. (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)

POLAR/ EURASIAN PATTERN
January

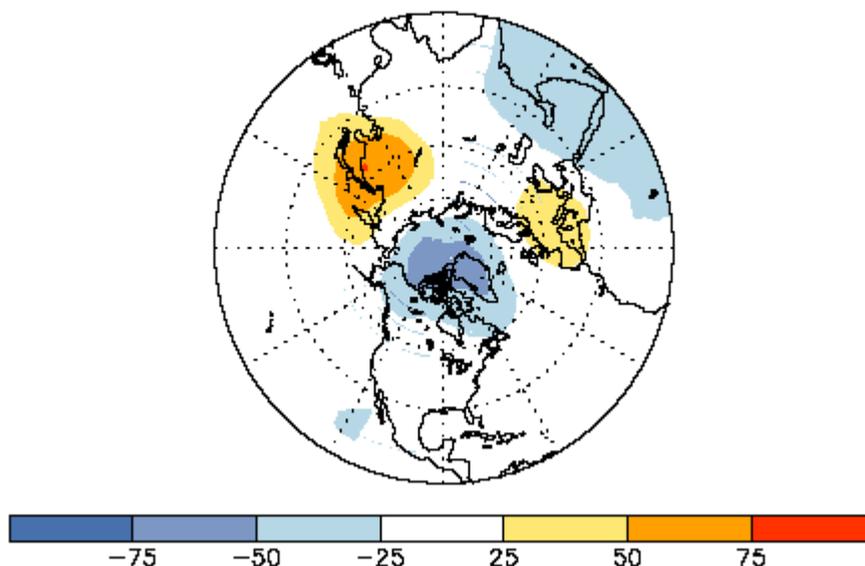


Figura 4.10. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del POL.
Fuente: National Center for Environmental Prediction. (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)

4.1.11 Patrón Tropical/Hemisferio Norte

El patrón Tropical/Hemisferio Norte (TNH)²¹ se distingue en tres meses del año, de noviembre a enero. Esta formado por un centro de anomalías situado sobre el Golfo de Alaska y otro centro de signo opuesto sobre la Bahía de Hudson. En Méjico y el extremo sudeste de los Estados Unidos se identifica un tercer centro de anomalías, de igual signo que el del Golfo de Alaska, pero con valores menores de las anomalías. Los valores del polo de anomalías situado sobre la Bahía de Hudson son negativos durante la fase positiva del patrón, mientras que los otros dos centros presentan valores positivos de las anomalías durante esta fase (Figura 4.11).

4.1.12 Patrón de Transición del Pacífico

Identificado durante los meses de mayo a agosto, el patrón de Transición del Pacífico (PT)²² consiste en un patrón alternado de centros de anomalías que

²¹ Del ingles *Tropical/Northern Hemisphere*.

²² Del ingles *Pacific Transition*.

se extiende desde los 110° W hasta los 140° E, alineados en torno a los 40° de latitud. Los centros de anomalías más robustos presentan el mismo signo, positivo en la fase positiva del patrón, y se localizan sobre el Pacífico Norte, la mitad oeste de los Estados Unidos y al oeste de Terranova (Figura 4.12). Centros de anomalías más débiles de signo opuesto aparecen sobre el este de Siberia, el Golfo de Alaska y el norte del Canadá.

4.1.13 Patrón Asiático de Verano

El patrón Asiático de Verano (ASU)²³ se distingue, como su nombre indica, durante los meses estivales: junio, julio y agosto. Representa un vasto centro de anomalías que se extiende por el sur del continente asiático y noreste del continente africano. Este patrón muestra en su fase positiva valores positivos de las anomalías en esa área, fase que se prolonga durante varios años consecutivos, seguida de una fase negativa de similar duración con signo inverso de los valores de anomalía (Figura 4.13).

TROPICAL/ NORTHERN HEMISPHERE PATTERN

January

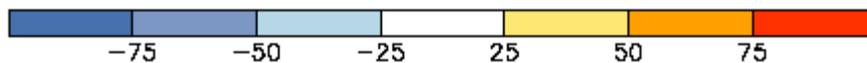
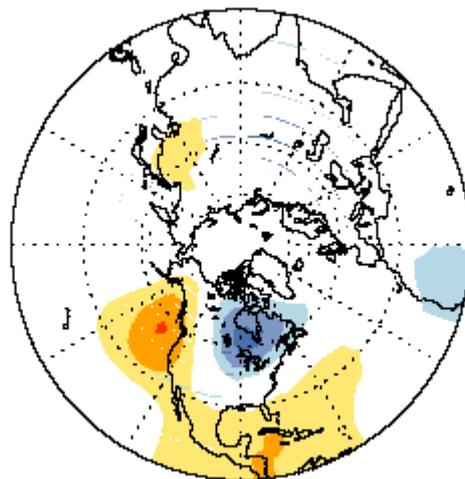


Figura 4.11. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del TNH. Fuente: National Center for Environmental Prediction. (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)

²³ Del inglés *Asian Summer*.

PACIFIC TRANSITION PATTERN

July

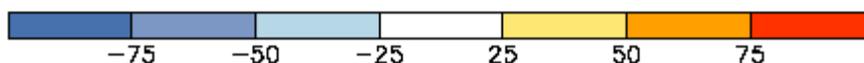
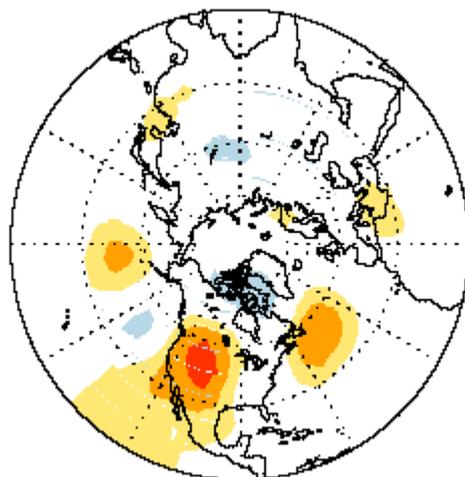


Figura 4.12. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del PT.
Fuente: National Center for Environmental Prediction. (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)

4.1.14 Patrón Zonal Subtropical

Se distingue hacia el final del verano, en los meses de agosto y septiembre, el patrón Zonal Subtropical (SZ)²⁴ como una extensa banda de centros de anomalías del mismo signo que aparece al sur de los 30° -35° N, preferentemente en tres regiones: el Pacífico; el Caribe y el Atlántico oeste; y el norte de África. Representa principalmente las condiciones del flujo zonal entre los 25° -35° N.

4.1.15 Oscilación Austral

El fenómeno conocido como El Niño-Oscilación Austral (ENOA) corresponde a un sistema de anomalías atmosféricas y oceánicas asociadas con grandes fluctuaciones en las corrientes oceánicas y en las temperaturas de superficie.

En condiciones normales, la circulación atmosférica en el Pacífico Ecuatorial obedece a la denominada circulación de Walker (Walker, 1924),

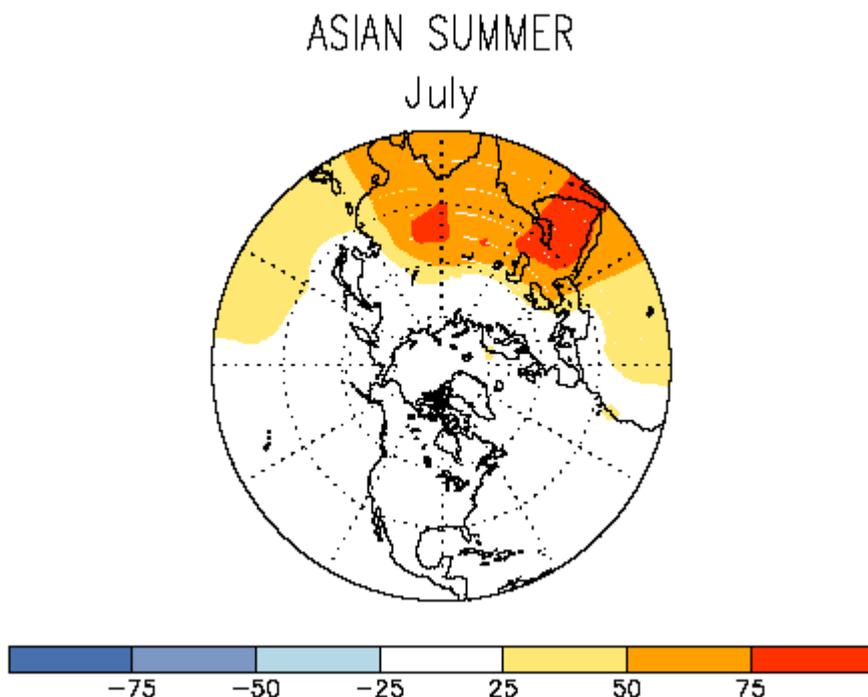


Figura 4.13. Distribución de los polos de anomalías de presión en la fase positiva del ASU. Fuente: National Center for Environmental Prediction. (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)

una célula de circulación atmosférica de este a oeste caracterizada por la ascendencia del aire sobre Indonesia y subsidencia sobre el Pacífico Oriental (Fig. 4.14), con la circulación de los vientos alisios en superficie de este a oeste y cerrándose la célula convectiva con el retorno de parte de este flujo hacia el este por la troposfera superior. El término Oscilación Austral se refiere a la variabilidad observada en esta circulación de Walker.

Situación normal

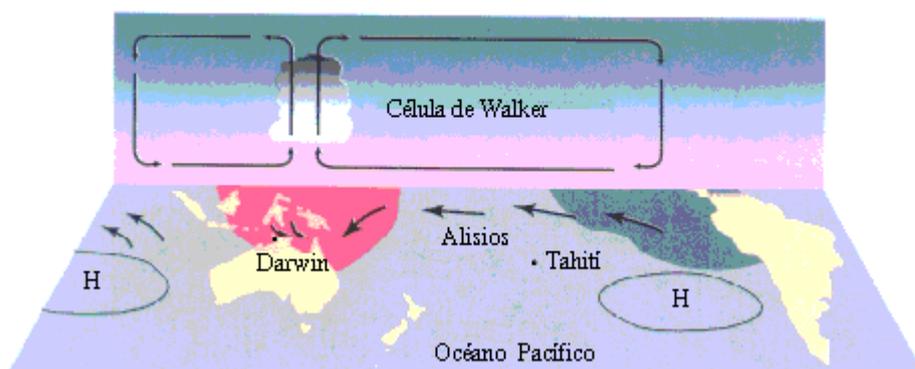


Figura 4.14. Esquema de la circulación de Walker en condiciones normales. Fuente: INM (<http://www.inm.es>)

²⁴ Del inglés *Subtropical Zonal*.

Cuando se produce un episodio Niño los alisios se debilitan y la zona convectiva del oeste del Pacífico empieza a trasladarse hacia el este y los vientos del oeste a extenderse hacia el Pacífico Tropical Central, produciéndose retroalimentaciones con las variaciones experimentadas por las aguas del océano hasta que se produce una inversión de la célula de Walker (Fig.4.15). Directamente estos episodios se relacionan con condiciones de sequía en la región del Pacífico Occidental y fuertes precipitaciones en Sudamérica. Estos cambios en la circulación atmosférica del Pacífico presentan numerosas teleconexiones que se relacionan con anomalías climáticas en gran parte del planeta.

En situaciones opuestas, durante los episodios conocidos como La Niña, El Viejo o el anti-El Niño, se produce un potente refuerzo de la circulación de Walker, con precipitaciones inusualmente altas en el área de Indonesia y Australia oriental.

Existen diversos índices utilizados para cuantificar la fuerza de los episodios de ENOA, aunque el más conocido y utilizado es el índice de la Oscilación Austral (SOI)²⁵, definido por Troup (1965). Se define como la diferencia de anomalías de presión entre Tahití y Darwin. La fase negativa del SOI representa anomalías negativas de presión en Tahití y anomalías positivas de presión en Darwin, típico de episodios de El Niño.

Situación de El Niño

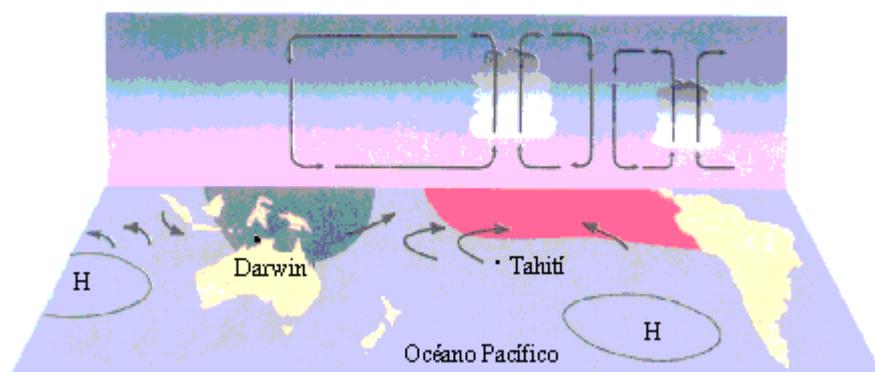


Figura 4.15. Esquema de la circulación de Walker en condiciones El Niño. Fuente: INM (<http://www.inm.es>)

²⁵ Del inglés *Southern Oscillation Index*.

La fase positiva del índice indica una intensificación de los alisios debido a un refuerzo de la circulación de la célula de Walker, que se corresponde con episodios de La Niña.

4.2 Relación estadística entre los patrones espaciales de la temperatura del aire en Cataluña y los índices teleconectivos analizados

La relación existente entre la evolución térmica de los diversos patrones espaciales catalanes y los patrones de circulación atmosférica de baja frecuencia se ha investigado mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Estos coeficientes se han evaluado entre la serie temporal mensual de cada componente y las series mensuales de los índices teleconectivos correspondientes al mismo mes y a los dos meses anteriores, con objeto de testar posibles desfases temporales entre las anomalías atmosféricas y su influencia sobre las temperaturas, especialmente para aquellas teleconexiones que definen centros de anomalías alejados del área de estudio. La existencia de modos acoplados de variabilidad entre los patrones atmosféricos y la temperatura con desfase tiene especial interés por el carácter predictivo que cobran los índices de dichos patrones teleconectivos. En los casos en que un modo de variabilidad atmosférica se relaciona de forma significativa con las temperaturas de uno o dos meses posteriores, la evolución del índice teleconectivo puede servir como elemento de prospectiva respecto a la evolución térmica.

En la Tabla 4.2 puede observarse que en conjunto se obtienen 1676 correlaciones, de las cuales 203²⁶ son significativas al 95 % y 81 de estas también son significativas al 99 %. Respecto a la distribución mensual de estas correlaciones, se obtiene que el porcentaje de correlaciones significativas en los dos umbrales es superior en los meses comprendidos entre octubre y abril, y menor entre mayo y septiembre con excepción del

²⁶ Ver Anexo ¿?

Tabla 4.2. Numero de componentes, número de índices teleconectivos y total de correlaciones obtenidas para cada mes. Se incluye el número de coeficientes de correlaciones significativos al 95 % y al 99%, y el porcentaje que representan respecto el total.

	Nº PCs Nº índices Total correlaciones			Nivel de significación del 95%		Nivel de significación del 99%	
				Nº correlaciones significativas	% de correlaciones significativas	Nº correlaciones significativas	% de correlaciones significativas
Enero	6	11	192	30	15.6	12	6.3
Febrero	2	10	64	10	15.6	7	10.9
Marzo	6	10	186	31	16.7	15	8.1
Abril	6	11	186	26	14.0	11	5.9
Mayo	2	11	64	1	1.6	0	0.0
Junio	4	9	124	10	8.1	3	2.4
Julio	6	9	174	15	8.6	4	2.3
Agosto	6	10	168	20	11.9	8	4.8
Septiembre	2	9	56	4	7.1	0	0.0
Octubre	2	9	56	8	14.3	3	5.4
Noviembre	7	10	196	25	12.8	8	4.1
Diciembre	7	11	210	23	11.0	10	4.8
Total	56	120	1676	203		81	

mes de agosto, que presenta un porcentaje de correlaciones significativas más elevado. En la Tabla 4.3 se indica el número de correlaciones obtenidas para los tres promedios de la temperatura con ambos niveles de significación.

Los cuatro modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia que presentan mayor número de correlaciones significativas con la temperatura están representados por cinco índices teleconectivos: el NAOJON, el NAO, el EA, el EA/WR y el EA-JET (Tabla 4.4). Con un nivel de significación del 95 % estos cinco índices agrupan entre el 36 % y el 47 % de los coeficientes, porcentaje que aumenta a entre el 55% y el 62% si tenemos en cuenta únicamente las correlaciones significativas al 99 %.

Tabla 4.3. Número de correlaciones obtenidas para los tres parámetros de la temperatura con niveles de significación del 95 % y el 99 %.

Nivel de significación	Total		Media		Máxima		Mínima	
	95%	99%	95%	99%	95%	99%	95%	99%
Nº de correlaciones	203	81	49	21	81	30	73	30

Tabla 4.4. Índices teleconectivos que presentan mayor número de correlaciones significativas con las series mensuales de los componentes de temperatura

	Significación al 95 %				Significación al 99 %			
	total	media	máxima	mínima	total	media	máxima	mínima
NAOJON	26	6	9	11	17	4	6	7
EA	18	5	7	6	9	2	4	3
EA/WR	18	6	6	6	12	3	6	3
NAO	14	3	5	6	4	2	1	2
EA-JET	11	3	4	4	7	2	3	2
%	41.4	46.9	36.0	44.0	58.3	59.1	62.5	54.8

Estos cinco índices junto con el EP, el PNA, el POL y el WP, presentan mayor número de correlaciones significativas al comparar los índices y las componentes del mismo mes, disminuyendo al realizar las correlaciones con los índices de uno y dos meses anteriores (Tabla 4.5). Un comportamiento opuesto muestran el NP, el PT y el SZ, con un mayor número de correlaciones significativas al comparar las series con un desfase de dos meses. El índice ASU y el TNH presentan el máximo número de correlaciones con un desfase de un mes entre la componente de temperatura y el índice teleconectivo. Los dos índices que restan, el SOI y el SCA, arrojan un número similar de correlaciones significativas al comparar con el mismo mes y con uno o dos meses de desfase.

4.2.1 Correlaciones con fases negativas y positivas de los índices teleconectivos

Con objeto de testar la existencia de disimetrías en la correlación con las fases positivas y las fases negativas de los índices teleconectivos se ha dividido cada una de las series mensuales de los índices en dos, una con los valores positivos y otra con los valores negativos. Cada una de estas series se ha correlacionado con los valores correspondientes de las componentes del mismo mes y con uno y dos meses de desfase, obteniéndose 1676

Tabla 4.5. Número de correlaciones significativas al 95 % que presentan los diferentes índices teleconectivos al correlacionarlos con los componentes del mismo mes, y con uno y dos meses de desfase. El desfase entre el mes al que corresponde el índice y el mes al que corresponde el componente se indica por el sufijo -1 o -2 añadido al acrónimo del índice, indicando respectivamente que el índice teleconectivo corresponde a uno o dos meses anteriores al componente de temperatura.

	total	media	máxima	mínima		total	media	máxima	mínima
ASU	1	0	0	1	PNA	2	1	0	1
ASU-1	4	1	1	2	PNA-1	1	0	1	0
ASU-2	1	0	1	0	PNA-2	1	1	0	0
EA/WR	16	6	6	4	POL	6	2	2	2
EA/WR-1	5	1	2	2	POL-1	2	0	2	0
EA/WR-2	3	1	1	1	POL-2	0	0	0	0
EA	18	5	7	6	PT	0	0	0	0
EA-1	4	0	4	0	PT-1	1	0	0	1
EA-2	2	0	2	0	PT-2	2	0	1	1
EA-JET	11	3	4	4	SCA	8	1	3	4
EA-JET-1	5	2	1	2	SCA-1	7	2	4	1
EA-JET-2	1	0	0	1	SCA-2	7	1	3	3
EP	7	2	0	5	SOI	3	1	1	1
EP-1	0	0	0	0	SOI-1	3	0	2	1
EP-2	2	1	1	0	SOI-2	3	1	1	1
NAO	14	3	5	6	SZ	0	0	0	0
NAO-1	5	1	3	1	SZ-1	1	0	0	1
NAO-2	4	1	1	2	SZ-2	1	0	0	1
NAOJON	26	6	9	11	TNH	3	1	1	1
NAOJON-1	8	2	4	2	TNH-1	3	1	1	1
NAOJON-2	2	0	2	0	TNH-2	0	0	0	0
NP	0	0	0	0	WP	4	1	2	1
NP-1	1	0	0	1	WP-1	1	0	1	0
NP-2	3	1	1	1	WP-2	1	0	1	0

correlaciones con los valores positivos de los índices y 1676 correlaciones con los valores negativos.

El número de coeficientes de correlación significativos al 95 % es de 94 (Tabla 4.6), 30 de ellos significativos también al 99 %, para las series con valores positivos de los índices. Los valores negativos presentan 111 correlaciones significativas al 95 %, 24 de ellas también significativas al 99 %.

Los índices que presentan mayor número de correlaciones tanto para los valores positivos como para los valores negativos son el EA, el EA/WR, el SOI-2 y el NAOJON (Tabla 4.7). En las series con valores positivos destacan también el EP, el SCA-2 y el NAOJON-2. Respecto las series con

Tabla 4.6. Número de correlaciones significativas obtenidas para los tres parámetros de la temperatura con los valores positivos y negativos de los índices teleconectivos, para los niveles de significación del 95 % y el 99 %.

Nivel de significación	Total		Media		Máxima		Mínima	
	95%	99%	95%	99%	95%	99%	95%	99%
Con los v. negativos	111	24	26	6	41	8	44	10
Con los v. positivos	94	30	27	6	41	14	26	10

valores negativos, otros índices que tienen un número alto de correlaciones son el SOI-1, el WP-2 y el SCA.

Igual que sucedía en las correlaciones entre las series completas, el EA, el EA/WR y el NAOJON son los índices que mayor número de coeficientes significativos presentan, aunque cobran importancia también las correlaciones con desfase.

4.2.2 La influencia de los modos de variabilidad de baja frecuencia sobre la temperatura del aire en Cataluña

En los siguientes apartados se examinan las correlaciones significativas halladas entre los índices de los diferentes patrones teleconectivos y los componentes integrados en los cuatro patrones espaciales de temperatura diferenciados para la región catalana. En la descripción de las correlaciones

Tabla 4.7. Índices teleconectivos cuyas series mensuales de valores positivos y negativos presentan mayor número de correlaciones significativas (al 95%) con las series mensuales de los componentes de temperatura.

	Valores negativos				Valores positivos				
	total	media	máxima	mínima	total	media	máxima	mínima	
EA/WR	8	3	2	3	NAOJON	9	1	4	4
SOI-1	7	2	3	2	EA	6	2	2	2
WP-2	7	2	2	3	EP	6	2	2	2
SOI-2	7	2	3	2	EA/WR	5	2	3	0
EA	6	2	2	2	SCA-2	5	2	2	1
SCA	6	1	2	3	NAOJON-2	5	1	2	2
					SOI-2	5	3	2	0

se ha optado por utilizar el término “baja” para coeficientes inferiores a 0.40, “media” para coeficientes entre 0.40 y 0.60, y “alta” para coeficientes superiores a 0.60. En la Tabla 4.8 se indican los índices teleconectivos que muestran mejor correlación con los diferentes patrones espaciales en cada uno de los meses. Se han incluido únicamente aquellos índices que presentan correlaciones significativas con todas las componentes del patrón espacial.

4.2.2.1 Correlaciones entre los patrones térmicos catalanes y la Oscilación del Atlántico Norte.

De los dos índices utilizados para evaluar las correlaciones entre la Oscilación del Atlántico Norte y los patrones térmicos, el índice NAOJON del CRU arroja prácticamente el doble de coeficientes significativos que el índice NAO del NCEP. Además, las correlaciones del primero aparecen agrupadas de forma más consistente por meses y por patrones térmicos. Estos resultados contribuyen a reforzar la mayor bondad del índice NAOJON cuando se analizan los mecanismos de variabilidad climática en la Península Ibérica, apuntada por otros autores en estudios realizados en la cuenca del Duero, comparando este índice con el índice de Gutzler (Manso y Caramelo, 2001)

El índice NAOJON muestra la mayoría de las correlaciones significativas entre los meses de noviembre y marzo. Durante los meses de enero a marzo presenta coeficientes significativos, de tipo medio en su mayoría, con todos los patrones de temperatura. En noviembre y diciembre el mayor número de correlaciones significativas aparecen con los componentes del patrón de Montaña, y en menor medida con el patrón Litoral y los componentes del promedio de temperatura mínima del patrón de Depresión Occidental. El resto de los meses únicamente aparecen algunas correlaciones aisladas de tipo bajo. Los coeficientes de correlación son positivos con casi todos los patrones, exceptuando los obtenidos con el patrón de Depresión Occidental, que presentan carácter negativo.

objetivos que presentan mejor correlación con los diferentes patrones espaciales en cada uno de los meses. Se han incluido los patrones que presentan correlaciones significativas con todos los componentes del patrón espacial. En cursiva aquellos cuyos coeficientes son negativos.

Patrones	Montaña	Dep. Occidental	Noroccidental	TODOS
CA-1, SCA-2 CA VP, SCA	EA, SCA-1, TNH-1, POL SCA, TNH EA, NAOJON	EA/WR, POL SOIJON-1, TNH-2, SOIJON-2 EP, POL		NAOJON
EA/WR, WP-1, SCA-1 EA, NAOJON, EA-1 EA/WR			SCA, POL WP	EA, NAOJON EA, NAOJON
	NAOJON, NAO, EA/WR, SOIJON, NAO-2 EA-1	EP NAO	EA/WR, NAO-2, NAOJON	EA
EA/WR-1, SCA-2	EP EA/WR		EA/WR, EA-1 NAOJON-1 EA/WR, NP-1	
CA, NP-1, EA-2 IAO, NP-1, NAOJON-2			NAOJON NAO, WP, PNA-1 PT, NP-2 EA-JET	
EA-JET, EA-JET-1 EA-JET EA-JET-1			WP-2	
ASU-1 VP-2 EA-JET-2			EA-JET	
EA, ASU-2 CA-1, SZ-1			NAOJON, NAO-1 NAOJON, EA, SOIJON-2 SOIJON-2	
CA, NAOJON VP-2, NAOJON-2 IAO-1		PNA, SZ-1, SOIJON-2, SOIJON-1 PNA-1, EA-JET-2 EP		
EA, NAOJON, TNH Z-2, SOIJON-1, SOIJON-2, VP-1 VP-2	EA/WR TNH, SZ-2 SCA-2, SZ-2	WP, SCA		
EA, EA-2, EA/WR-2, SOIJON-2 NA, EA/WR-2 IAOJON	EA/WR EA/WR	EA/WR SOIJON-2		

La fase positiva de este índice implica anomalías positivas de presión sobre el territorio, que se traducen en una mayor insolación y un incremento en la temperatura máxima, con excepción del sector definido por el patrón de Depresión Occidental, que experimenta bajo estas condiciones frecuentes fenómenos de inversión térmica que determinan la existencia de coeficientes negativos de correlación. La fase negativa implica por su parte un desplazamiento hacia latitudes meridionales de las perturbaciones atlánticas, aumentando la inestabilidad y nubosidad, con descenso de las temperaturas máximas y desaparición de las inversiones térmicas.

Estas relaciones entre las temperaturas invernales y la Oscilación del Atlántico Norte aparecen también en diversas partes de la Península Ibérica. En la Meseta Sur Rasilla *et al.*, (1999) identifican relaciones positivas entre los componentes de temperatura máxima y mínima y el índice NAO, con excepción de los sectores afectados por inversiones térmicas, en los que la relación es negativa. En la área de la cuenca del Segura, Horcas *et al.*, (2000) relacionan también un patrón de anomalías de la temperatura máxima negativo con situaciones de NAO negativa.

Por su parte, el índice NAO del NCEP muestra más relación con las temperaturas catalanas entre los meses de marzo y octubre. En marzo los patrones de Montaña y Noroccidental muestran correlación positiva con el índice NAO de enero, es decir, con un desfase de dos meses. Entre mayo y agosto aparecen correlaciones dispersas con el patrón Litoral, y en septiembre y octubre se detectan correlaciones entre los dos patrones estivales, Litoral y Noroccidental, y el índice NAO con un mes de desfase. Durante estos meses el índice representa una situación en que el centro de anomalías meridional se traslada de su situación en el Atlántico Central hasta ubicarse sobre el continente europeo, implicando en su fase positiva un incremento en las advecciones de Levante.

4.2.2.2 Correlaciones entre los patrones térmicos catalanes y el patrón del Atlántico Este.

El índice EA presenta correlación con el patrón Litoral en casi todas sus series mensuales, entre septiembre y abril, excepto en octubre y enero. Son coeficientes de tipo medio o alto, presentando en febrero la correlación más alta entre las series mensuales de un índice y un componente de temperatura, de magnitud 0.70.

En febrero y marzo este índice muestra correlaciones significativas con todos los componentes de temperatura de los tres patrones térmicos diferenciados esos meses (Litoral, de Montaña y de Depresión Occidental), constituyendo junto con la Oscilación del Atlántico Norte los modos de variabilidad de baja frecuencia que tienen más incidencia estos dos meses sobre el conjunto de las temperaturas catalanas.

En noviembre y diciembre el índice exhibe coeficientes significativos con los componentes de temperatura mínima del patrón de Montaña, relación que se extiende a los componentes de los promedios de temperatura máxima y media en los meses de enero a marzo.

Todos los coeficientes de correlación entre el índice EA y los componentes de temperatura son positivos, y en general representan correlaciones de tipo medio.

Al examinar las correlaciones con las series de valores positivos y negativos del índice se observa que la mayor parte de los coeficientes significativos se establecen con las series de valores positivos del EA, mientras que aparecen menos y con coeficientes más bajos con los negativos.

La fase positiva del EA implica un refuerzo de la circulación del Oeste, que se traduce sobre el territorio en advecciones de masas de aire relativamente cálidas y un incremento en la nubosidad que impide un descenso de las temperaturas mínimas nocturnas.

En situaciones de fase negativa del índice la posición de las anomalías positivas en el polo septentrional del patrón atmosférico origina un incremento en los flujos de componente norte o noroeste, con advecciones de

masas de aire frío del Atlántico Norte que se reflejan en un descenso en los valores térmicos.

Relaciones positivas similares a las detectadas en este análisis se describen por otros autores para las relaciones entre la temperatura y el patrón del Atlántico Este en la Meseta y en el norte de la Península (Rasilla *et al.*, 1999; Sáenz *et al.*, 1999).

4.2.2.3 Correlaciones entre los patrones térmicos catalanes y el patrón del Atlántico Este-Jet.

EL EA-Jet constituye el principal modo de variabilidad de baja frecuencia que mayor número de correlaciones presenta con las temperaturas catalanas en los meses centrales del año. Durante los meses en que se distingue este patrón, entre abril y agosto, los valores positivos y negativos de este índice indican una mayor o menor cobertura del área de estudio por parte de las altas presiones subtropicales.

Los componentes del patrón Litoral muestran coeficientes positivos del orden de 0.30-0.40 en julio con los índices EA-JET y EA-JET-1, correlaciones que se repiten con los valores negativos del EA-JET, de tipo medio o alto, y con los valores positivos del EA-JET-1, de tipo medio. Los componentes del mes de agosto exhiben coeficientes bajos con el EA-JET-1, mientras que presentan correlaciones medias con la serie de valores positivos del EA-JET-2. En resumen, los componentes de temperatura del patrón Litoral en julio y agosto se relacionan principalmente con el EA-JET de julio y con las fases positivas del EA-JET de junio, que indican anomalías positivas de presión sobre el Mediterráneo Occidental. Este desfase entre el índice y las temperaturas en sectores cercanos a la costa puede deberse a que un predominio de altas presiones en el inicio de la estación estival implique un aumento más temprano de la temperatura superficial marina que contribuya en los meses siguientes a un incremento en los valores térmicos de estos sectores.

El índice EA-JET se relaciona también con los componentes del patrón Noroccidental en los meses de junio y agosto, sin desfases en este caso y con

coeficientes positivos medios o altos, indicando que las temperaturas en este sector se relacionan de forma directa con una mayor o menor persistencia e intensidad en la región de las altas presiones subtropicales.

Existe también una correlación alta, de coeficiente igual a 0.67, entre el componente del patrón de Depresión Occidental de octubre y los valores negativos del EA-JET de agosto, que indica que las situaciones de anomalías negativas de presión en la región durante el mes de agosto se relacionan con anomalías positivas de la temperatura mínima en octubre, en el área definida por este patrón.

4.2.2.4 Correlaciones entre los patrones térmicos catalanes y el patrón del Atlántico Este / Rusia Occidental.

Las correlaciones entre el EA/WR y los componentes de los patrones de temperatura pueden dividirse en dos grupos. Uno de ellos afecta mayoritariamente a los componentes del patrón de Montaña durante los meses de noviembre y diciembre, registrándose coeficientes positivos de tipo medio en todas ellas. También durante el mes de diciembre se destacan correlaciones con algunos componentes del patrón de Depresión Occidental, de signo negativo y con valores más reducidos, que se extiende hasta enero, con coeficientes negativos de tipo medio.

En estos meses el patrón del Atlántico Este / Rusia Occidental configura un polo de anomalías de presión centrado en las Islas Británicas que se extiende hasta la mitad norte de la Península Ibérica. Durante las fases positivas este centro presenta anomalías positivas que cubren la zona de estudio. Este tipo de situación suele ir asociado a advecciones de masas de aire frío de carácter continental (Albentosa, 1973), aunque la correlación con las temperaturas, positiva en las zonas topográficamente elevadas y negativa en los sectores deprimidos, parece indicar que prima el carácter anticiclónico, con insolación en los sectores elevados e inversión térmica en las áreas deprimidas. La fase negativa, que se traduce en preeminencia de advecciones de masa de aire relativamente caliente del W o NW, incrementa los valores térmicos en las depresiones al impedir los fenómenos de

inversión. El aumento de nubosidad que suele ir ligado a este tipo de advecciones impide un fuerte descenso de las temperaturas mínimas nocturnas, pero también disminuye la insolación, provocando anomalías negativas de temperatura en los sectores elevados.

El segundo grupo de correlaciones con el EA/WR aparece en los meses de marzo y abril. En marzo se producen correlaciones positivas con los componentes de los patrones de Montaña y Noroccidental, mientras que en abril ambos patrones muestran correlación negativa con los valores negativos del índice, de tipo medio para el primer patrón y alta, valores de -0.70 y -0.63, para el segundo.

En estos meses el centro de anomalías se desplaza de las islas británicas al mar Báltico y aparece muy debilitado, mientras se establece otro polo de signo contrario frente a la costa atlántica de la Península Ibérica. Esta nueva configuración supone un incremento en las situaciones del sudoeste durante las fases positivas y de advecciones de componente norte en las fases negativas, consistente con las correlaciones positivas de la temperatura de marzo. No parece tan clara la intensa relación inversa entre los valores negativos del índice y los valores de temperatura en el mes de abril.

4.2.2.5 Correlaciones entre los patrones térmicos catalanes y el patrón de Escandinavia.

El patrón de Escandinavia presenta en general correlaciones negativas con los componentes de temperatura. En octubre se observa una correlación baja con el patrón Litoral, mientras que en noviembre se registran las únicas correlaciones positivas de este índice con componentes de temperatura del mismo mes, los del patrón de Depresión Occidental.

En enero aparecen correlaciones medias negativas entre los valores negativos del SCA y los patrones Litoral y de Montaña, mientras que en febrero los coeficientes significativos se presentan con los componentes del patrón Noroccidental.

El centro de anomalías de presión de este patrón que engloba la área de estudio muestra anomalías negativas durante las fases positivas, que explican

el carácter negativo de las correlaciones con los diversos patrones y los coeficientes negativos con el patrón de Depresión Occidental, que en estas condiciones no presenta inversiones térmicas. Las fases negativas se asocian a condiciones inversas, con mayor insolación y formación de inversiones térmicas en las depresiones.

Un número importante de coeficientes significativos, algunos de carácter positivo y otros negativos, aparecen asociados a correlaciones con un desfase de uno o dos meses. El patrón Litoral muestra coeficientes significativos con el SCA-1 en enero y febrero, con signos opuestos, y con el SCA-2 en enero y marzo, de carácter negativo. Aparecen también correlaciones desfasadas con el patrón de Montaña en enero, negativas, y coeficientes medios positivos entre los componentes de noviembre de este patrón y los valores positivos de SCA-2.

Aparte de la influencia que las anomalías de presión en los centros de este patrón tienen sobre las temperaturas catalanas durante el mismo mes, parece existir una inercia asociada a este patrón que afecta a las temperaturas en el noreste peninsular.

4.2.2.6 Correlaciones entre los patrones térmicos catalanes y el patrón Polar/Euroasiático.

El índice POL presenta correlación con casi todos los componentes de temperatura del mes de enero, con excepción del componente del patrón Litoral. Las correlaciones son similares a las que presenta el NAOJON, positivas con los componentes del patrón de Montaña y negativas con los del patrón de Depresión Occidental. Al igual que la Oscilación del Atlántico Norte, el patrón Polar/Euroasiático define anomalías positivas de presión sobre la región en su fase positiva y anomalías negativas en su fase negativa.

Aparte de las correlaciones halladas en mes de enero, el resto de los meses únicamente aparece relación con el componente del patrón Noroccidental de febrero, positiva y de magnitud baja.

Constituye pues, un patrón con fuerte incidencia en las temperaturas del mes de enero, influencia que desaparece el resto del año.

4.2.2.7 Correlaciones con el patrón del Pacífico Oeste.

Las series mensuales del WP presentan pocas correlaciones con los componentes de la temperatura. Se observan correlaciones bajas y negativas con los componentes del patrón de Depresión Occidental de noviembre, y coeficientes medios positivos entre el WP-1 y el componente del patrón Litoral de febrero.

Sin embargo, al examinar las relaciones entre los componentes térmicos y las series de valores positivos y negativos del índice, las correlaciones significativas se incrementan considerablemente. Los componentes del patrón Litoral muestran correlación media negativa con los valores positivos del WP en febrero y con los valores negativos del WP-2 en agosto y octubre.

En cuanto a las componentes del patrón Noroccidental, aparecen coeficientes medios positivos con los valores positivos del WP de febrero, mientras que la correlación con los valores negativos del índice arroja los coeficientes más elevados encontrados en este estudio. En el mes de mayo los coeficientes entre la serie de valores negativos del WP y el patrón Noroccidental alcanzan el valor de 0.75, mientras que en julio los valores negativos del WP-2 arrojan coeficientes algo más bajos y de carácter negativo, en torno a -0.70 .

El patrón del Pacífico Oeste, pese a ser un modo de variabilidad centrado en el continente asiático y el Océano Pacífico, presenta notables conexiones con las temperaturas del noreste peninsular en los meses centrales del año, especialmente los valores negativos del índice de este patrón con un desfase de dos meses respecto las series de las componentes de temperatura.

4.2.2.8 Correlaciones entre los patrones térmicos catalanes y el patrón del Pacífico Este.

El patrón del Pacífico Este tiene una relación menor que el anterior con las temperaturas catalanas, aunque se descubren correlaciones significativas en algunos meses, generalmente sin desfase.

Con los componentes del patrón de Depresión Occidental se encuentran coeficientes negativos en enero y marzo. En abril aparece relación con los

patrones Litoral y de Montaña, ambos con coeficientes bajos y negativos. Los valores negativos del índice se relacionan en julio con los componentes del patrón Litoral, con coeficientes positivos de tipo medio.

4.2.2.9 Correlaciones entre los patrones térmicos catalanes y el patrón del Pacífico Norte.

Las series mensuales del índice NP presentan únicamente tres coeficientes significativos con los componentes de los patrones térmicos, los tres con un desfase de dos meses (NP-2) y localizadas en componentes del mes de julio del patrón Litoral y Noroccidental. Entre abril y julio aparecen algunas correlaciones de tipo medio con las series mensuales de valores positivos y negativos del índice, casi todas con un desfase de uno o dos meses. Estas correlaciones parecen indicar una conexión, aunque débil, entre las condiciones atmosféricas primaverales en el Pacífico Norte y las temperaturas de la primera mitad del verano en Cataluña.

4.2.2.10 Correlaciones entre los patrones térmicos catalanes y el patrón Pacífico/Norte América.

El índice PNA muestra muy pocas correlaciones significativas con los componentes de temperatura catalanes, de forma que puede considerarse que el patrón Pacífico/Norte América prácticamente no presenta influencia sobre la evolución térmica en Cataluña. La única relación que podría destacarse es entre el índice PNA y el patrón de depresión Occidental de octubre, con un coeficiente positivo de tipo medio, a la vez que la serie de valores negativos del PNA-1 también muestra para este componente un coeficiente de -0.64 .

4.2.2.11 Correlaciones entre los patrones térmicos catalanes y con el patrón Tropical/Hemisferio Norte.

La principal relación entre el TNH y las temperaturas catalanas se establece entre los valores negativos del índice y los componentes del patrón de Montaña de noviembre y enero, con coeficientes medios negativos. En enero

aparecen también coeficientes negativos entre los componentes del mismo patrón y el TNH-1.

No aparecen correlaciones significativas con ningún otro patrón térmico, excepto, también en enero, entre la serie de valores negativos del TNH-2 y las componentes del patrón de Depresión Occidental.

4.2.2.12 Correlaciones entre los patrones térmicos catalanes y con el patrón de Transición del Pacífico.

El índice PT presenta un número muy reducido y disperso de correlaciones significativas con las series de los componentes de temperatura, por lo que no parece existir relación entre los patrones térmicos catalanes y el patrón de Transición del Pacífico.

4.2.2.13 Correlaciones entre los patrones térmicos catalanes y el patrón Asiático de Verano.

Las condiciones de anomalías de presión durante el mes de julio en el suroeste del continente asiático y noreste del continente africano representadas por este patrón parecen ejercer influencia sobre las condiciones térmicas del litoral catalán en los meses de agosto y septiembre. En ambos meses, los componentes del patrón Litoral muestran coeficientes bajos positivos con el índice ASU-1 y ASU-2 respectivamente.

4.2.2.14 Correlaciones entre los patrones térmicos catalanes y el patrón Zonal Subtropical.

La mayor parte de las correlaciones significativas con este patrón se localizan con los componentes del mes de noviembre. Los tres patrones que se distinguen este mes, Litoral, de Depresión Occidental y de Montaña, presentan coeficientes medios con los valores positivos y/o negativos del índice SZ-2, de tipo negativo con los valores negativos y coeficientes positivos con las series de valores positivos.

Se detecta también correlación entre el SZ-1 y el patrón de Depresión Occidental de octubre, de tipo media y negativa.

Estos coeficientes parecen indicar una cierta relación entre las condiciones de presión por debajo de los 30-35° durante el mes de septiembre y las condiciones térmicas en Cataluña en los dos meses siguientes, especialmente en noviembre.

4.2.2.15 Correlaciones entre los patrones térmicos catalanes y la Oscilación Austral.

El patrón de Depresión Occidental es el que presenta un mayor número de correlaciones significativas con el índice SOI entre octubre y enero, siempre con uno o dos meses de desfase.

En octubre las correlaciones con el SOI-1 y SOI-2 son bajas y negativas. Diciembre y enero correlacionan respectivamente con la serie de valores positivos del SOI-2, con coeficientes negativos altos y medios, y con las series de valores negativos del SOI-1 y SOI-2 con coeficientes bajos positivos.

El resto de las correlaciones significativas con las series del SOI son escasas y dispersas.

4.3 El ciclo anual de los modos acoplados de variabilidad térmica en Cataluña

De los resultados obtenidos en el apartado anterior se desprende la existencia de diferencias a lo largo del año en la relación entre los modos de variabilidad atmosférica examinados y la temperatura del aire en Cataluña. Los patrones atmosféricos no mantienen una correlación homogénea con la temperatura, de forma que los índices teleconectivos presentan correlaciones significativas con los parámetros térmicos del conjunto o parte del territorio en algunos meses, mientras que el resto del año esta relación desaparece.

Entre los meses de septiembre y mayo existe un conjunto de patrones teleconectivos que presentan una relación estrecha y directa con todos o algunos de los patrones de temperatura en Cataluña.

La Oscilación del Atlántico Norte constituye el modo de variabilidad de baja frecuencia que mayor relación presenta con el conjunto de los patrones

térmicos catalanes diferenciados entre septiembre y mayo. De los dos índices utilizados para estimar esta relación, el NAOJON se revela como el que mejor correlación y mayor coherencia presenta. La influencia de este patrón teleconectivo aparece de septiembre a mayo y alcanza su mayor importancia entre enero y marzo. En estos últimos meses aparecen también relaciones de similar magnitud con el patrón del Atlántico Este y, especialmente en enero, con el patrón Polar/Euroasiático.

Asimismo, el patrón del Atlántico Este/Rusia Occidental comparte protagonismo con la Oscilación del Atlántico Norte durante los meses de noviembre a enero, relacionado sobretudo con el patrón de Montaña y el patrón de Depresión Occidental.

Estos patrones teleconectivos presentan todas correlaciones del mismo signo con los diferentes patrones térmicos catalanes, sin desfase entre los índices y las temperaturas. Esto se debe a que todos ellos muestran como característica común un centro de anomalías de presión sobre el territorio, positivo en las fases positivas y negativo en las fases negativas.

Junto a ellos puede destacarse también el patrón de Escandinavia, que durante este periodo presenta relación con diferentes patrones térmicos. En este caso, como el índice muestra un centro de anomalías sobre la Península Ibérica de signo opuesto a los anteriores, los coeficientes de correlación son de signo contrario a los determinados para los patrones anteriormente citados. Otra diferencia entre este patrón y los anteriores consiste en la importante presencia de correlaciones con desfase que manifiesta el patrón de Escandinavia.

Otros patrones atmosféricos para los que se ha estimado una relación estadística significativa durante esta época del año, presentan una menor incidencia intranual y aparecen relacionados con un único patrón térmico de forma prioritaria. Sería en primer lugar el caso del patrón Tropical/Hemisferio Norte, especialmente sus fases negativas, el cual se asocia con el patrón de Montaña, y en segundo lugar, el índice de la Oscilación Austral, relacionada con un desfase normalmente de dos meses con el patrón de Depresión Occidental.

Durante los meses estivales y de transición, entre abril y octubre, el modo de variabilidad que mayor influencia muestra sobre las temperaturas catalanas de junio a agosto es el patrón del Atlántico Este-Jet, relación que se establece durante el mismo mes o con un mes de desfase. Durante esta época del año es también cuando se han estimado relaciones significativas con modos de variabilidad característicos del Océano Pacífico y el continente asiático. Es el caso del patrón del Pacífico Oeste, cuyas fases negativas muestran correlaciones altas, con dos meses de desfase, con la evolución del patrón Noroccidental en julio y con la de patrón Litoral en agosto y octubre. También, aunque en menor grado, aparece relación estadística entre el patrón del Pacífico Norte y el patrón Noroccidental durante los meses de abril y mayo.

Otros dos índices que igualmente presentan relación durante esta época del año son el patrón Asiático de Verano y el patrón Subtropical Zonal. En el caso del patrón Asiático de Verano aparecen correlaciones entre el índice del mes de julio y las temperaturas del litoral catalán de agosto y septiembre. El patrón Subtropical Zonal, que existe entre agosto y septiembre, se relaciona con las temperaturas otoñales, de septiembre a noviembre, con uno o dos meses de desfase.

Existe pues una diferencia notable entre los modos de variabilidad que se relacionan con las temperaturas durante los meses fríos y los que afectan a las mismas durante los meses cálidos. En los primeros domina la influencia de patrones teleconectivos centrados en el Atlántico Norte y el continente europeo, relación que se establece mayoritariamente sin retraso entre las condiciones atmosféricas y las temperaturas en el noreste peninsular. Se trata de la época del año en la cual la circulación zonal cobra mayor intensidad, siendo frecuente la entrada de masas de aire procedentes del Atlántico Norte y del interior del continente europeo.

En cambio, durante los meses estivales además de la influencia de las condiciones atmosféricas regionales, aparecen relaciones con modos de variabilidad atmosférica característicos de regiones más alejadas del Hemisferio Norte, relaciones que se producen normalmente con uno o dos

meses de desfase entre las condiciones atmosféricas en esas regiones y las temperaturas catalanas. El verano y meses adyacentes están caracterizados por el predominio de las altas presiones subtropicales y el estancamiento del aire, generando frecuentes situaciones de pantano barométrico, con bajos gradientes regionales y el predominio de las condiciones locales. En estas condiciones de estancamiento resulta favorecida la influencia de regiones lejanas, con un cierto desfase entre las distantes condiciones atmosféricas y la evolución térmica catalana.

La distinta influencia que los modos acoplados de variabilidad atmosférica ejercen sobre los patrones térmicos espaciales singularizados en el área de estudio conduce a la necesidad de describir el comportamiento intranual de forma individualizada para cada uno ellos. Por este motivo, se expondrá a continuación para cada patrón espacial establecido la influencia que a lo largo del año ejercen sobre el mismo los diferentes índices teleconectivos.

Con objeto de identificar cuales son los modos acoplados de variabilidad atmosférica que mayor relación estadística presentan con cada uno de los patrones espaciales de temperatura y de cuantificar el porcentaje de varianza de las temperaturas explicado por dichos índices teleconectivos, se ha aplicado también un Análisis de Regresión Múltiple (ARM) a aquellos índices que presentan correlaciones significativas con las series térmicas de uno o varios sectores del territorio. Esta técnica ha sido empleada por diversos autores con este objetivo en varios trabajos, entre los se pueden citar los análisis realizados por Brazdil *et al.*, (2001) para las temperaturas en la Republica Checa y las investigaciones de Hurrell (1996) sobre la relación entre la Oscilación del Atlántico Norte y la Oscilación Austral con las temperaturas del Hemisferio Norte.

Este análisis nos permite discriminar, de entre los modos de variabilidad atmosférica que presentan correlaciones significativas con un patrón espacial de temperatura en un mes determinado, aquellos índices que, con significación estadística al 95%, explican un determinado porcentaje de la varianza de las series térmicas.

4.3.1 Modos de variabilidad atmosférica relacionados con las variaciones térmicas intranuales en el patrón Litoral

El patrón Litoral es el único patrón espacial térmico que aparece diferenciado durante todos los meses del año. Entre octubre y marzo se estiman coeficientes de correlación significativos principalmente con los índices EA y NAOJON, correlaciones que son de carácter positivo. De estos dos índices, el EA es el que está mejor acoplado con las variaciones térmicas producidas en este sector del territorio. En la Tabla 4.9 puede observarse que es el que presenta relación estadística significativa un mayor número de veces en los ARM calculados para este periodo, y con los porcentajes de la varianza de la temperatura explicada más elevados. La mayor correlación entre el EA y la temperatura se detecta en el mes de febrero, con el coeficiente más elevado que se ha estimado en este análisis, de valor 0.70. Las variaciones de temperatura asociadas con el EA en febrero explican el 50 % de la variabilidad de la temperatura máxima en este sector durante dicho mes. En los meses de noviembre, diciembre y marzo se descubren también correlaciones significativas de todos los componentes de la temperatura del patrón Litoral, tanto temperatura media como máxima, con el índice EA. Los coeficientes de correlación son también de carácter positivo, oscilando entre valores 0.39 y 0.59. Mediante los ARM se cuantifica el porcentaje de varianza de las series térmicas explicada por el índice entre el 15 % y el 35 %, correspondiendo los mayores porcentajes a las temperaturas media y máxima del mes de marzo.

Por otro lado, el índice NAOJON presenta correlaciones significativas con las series térmicas del patrón Litoral los meses de octubre, noviembre, enero y febrero, aunque de valor algo menor que el índice EA, entre 0.32 y 0.44. Los modelos de regresión indican que explica en torno al 15 % de la varianza de la temperatura mínima de octubre y de la temperatura máxima de enero.

Ambos modos de variabilidad atmosférica, tanto el patrón del Atlántico Este como la Oscilación del Atlántico Norte, definen un centro de anomalías de presión sobre la Península Ibérica, de mismo signo para ambos, que en las

Tabla 4.9. Índices teleconectivos con relación estadística significativa al 95 % con los componentes de temperatura integrados en el patrón Litoral. Entre paréntesis se indica el porcentaje de la varianza explicado por cada uno.

Componentes de temperatura	índices significativos y % de varianza explicada		% total de la varianza explicada
RPC210TN	NAOJON (15.5)	SCA (16.4)	31.9
RPC111TX	EA (15.3)		15.3
RPC112TX	EA (19.2)	EA/WR-2 (10)	29.2
RPC301TX	NAOJON (14.9)		14.9
RPC102TX	EA (50.1)	EA/WR (8)	58.1
RPC203TM	EA (34.8)		34.8
RPC203TX	EA (22.3)		22.3
RPC204TM	EA/WR-1 (20.3)	SCA-2 (7.7)	28.0
RPC304TN	EA/WR-1 (18.5)		18.5
RPC204TX	SCA-2 (12.4)		12.4
RPC305TN			0
RPC206TN			0
RPC206TX			0
RPC107TM	EA-JET-1 (16.2)	EA-JET (7.4)	23.6
RPC107TN	EA-JET (17.7)		17.7
RPC207TX	EA-JET-1 (16.2)		16.2
RPC108TM	ASU-1 (15.5)		15.5
RPC108TN	ASU-1 (11.2)		11.0
RPC308TX	ASU-1 (11.3)		11.2
RPC209TX	ASU-2 (12.1)	EA (11.3)	23.4

fases positivas implica un bloqueo anticiclónico y en las fases negativas favorece la llegada de masas de aire frío. Se trata, por tanto, de dos patrones teleconectivos que sobre las temperaturas invernales del litoral catalán tienen una relación complementaria, predominando uno u otro en el periodo del año comprendido entre los meses de octubre y marzo.

Un tercer índice que muestra correlaciones significativas con las temperaturas del patrón Litoral en estos meses es el SCA. De forma directa solo tiene correlación significativa, de signo negativo, con la temperatura mínima del mes de octubre, explicando el 16.4 % de su variabilidad. En enero y febrero se han estimado también correlaciones significativas entre las series de temperatura máxima y el SCA con desfase de uno y dos meses. La temperatura máxima de enero se correlaciona significativamente con los

índices SCA de los meses de diciembre y noviembre precedentes, con valores de -0.42 y -0.33 respectivamente. En febrero la temperatura máxima se relaciona con el SCA de enero, con un coeficiente de 0.33.

Otro índice que se relaciona con las temperaturas del litoral catalán durante estos meses es el EA/WR. Correlaciona significativamente con la temperatura de febrero, explicando el 8 % de la varianza. La temperatura máxima de diciembre, sin embargo, se relaciona con el EA/WR de octubre, es decir con un desfase de dos meses, y dicho índice explica el 10 % de la variabilidad térmica de diciembre. El interés tanto en este caso como en otros en que aparecen correlaciones con desfase, como sucedía con el SCA, reside en el valor predictivo que cobran estos índices.

Durante la mitad cálida del año, entre abril y septiembre, cuando el patrón Litoral aparece definido en los tres parámetros térmicos, la relación entre las temperaturas de este sector y los modos de variabilidad atmosférica es diversa.

Durante el mes de abril se obtienen correlaciones significativas con el EA/WR y el SCA, el primero con un desfase de un mes y el segundo con un desfase de dos meses. La temperatura media muestra correlación positiva con ambos índices. El EA/WR de marzo explica el 20 % de dicho parámetro, mientras que el porcentaje se reduce al 7.7 % con el SCA de febrero. En los parámetros extremos, por contra, solo uno de los dos índices permite explicar un determinado porcentaje de la varianza para el nivel de significación adoptado. El EA/WR de marzo explica el 18.5 % de la varianza de la temperatura mínima, mientras que el SCA de febrero explica el 12.4 % de la varianza de la temperatura máxima. El hecho de que únicamente se detecten correlaciones con índices de meses anteriores indica la condición de transición del mes de abril.

En mayo y junio no se detectan modos de variabilidad cuyos índices muestren correlación significativa con ninguno de los componentes térmicos del patrón litoral.

Los parámetros térmicos del mes de julio se relacionan con el índice EA-JET, tanto del propio mes de julio como con el del mes anterior, con

coeficientes positivos. La temperatura media arroja coeficientes similares para ambos, con un 23.6 % de la varianza explicada en total. Al examinar los parámetros extremos de temperatura se observa que la temperatura mínima presenta mayor correlación con el índice del propio mes, que explica el 17.7 % de su varianza, mientras que la temperatura máxima muestra un coeficiente de valor mas elevado con el EA-JET del mes anterior, que explica un porcentaje similar de su varianza, el 16.2 %.

Este índice muestra en su fase positiva un refuerzo de las altas presiones sobre la Península Ibérica, ligado a un incremento en las anomalías térmicas, mientras que los valores negativos del índice indican la existencia de anomalías negativas de presión sobre el territorio, relacionándose con temperaturas mas suaves.

La existencia de correlaciones significativas con el índice EA-JET del mes anterior es indicativo de que la temperatura del mes de julio en el sector del litoral, especialmente la máxima y la media, depende en gran medida de las condiciones atmosféricas del mes de junio. Durante este mes la fase positiva de este patrón favorece una mayor insolación sobre las aguas del Mediterráneo Occidental, con el consiguiente incremento de la temperatura de la superficie marina, lo que se transcribe en un incremento de la temperatura de julio en el sector costero limítrofe a la masa marina.

La influencia del EA-JET de junio continúa detectándose durante el mes de agosto, aunque limitada a los valores positivos del índice. Con coeficientes de entre 0.48 y 0.59, indica una persistencia de la influencia de las anomalías de presión positivas sobre la Península Ibérica durante el mes de junio sobre la temperatura de agosto en el litoral catalán, aunque esta influencia únicamente se estima cuando se produce un mayor calentamiento de las aguas superficiales del Mediterráneo durante el mes de junio. Si esta mayor insolación no se produce, no existe entonces influencia sobre los parámetros térmicos del mes de agosto.

No obstante, el índice con el cual las temperaturas de agosto se relacionan de forma mas clara es el ASU, con un desfase de un mes. Las correlaciones significativas con este índice, que explica entre el 11.2 % y el 15.5 % de la

variabilidad térmica de agosto, indican una relación positiva entre la temperatura catalana en el sector del patrón Litoral y las anomalías de presión que durante el mes de julio se detectan en el área de Oriente Próximo y la Península Arábiga.

Durante el mes de septiembre, perdura la influencia del ASU del mes de julio, pero se detecta también correlación significativa con el EA, indicando la transición de la influencia entre índices de carácter estival a otros más propios de los meses invernales. Entre ambos explican el 23.4 % de la varianza térmica de septiembre.

Resulta interesante resaltar la relación existente entre la temperatura en este sector y el índice del Pacífico Occidental (WP). Aunque únicamente existen correlaciones significativas entre las series térmicas y el índice durante el mes de febrero, con un desfase de un mes, se observan también coeficientes significativos cuando se examinan por separado las correlaciones con las fases positivas y negativas del WP. Con dos meses de desfase, se han estimado correlaciones significativas de la temperatura de agosto y octubre con los valores negativos del índice y en noviembre con los valores positivos del WP. El mes en el cual esta relación es más clara es agosto, donde las series de los tres componentes del patrón Litoral se correlacionan con este índice con valores entre -0.41 y -0.51. Las condiciones de estabilidad atmosférica y de bajo índice zonal que caracterizan el verano mediterráneo favorecen que, en el sector litoral catalán, las variaciones experimentadas por los parámetros térmicos de agosto estén influidos por las condiciones atmosféricas de sectores distantes como son el Pacífico y las zonas tropicales de África y Asia.

4.3.2 Modos de variabilidad atmosférica relacionados con las variaciones térmicas intranuales del patrón Noroccidental

El patrón Noroccidental se distingue en los meses de primavera y verano, entre febrero y septiembre, relacionándose principalmente con patrones teleconectivos ubicados sobre el Atlántico.

El modo de variabilidad atmosférica de baja frecuencia cuyos índices presentan un mayor número de correlaciones significativas con las series de temperatura media y máxima en este sector es la Oscilación del Atlántico Norte.

El índice NAOJON arroja coeficientes significativos con las temperaturas de los meses de febrero, marzo, abril, mayo y septiembre. En febrero este índice explica el 30 % de la varianza de la temperatura máxima (Tabla 4.10), porcentaje que en marzo disminuye al 29 % y al 13 % para las temperaturas media y máxima respectivamente. Las series de temperatura media y máxima de abril muestran también correlación con el índice NAOJON, pero en este caso con un mes de desfase y valores negativos, que explican entre el 8 % para la temperatura media y el 18.5 % para la temperatura máxima de la varianza térmica. En mayo y septiembre las correlaciones con el NAOJON no presentan desfase, y contribuyen a explicar respectivamente el 8 % de la temperatura mínima de mayo y el 12.6 % de la variabilidad térmica de la temperatura máxima de mayo.

El índice NAO presenta también coeficientes de correlación significativos con la temperatura de marzo, si bien con dos meses de desfase, contribuyendo a explicar entre el 5 y el 8 % de la varianza.

Otros índices representativos de modos de variabilidad atmosférica de carácter atlántico que contribuyen a explicar las variaciones térmicas del sector noroccidental del territorio durante los meses de primavera son el EA/WR y el SCA. El primero durante el mes de marzo, donde explica el 26 % de la varianza de la temperatura máxima y el 6 % de la temperatura media, mientras que el SCA se identifica con la temperatura máxima de febrero, de la que explica un 13 %.

La relación de estos patrones atmosféricos con las temperaturas de febrero y marzo hace que el porcentaje de la varianza térmica explicada por ellos durante estos dos meses se sitúe en torno al 44 %, disminuyendo notablemente en abril y mayo.

Por otra parte, es de resaltar la relación que aparece durante el mes de abril entre la temperatura y los valores negativos del EA/WR, con coeficientes de

Tabla 4.10. Índices teleconectivos con relación estadística significativa al 95 % con los componentes de temperatura integrados en el patrón Noroccidental. Entre paréntesis se indica el porcentaje de la varianza explicado por cada uno.

Componentes de temperatura	índices significativos y % de varianza explicada			% total de la varianza explicada
RPC202TX	NAOJON (29.9)	SCA (13.0)		42.9
RPC103TM	NAOJON (29.3)	NAO-2 (8.1)	EA/WR (6.0)	43.4
RPC103TX	EA/WR (26.0)	NAOJON (12.9)	NAO-2 (5.5)	44.4
RPC104TM	NAOJON-1 (8.3)			8.3
RPC104TX	NAOJON-1 (18.4)			18.4
RPC105TN	NAOJON (8.1)			8.1
RPC106TN	EA-JET (9.1)			9.1
RPC106TX	EA-JET (26.1)			26.1
RPC207TM				0
RPC207TN				0
RPC107TX				0
RPC208TM	EA-JET (33.8)			33.8
RPC208TN	EA-JET (20.6)			20.6
RPC108TX	EA-JET (16.4)			16.4
RPC109TX	NAOJON (12.6)			12.6

correlación que alcanzan valores de -0.70, así como la elevada correlación, 0.75, que se establece entre la temperatura de mayo y los valores negativos del WP. También las temperaturas de marzo muestran correlaciones en torno a 0.50 con los valores positivos del EA de febrero.

Durante los meses de verano, el principal modo de variabilidad atmosférica que se identifica con las variaciones de la temperatura es el EA-JET, con correlaciones significativas en los meses de junio y agosto. Durante el mes de junio este índice puede explicar el 26 % de la varianza de la temperatura máxima y el 9 % de la de la temperatura mínima. En agosto, los porcentajes de varianza térmica explicada por este índice se sitúan entre el 16 % y el 34 %, correspondiendo el máximo a la temperatura media y el mínimo a la temperatura máxima.

Aparte de las correlaciones con el EA-JET, los únicos coeficientes significativos se establecen entre la temperatura de julio y los valores

negativos del índice WP, con dos meses de desfase. Estas correlaciones son negativas y de valor elevado, con coeficientes situados entre -0.50 y -0.71.

Al contrario que el sector definido por el patrón Litoral, en el área del sector Noroccidental tienen mayor influencia las condiciones atmosféricas del Atlántico durante el mes de agosto. Esta diferencia obedece a que este sector queda aislado del Mediterráneo por la barrera orográfica del Sistema Litoral Catalán, mientras que por su parte oeste está abierto a las influencias atlánticas a través de la Depresión del Ebro.

4.3.3 Modos de variabilidad atmosférica relacionados con las variaciones térmicas intranuales en el patrón de Montaña

Durante los meses de noviembre y diciembre, que es cuando el patrón de Montaña aparece caracterizado para los tres parámetros térmicos estudiados, el modo de variabilidad atmosférica de baja frecuencia que aparece mejor acoplado con la evolución térmica en este sector es el patrón del Atlántico Este/ Rusia Occidental. Con coeficientes de correlación que oscilan entre 0.45 y 0.54, el índice EA/WR permite explicar entre el 20 % y el 29 % de la variabilidad de la temperatura (Tabla 4.11). Estos porcentajes son más elevados para la temperatura media, 28.6 % en ambos meses, algo menores en la temperatura mínima, 22.3 % en noviembre y 28.4 % en diciembre. Para la temperatura máxima se estiman los porcentajes de varianza explicada más bajos, del 21.5 % en noviembre y 19.8 % en diciembre.

Las temperaturas de los sectores de alta y media montaña mediterránea aparecen también relacionadas en noviembre con los valores negativos del índice TNH y con las fases negativas y positivas del SZ de septiembre.

Durante el mes de enero, la temperatura media y mínima de este sector se relacionan, con coeficientes de correlación positivos, con tres índices que también sitúan anomalías de presión positivas sobre el territorio durante sus fases positivas. El índice con mayor correlación es el POL, que explica entre el 16.4 y el 26.4 de las variaciones de temperatura, seguido del NAOJON y el EA.

Con valores más bajos de los coeficientes, se detectan correlaciones también con el SCA y el TNH, ambos con un desfase de un mes.

En general, los índices que se relacionan con las temperaturas de este sector representan modos de variabilidad que en su fase positiva indican un incremento de la estabilidad atmosférica en la zona, lo que se traduce en un incremento en los valores de los tres parámetros térmicos. De igual manera, las fases negativas implican un incremento en las situaciones ciclónicas y en la nubosidad, que provocan una disminución en la temperatura. En marzo y abril, la temperatura mínima es el único parámetro que define un patrón térmico de Montaña. En marzo se relaciona con los índices anteriores (EA/WR, NAOJON, EA), pero también aparecen coeficientes significativos con el SOI. Durante el mes de abril, la temperatura mínima se identifica con un índice representativo de un patrón teleconectivo ubicado sobre el Pacífico, el EP.

Tabla 4.11. Índices teleconectivos con relación estadística significativa al 95 % con los componentes de temperatura integrados en el patrón de Montaña. Entre paréntesis se indica el porcentaje de la varianza explicado por cada uno.

Componentes de temperatura	índices significativos y % de varianza explicada	% total de la varianza explicada
RPC211TM	EA/WR (28.6)	28.6
RPC211TN	EA/WR (22.3)	22.3
RPC311TX	EA/WR (21.5)	21.5
RPC312TM	EA/WR (28.6)	28.6
RPC212TN	EA/WR (28.4)	28.4
RPC312TX	EA/WR (19.8)	19.8
RPC201TM	POL (25.4)	25.4
RPC201TN	POL (16.4)	16.4
RPC203TN	NAOJON (34.2)	34.2
RPC204TN	EP (14)	14

4.3.4 Modos de variabilidad atmosférica relacionados con las variaciones térmicas intranuales en el patrón de Depresión Occidental

Los principales meses en que los tres parámetros de temperatura se identifican con el patrón de Depresión Occidental son noviembre, diciembre y enero. En estos dos últimos meses se observan correlaciones significativas con los mismos índices que las series térmicas integradas en el patrón de Montaña, pero con signo inverso. Así, en diciembre las temperaturas muestran coeficientes negativos con el EA/WR que explica el 9.3 % de la variabilidad de la temperatura media y el 16.1 % de la temperatura máxima (Tabla 4.12).

En enero, correlaciones significativas de signo negativo se establecen para los tres parámetros de temperatura con el índice EA/WR, que permiten explicar el 20.4 %, el 19.2 % y el 11.2 % de la temperatura media, máxima y mínima respectivamente. Durante este mes se estiman también correlaciones de signo negativo entre el NAOJON y la temperatura mínima que permiten explicar el 20.4 % de la varianza térmica, y entre la temperatura máxima y el índice POL, que permite explicar el 13.5 % de la varianza de dicho parámetro térmico.

El signo negativo de las correlaciones con estos índices obedece al carácter de refuerzo anticiclónico que implican sus fases positivas sobre el territorio de Cataluña, facilitando la formación de fenómenos de inversión térmica en el sector englobado dentro del patrón de Depresión Occidental, con una disminución de los valores térmicos.

En el mes de noviembre se detecta un fenómeno similar, con correlaciones significativas con el índice SCA, explicando el 10.7 % de la varianza de la temperatura máxima. En este caso el signo de los coeficientes es positivo, dado que en su fase positiva este índice determina sobre el territorio anomalías negativas de presión y positivas en su fase inversa. Sin embargo, un segundo índice que muestra elevada correlación con las temperaturas de este mes es el WP, explicando en torno al 10 % de la variabilidad de las temperaturas mínimas y medias. Durante el mes de noviembre, por tanto, la

Tabla 4.12. Índices teleconectivos con relación estadística significativa al 95 % con los componentes de temperatura integrados en el patrón de Depresión Occidental. Entre paréntesis se indica el porcentaje de la varianza explicado por cada uno.

Componentes de temperatura	índices significativos y % de varianza explicada		% total de la varianza explicada
RPC110TN	SZ-1 (15.6)		15.6
RPC111TM	WP (9.8)		9.8
RPC111TN	WP (9.6)		9.6
RPC211TX	SCA (10.7)		10.7
RPC112TM	EA/WR (9.3)		9.3
RPC112TN			0
RPC212TX	EA/WR (16.1)		16.1
RPC101TM	EA/WR (20.4)		20.4
RPC101TN	NAOJON (21.8)	EA/WR (11.2)	33.0
RPC201TX	EA/WR (19.2)	POL (13.5)	32.7
RPC103TN	EA (17.1)	EP (14.1)	31.2

temperatura máxima esta prioritariamente relacionada con el predominio o ausencia de altas presiones sobre el territorio, que en los sectores definidos por el patrón de Depresión Occidental generan situaciones de inversión térmica que influirán notablemente sobre el parámetro de máximas. Por contra, la temperatura media y la temperatura mínima, aunque muestran también correlaciones con el SCA que indican una influencia de las condiciones mencionadas, se relacionan con el patrón del Pacífico Oeste (WP), que permite explicar en torno al 10 % de la varianza de ambos parámetros.

No se trata del único mes en el cual las series térmicas se relacionan con índices pertenecientes a modos de variabilidad atmosférica característicos del área del Pacífico. En marzo, la temperatura se relaciona con el índice EA, que explica el 17.1 % de la varianza, pero también con el índice EP, contribuye con un porcentaje similar, el 14.1 %. En octubre, el principal modo de variabilidad que se relaciona con la evolución térmica en este sector es el patrón Zonal Subtropical, con un mes de desfase entre el índice SZ y la temperatura de marzo, explicando el 14.1 % de la varianza. También en este mes se observan correlaciones significativas con los índices PNA y SOI, este último con desfase de uno y dos meses.

Los valores negativos del SOI con uno y dos meses de desfase muestran también correlaciones significativas con los valores térmicos de enero, mientras que los valores positivos del SOI con dos meses de desfase se relacionan con las temperaturas del mes de diciembre.

El patrón de Depresión Occidental es, junto con el patrón Noroccidental, el que mayor relación presenta con la Oscilación Austral, y en general es el patrón que más relación muestra con los modos de variabilidad atmosférica ubicados sobre regiones del globo alejadas del territorio catalán.

En general, los sectores occidentales del territorio catalán y en especial aquellos que a través del valle del Ebro están abiertos a la influencia atlántica de forma más clara, son los que se relacionan mayoritariamente con los índices del Pacífico, fruto de la existencia de teleconexiones entre los modos de variabilidad atmosférica del Pacífico y la variabilidad del Atlántico.

4.4 Síntesis del capítulo

Del análisis realizado en el presente capítulo se desprende la existencia de numerosas influencias que los diversos modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia ejercen sobre la del aire en Cataluña. Dicha influencia es mayor por parte de aquellos índices teleconectivos que rigen la variabilidad atmosférica sobre el Atlántico y Europa, pero no queda excluida la relación con otros que reflejan la variabilidad atmosférica en regiones más alejadas del globo.

Los modos de teleconexión para los cuales se estima en general una mayor influencia sobre los tres parámetros térmicos diarios analizados son la Oscilación de Atlántico Norte, el patrón del Atlántico Este, el patrón del Atlántico Este/Rusia Occidental y el patrón del Atlántico Este-Jet. Estos cuatro patrones atmosféricos agrupan el 47 %, el 36 % y el 44% de las correlaciones, con significación estadística al 95 %, estimadas para la temperatura media, máxima y mínima diaria respectivamente. Porcentajes

que aumentan al 59 %, el 62.5 % y 55 % para las correlaciones con significación estadística al 99 %.

La influencia de los diferentes modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia acoplados con las temperaturas catalanas no es homogénea ni a lo largo del año ni espacialmente. Los diferentes patrones espaciales térmicos identificados en el territorio catalán presentan relación con diversos índices teleconectivos, relaciones que varían a lo largo del año y de uno a otro patrón térmico.

El principal patrón espacial térmico singularizado, tanto por su extensión intranual como por su contribución al incremento térmico registrado en las series regionales de temperatura es el patrón Litoral, que abarca principalmente el área del Sistema Litoral Catalán. En este sector, limítrofe con el Mediterráneo, se observan los mayores incrementos térmicos registrados en el territorio catalán, responsabilizándose de las más altas tendencias positivas detectadas en las series regionales de temperatura durante la mitad cálida del año. El aumento en los valores térmicos registrado en los tres parámetros de temperatura está relacionado con la evolución de la temperatura superficial de las aguas de Mediterráneo Occidental, con el que presentan una elevada correlación.

Esta relación entre las aguas marinas cercanas y el litoral catalán se refleja al examinar los patrones teleconectivos que presentan relación con la evolución térmica de las temperaturas del sector. La deriva térmica durante el mes de julio está relacionada con el patrón del Atlántico Este-Jet de junio. Esta relación se traduce en una clara influencia sobre las temperaturas estivales asociadas a la mayor o menor insolación sobre este sector durante el inicio del verano, con los consiguientes incrementos en las SST que luego influirán sobre la temperatura del aire en los meses siguientes. Durante la segunda mitad del verano, en los meses de agosto y septiembre, los elevados incrementos registrados especialmente en agosto están relacionados también con el patrón Asiático de Verano del mes de julio, que refleja la intensidad de las altas presiones sobre el Mediterráneo Oriental y el Norte de África.

Por otro lado, para el caso de la temperatura máxima, el patrón Litoral se diferencia también durante la mitad más fría del año. Para este parámetro y época del año, las mayores contribuciones al calentamiento observado en las series regionales han sido debidas a este sector del territorio. La evolución térmica se relaciona principalmente con el patrón del Atlántico Este durante los meses de noviembre, diciembre, febrero y marzo, llegando a explicar durante el mes de febrero el 50 % de la variabilidad térmica observada, y con la Oscilación del Atlántico Norte en octubre y enero, explicando en torno al 15 % de la variabilidad de la temperatura máxima en estos meses.

El segundo patrón espacial de temperatura en importancia en cuanto a su contribución al incremento térmico observado en las series regionales es el patrón de Montaña. Esta contribución está restringida a la temperatura media y la temperatura mínima, ya que como se ha mencionado en los párrafos anteriores, los incrementos térmicos registrados en la temperatura máxima están relacionados durante todo el año principalmente con el comportamiento de la temperatura en el sector del patrón Litoral.

El patrón de Montaña diferencia un conjunto de sectores del territorio catalán pertenecientes a áreas de montaña alta y media, localizados principalmente en el Pirineo Occidental y en zonas elevadas del Sistema Litoral Catalán, principalmente durante los meses de noviembre, diciembre y enero.

En esta época del año predomina la influencia de los modos de variabilidad atmosférica del Atlántico Norte y Europa. Aunque se detectan correlaciones con varios de estos patrones teleconectivos, los que mejor explican la variabilidad térmica en estos sectores de montaña son el patrón del Atlántico Este/Rusia Occidental, en los meses de noviembre y diciembre, y el patrón Polar/Euroasiático en enero. En los tres meses, estos modos de variabilidad atmosférica explican en torno al 25% - 29% de la varianza de la temperatura media.

Los dos patrones espaciales de temperatura restantes, el patrón Noroccidental y el patrón de Depresión Occidental, tienen una contribución

menor que los anteriores al incremento térmico observado en las series regionales.

El patrón Noroccidental caracteriza la evolución térmica experimentada en el tercio noroccidental del territorio catalán, el área del Pirineo y Prepirineo Occidentales, durante la mitad cálida del año. Se trata de zonas de alta y media montaña, alejadas de la influencia de las aguas del Mediterráneo, en las que únicamente en la temperatura mínima se detecta una cierta correlación con la temperatura marina. Las temperaturas en este sector no presentan en general incrementos significativos. La evolución térmica en esta área se relaciona de forma directa con la existencia sobre el territorio de anomalías de presión, incrementándose la temperatura cuando estas anomalías son positivas y disminuyendo cuando tienen carácter negativo. Estas oscilaciones en el campo de presión están representadas por el patrón del Atlántico Este-Jet en los meses estivales, que durante el mes de agosto explica el 34 % de la varianza de la temperatura media. En los meses pertenecientes a estaciones equinocciales en los que se identifica el patrón Noroccidental, está relacionado principalmente con la Oscilación del Atlántico Norte mediante el índice NAOJON, que llega a explicar el 29 % de la variabilidad de la temperatura media en el tercio noroccidental del territorio catalán durante el mes de marzo.

El restante patrón espacial de temperatura es el patrón de Depresión Occidental. Agrupa un conjunto de áreas bajas de interior, especialmente el sector occidental de la Depresión Central Catalana, durante la mitad fría de año. La evolución de los tres parámetros térmicos es similar, con tendencias reducidas o nulas, en ningún caso significativas, por lo que tiene una incidencia escasa en la deriva térmica regional.

Por tratarse del sector mas abierto hacia occidente, se relaciona con los modos de variabilidad atlánticos pero también está influido por modos de variabilidad característicos de zonas más distantes. De diciembre a marzo la temperatura está influida por el patrón del Atlántico Este/Rusia Occidental, la Oscilación del Atlántico Norte, el patrón Polar/Euroasiático y el patrón del Atlántico Este. Todos estos patrones teleconectivos muestran sobre Cataluña

un centro de anomalías de presión, que tiene una relación inversa con la temperatura en el patrón de Depresión Occidental. En noviembre, en cambio, el modo de variabilidad atmosférica que mejor explica la varianza de la temperatura es el patrón del Pacífico Oeste. También en octubre se establecen relaciones con el patrón Subtropical Zonal, y con el patrón del Pacífico Este en marzo, lo que parece indicar la existencia de teleconexiones entre las cuencas del Pacífico y del Atlántico que se reflejan en aquellos sectores del territorio catalán más expuestos hacia occidente.

En general, para el conjunto del territorio catalán existe una clara diferencia en los modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia que se relacionan con la temperatura superficial del aire en Cataluña, entre los meses de carácter más invernal (noviembre, diciembre y enero) y aquellos de comportamiento marcadamente estival (junio, julio y agosto).

Durante el periodo invernal la evolución de la temperatura esta principalmente influida por los modos de variabilidad atmosférica centrados en el Atlántico y Europa. Las tendencias al calentamiento detectadas en las series regionales durante estos meses obedecen, para la temperatura media y la temperatura mínima, a los incrementos de temperatura producidos en los sectores de montaña, relacionados con el patrón del Atlántico Este/Rusia Occidental y el patrón Polar/Euroasiático. Para la temperatura máxima, en cambio, los incrementos en las series regionales están ligados a los fuertes ascensos detectados en el litoral catalán, que se relacionan principalmente con el patrón del Atlántico Este y la Oscilación del Atlántico Norte.

Por contra, durante los meses de verano los tres parámetros de temperatura experimentan una distribución espacial y una evolución térmica paralela. Disminuye la influencia de la circulación atlántica y cobran relevancia las condiciones locales, especialmente la temperatura superficial del Mediterráneo Occidental. Los modos de variabilidad relacionados con la evolución térmica durante estos meses, patrón del Atlántico Este- Jet y patrón Asiático de Verano, reflejan principalmente una mayor o menor insolación sobre Cataluña, el mar Mediterráneo y el Norte de África.

Finalmente, conviene destacar también las relaciones detectadas entre la temperatura superficial del aire en Cataluña y modos de variabilidad atmosférica ubicados sobre el Pacífico (Oscilación Austral, patrón del Pacífico Oeste, patrón del Pacífico Norte), que de forma mayoritaria se manifiestan, con un desfase de uno o dos meses, durante los meses equinocciales, meses de transición entre los patrones espaciales de temperatura de carácter más invernal y aquellos de carácter más estival.

5 Conclusiones

La aplicación del Análisis de Componentes Principales a las series de la temperatura superficial del aire en Cataluña ha permitido detectar áreas climáticamente homogéneas desde el punto de vista de su señal térmica temporal, tanto a escala anual como mensual, así como de la influencia que los modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia y la temperatura superficial del Mediterráneo ejercen sobre dicha señal.

Mediante el Análisis de Conglomerados se han agrupado dichos componentes principales para caracterizar diversos patrones espaciales de temperatura. Estos patrones térmicos describen la evolución intranual de las áreas térmicamente homogéneas y la señal interanual que experimentan.

De los análisis realizados se desprende que el incremento térmico observado en las series regionales de temperatura durante la segunda mitad del siglo XX no ha sido homogéneo para el conjunto del territorio catalán.

El sector de Cataluña que mayor contribución ha tenido al calentamiento de las series regionales de temperatura superficial del aire es el que se enmarca dentro del patrón Litoral, abarcando principalmente el Sistema Litoral Catalán. Es en esta zona donde se localiza el conjunto de los componentes extraídos de los parámetros térmicos analizados con tendencias positivas significativas al 99 %. Las mayores tendencias positivas se observan, tanto para la temperatura media diaria como para los dos parámetros extremos, durante el mes de agosto.

Otra área en la cual se identifican tendencias positivas, con nivel de significación del 95 %, es el conjunto de sectores de alta y media montaña que se identifican mediante el patrón de Montaña. En estos sectores, dichas tendencias se circunscriben al mes de enero.

Los cuatro patrones espaciales de temperatura, los dos mencionados y los patrones Noroccidental y de Depresión Occidental, identifican áreas con una

evolución térmica interanual homogénea que presentan una considerable variabilidad intranual.

Durante los meses estivales se diferencian dos patrones: el patrón Litoral y el patrón Noroccidental. El patrón Litoral es el que tiene una mayor contribución al incremento térmico detectado en la temperatura durante los meses estivales, especialmente durante el mes de agosto. En este último mes los tres parámetros térmicos muestran tendencias positivas con un nivel de significación del 99 %, de 0.042 para la temperatura máxima, 0.037 para la temperatura mínima y 0.034 para la temperatura media.

En el sector definido por el patrón Noroccidental, el tercio noroccidental del territorio catalán, el incremento térmico, aunque también se produce, es mucho más moderado, con tendencias que oscilan entre 0.022 y -0.013.

Tanto la temperatura media diaria como la temperatura máxima y mínima diaria se identifican con esta distribución espacial estival. En ambos patrones espaciales de temperatura se observan mayores tendencias en la temperatura máxima que en la mínima, con una mayor contribución de las temperaturas diurnas a la configuración de la temperatura media diaria.

El comportamiento térmico estival está relacionado con dos factores: uno, el calentamiento de las capas superficiales del Mediterráneo Occidental; otro, las características de la circulación atmosférica durante esta época del año.

Existe una estrecha relación entre la temperatura superficial del Mediterráneo Occidental y las temperaturas catalanas estivales en el área definida por el patrón Litoral, con elevados coeficientes de correlación, cuantificados entre 0.86 y 0.50. Esta relación se debilita con el incremento de la distancia a la costa, de manera que en el sector del patrón Noroccidental, las zonas montañosas más alejadas del litoral, únicamente para el parámetro de mínimas nocturnas se identifican correlaciones significativas entre su señal y la de la temperatura marina.

Por otro lado, se han observado influencias ejercidas por modos de variabilidad atmosférica propios del periodo estival. Durante el mes de julio la evolución térmica en el sector definido por el patrón Litoral se vincula con

el comportamiento del índice correspondiente al patrón del Atlántico Este-Jet del mes anterior, junio. Dicha relación indica la dependencia de la temperatura del mes de julio respecto a las condiciones atmosféricas que durante el mes de junio provocan un mayor o menor incremento de la temperatura superficial del mar en el Mediterráneo Occidental. Esta hipótesis se ve reforzada por la alta correlación existente entre la evolución térmica en el sector del patrón Litoral y las SST del Mediterráneo Occidental durante los meses estivales.

Durante el mes de agosto, la evolución térmica del patrón Litoral se relaciona con el índice del patrón Asiático de Verano, también con un desfase de un mes. La temperatura del litoral catalán en el mes de agosto, en el que se producen los mayores incrementos térmicos, depende de la mayor o menor intensidad de las altas presiones sobre la zona del Mediterráneo Oriental, Oriente Medio y gran parte del norte del continente africano durante el mes de julio, posiblemente en relación al calentamiento en las masas de aire situadas sobre dichas ubicaciones. Junto con estas influencias atmosféricas, la temperatura de agosto en este sector esta estrechamente relacionada con los cambios registrados en la temperatura superficial marina del Mediterráneo Occidental.

Para el resto del territorio, el sector enmarcado por el patrón Noroccidental, durante el periodo estival la evolución térmica se relaciona de forma directa con la existencia sobre el territorio de anomalías de presión, incrementándose la temperatura cuando estas anomalías son positivas y disminuyendo cuando tienen carácter negativo. Estas oscilaciones en el campo de presión están representadas por el patrón del Atlántico Este-Jet en los meses estivales, que durante el mes de agosto explica el 34 % de la varianza de la temperatura media diaria.

Respecto a lo observado en los meses de verano, la temperatura durante los meses de carácter más invernal (noviembre, diciembre y enero) se identifica con una distribución espacial diferente. Del análisis de los promedios mensuales de la temperatura media diaria se desprende que durante estos meses se diferencian dos patrones espaciales de temperatura: el

patrón de Montaña y el patrón de Depresión Occidental. El patrón de Montaña agrupa los sectores del territorio catalán situados en zonas de montaña media y alta, mientras que el patrón de Depresión Occidental engloba principalmente las áreas deprimidas de la Depresión Central Catalana y el litoral meridional. Ambos patrones ejercen influencia sobre la tendencia detectada en la curva regional catalana de la temperatura media diaria, aunque la única tendencia significativa se observa durante el mes de enero en el patrón de Montaña, mes en el que la curva regional está más contribuida por los sectores del territorio definidos por dicho patrón.

Si bien en el mes de enero el patrón de Montaña es el que más contribuye al incremento observado en la curva regional de la temperatura media, en el mes de noviembre es a la inversa, con una mayor contribución del patrón de Depresión Occidental. Esta oscilación en el comportamiento térmico de la temperatura media obedece a su carácter de promedio de los dos parámetros térmicos extremos y, a diferencia de lo que sucede durante los meses de verano, durante los meses de carácter invernal existe una evolución diferenciada entre la temperatura máxima y la temperatura mínima.

En la mayor parte del territorio catalán se produce durante estos meses un incremento mayor de la temperatura mínima que de la máxima, con una disminución de la amplitud térmica diaria. Esta situación se produce especialmente en el área definida por el patrón de Montaña, donde los componentes de la temperatura mínima tienen tendencias marcadamente positivas, de 0.024 a 0.016, mientras que en la temperatura máxima son de signo opuesto, entre -0.015 y -0.016. En el sector del patrón de Depresión Occidental la evolución de ambos parámetros extremos es menos discordante, con tendencias escasamente positivas o nulas en ambos parámetros, algo superiores las de la temperatura mínima que las de la máxima, pero sin significación estadística en ningún caso.

El único sector del territorio en el cual se produce un incremento en la temperatura máxima es en el litoral. Exclusivamente para este parámetro, se diferencia durante los meses fríos del año el patrón Litoral, con tendencias

marcadamente positivas, significativas al 99% en los meses de noviembre y diciembre.

Así, los mayores incrementos térmicos durante estos meses de carácter invernal se producen en las áreas de alta y media montaña para los mínimos nocturnos, y en los sectores litorales para los máximos diurnos.

Durante los meses de noviembre, diciembre y enero la Península Ibérica queda más expuesta a la circulación del Oeste, de manera que los índices teleconectivos de modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia ubicados sobre el Atlántico Norte y Europa cobran relevancia en la influencia que ejercen sobre la evolución térmica catalana.

Los dos principales modos de variabilidad atmosférica invernal del Atlántico, la Oscilación del Atlántico Norte y el patrón del Atlántico Este, presentan correlación con la evolución térmica en el conjunto del territorio catalán, especialmente entre enero y marzo, cuando se observan correlaciones significativas entre los índices NAOJON y EA y la evolución de la temperatura en los cuatro patrones térmicos espaciales.

Sin embargo, algunos índices teleconectivos se relacionan específicamente con alguno de los patrones térmicos identificados en el territorio, mientras que con la evolución térmica del resto de sectores del territorio la relación es menor.

Concretamente, la evolución térmica del patrón de Montaña, donde se registran los máximos incrementos invernales de la temperatura media y la temperatura mínima, aparece relacionada con el comportamiento del índice del Atlántico Este/Rusia Occidental durante los meses de noviembre y diciembre. Dicho índice permite explicar el 29 % de la variabilidad de la temperatura media en estos sectores, así como entre el 29 % y el 20 % para los parámetros extremos. En enero, en cambio, la relación más robusta se establece con el patrón Polar/Euroasiático, que explica un 25 % de la variabilidad térmica de dicho mes en las áreas de montaña media y alta.

Los fuertes incrementos de temperatura observados en la temperatura máxima durante los meses más fríos del año se relacionan principalmente con la Oscilación del Atlántico Norte y el patrón del Atlántico Este. Entre los

meses de octubre y marzo, el patrón Litoral se relaciona con estos dos patrones teleconectivos, llegando a explicar el EA el 50 % de la variabilidad térmica durante el mes de febrero.

El área del territorio catalán englobada bajo el patrón de Depresión Occidental, que es el sector más abierto hacia occidente, se relaciona con los modos de variabilidad atlánticos pero también está influido por modos de variabilidad característicos de zonas más distantes. En diciembre y enero la temperatura de este sector está influida por el patrón del Atlántico Este/Rusia Occidental en ambos meses, y la Oscilación del Atlántico Norte y el patrón Polar/Euroasiático en enero, explicando entre el 33 % y el 9 % de la varianza de la temperatura. Todos estos patrones teleconectivos muestran sobre Cataluña un centro de anomalías de presión, que tiene una relación inversa con la temperatura en el patrón de Depresión Occidental. En noviembre, en cambio, el modo de variabilidad atmosférica que mejor explica la varianza de la temperatura es el patrón del Pacífico Oeste, en torno al 10 %.

El resto de los meses del año, de febrero a mayo y de septiembre a octubre, se produce una progresiva transición entre las características de los meses estivales y los de carácter invernal.

Entre febrero y mayo se produce la transición de las condiciones de carácter invernal a las propiamente estivales. Para los promedios mensuales de la temperatura media diaria se identifican en este periodo del año patrones espaciales en los meses de marzo y abril, que se identifican con los patrones estivales: el patrón Litoral y el patrón Noroccidental. La evolución térmica en ambos patrones presenta tendencias idénticas, con incrementos térmicos moderados en marzo y leves en abril, sin significación estadística.

En lo que respecta a las temperaturas extremas, los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria se identifica en estos meses con los mismos patrones que la temperatura media, aunque para este parámetro las tendencias son marcadamente positivas en el patrón Litoral, significativas al 99 % en febrero y marzo, y de carácter negativo en el área del patrón Noroccidental.

Por el contrario, para los promedios mensuales de la temperatura mínima diaria la distribución espacial caracterizada por los patrones térmicos de carácter invernal, el patrón de Montaña y el patrón de Depresión Occidental, se prolonga hasta abril, con tendencias no significativas. En mayo, sin embargo, también para la temperatura mínima se observan ya los dos patrones térmicos estivales, con tendencias positivas en el patrón Litoral y negativas en el sector del patrón Noroccidental.

Esta transición que se observa en la distribución espacial de las temperaturas catalanas es paralela a una sustitución de los modos de variabilidad atmosférica que ejercen su influencia sobre las temperaturas en estos meses de primavera. En febrero y marzo los dos modos que mayor relación presentan con los patrones de temperatura son la Oscilación del Atlántico Norte y el patrón del Atlántico Este. Durante el mes de abril la evolución térmica continúa influenciada por los modos de variabilidad invernales, pero con desfase de un mes, de manera que las temperaturas de este mes se relacionan con los índices teleconectivos de marzo. Sin embargo, la relación más destacable en el mes de mayo es la que se establece entre la evolución de la temperatura mínima en el patrón Noroccidental y las fases negativas del patrón del Pacífico Oeste, con un coeficiente de correlación de 0.75. Aunque con coeficientes de correlación no tan elevados, en abril y mayo se detectan otras relaciones entre la evolución térmica catalana y los modos de variabilidad atmosférica del Pacífico, como es el caso del patrón del Pacífico Este, que en el mes de abril explica el 14 % de la variabilidad de la temperatura mínima en el patrón de Montaña.

En los meses de transición otoñales, septiembre y octubre, se produce una transición inversa a la anterior, disminuyendo las características estivales e incrementándose las invernales. En estos dos meses no se diferencian componentes para la temperatura media, aunque sí para la temperatura máxima en septiembre y la temperatura mínima en octubre.

En septiembre, la temperatura máxima muestra la misma distribución espacial que en los meses estivales, con tendencia positiva significativa en el patrón Litoral y negativa en el patrón Noroccidental. Las máximas diurnas

del litoral se relacionan, al igual que durante el mes de agosto, con el índice del patrón Asiático de Verano del mes de julio, que explica un 12 % de la variabilidad, aunque también aparece relación con el patrón del Atlántico Este, con un porcentaje similar de la varianza explicada, el 11 %. En el área del patrón Noroccidental, la evolución térmica se relaciona básicamente con la Oscilación del Atlántico Norte.

Durante el mes de octubre, la temperatura mínima adopta los patrones espaciales característicos de los meses invernales, con tendencia nula en el área del patrón de Depresión Occidental y positiva en los sectores del patrón de Montaña. Las únicas relaciones con modos de variabilidad atmosférica se establecen entre la temperatura en el patrón de Depresión Occidental y el patrón Zonal Subtropical (15.6 % de la varianza explicada) y la Oscilación Austral con uno y dos meses de desfase.

En definitiva, la evolución térmica y el calentamiento asociado a ella durante la segunda mitad del siglo XX en Cataluña es heterogénea en el espacio, con áreas de evolución térmica homogénea que experimentan una dinámica cambiante a lo largo del año, ligada a las diferentes influencias ejercidas por diversos modos de variabilidad atmosférica y las condiciones térmicas de la masa marítima del Mediterráneo.

6 Bibliografía

- Aguilar, E., 1999, *Análisis de la diversidad climática en la Antártida y deriva térmica reciente*. Tarragona, Policopiado.
- Aguilar, E., López, J. M., Brunet, M., Saladie, O., Sigró, J. and López, D., 1999: Control de calidad y proceso de homogeneización de series térmicas catalanas. In *La Climatología española en los albores del siglo XXI*, (Raso Nadal, J. M. and Martin-Vide, J. Eds.), A.E.C., Serie A, 1, Barcelona, 15-23.
- Albentosa Sanchez, L., 1973, *Los climas de Catalunya. Estudio de Climatología Dinámica*, policopiado, Universidad de Barcelona.
- Albentosa Sanchez, L., 1991, *El clima y las Aguas*. Síntesis, Madrid, 240 pp.
- Alexandersson, H. and Moberg, A., 1997: Homogenisation of Swedish Temperature Data. Part I: Homogeneity Test for Linear Trends. *International Journal of Climatology* **17**, 25-34.
- Alsop, T. J., 1989, The natural seasons of Western Oregon and Washington, *Journal of Climate*, **2**, 888-896.
- Anyadike, R. N. C., 1987, A multivariate classification and regionalisation of West African climates, *Journal of Climatology*, **7**, 157-164.
- Arnell, N. W., 1999, The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective, *Global Environmental Change*, **9**, 5-23.
- Barnston, A. G. y Livezey, R. E., 1987, Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns, *Monthly Weather Review*, **115**, 1083-1126.
- Barnston, A. G., Livezey, R. E. y Halpert, M. S., 1991, Modulation of Southern Oscillation-Northern Hemisphere Mid-Winter Climate Relationships by the QBO, *Journal of Climate*, **4**, 203-217.
- Bartholy, J., 1992, Meteorological choices to clustering precipitation data series and a case study for Hungary, En American Meteorological Society: *Preprints of 12th Conference on probability and statistics in the Atmospheric Sciences*, Toronto.

- Bartzokas, A., Metaxas, D. A. y Ganas, I. S., 1994, Spatial and Temporal Sea Surface Temperature Covariances in the Mediterranean, *International Journal of Climatology*, **14**, 201-213.
- Beale, E. L. y Little, R. J. A., 1975, Missing values in multivariate analysis. [*Journal of the Royal Statistical Society*, B, **37**, 129-145.](#)
- Beck, C., Jacobeit, J. y Philipp, A., 2001, Variability of North-Atlantic-European Circulation Patterns since 1780 and Corresponding Variations in Central European Climate, En *Detecting and Modelling Regional Climate Change* (M. Brunet y D. López Eds.), Springer, 321-331.
- Benner, T. C., 1999, Central England Temperatures: Long-term Variability and Teleconnections, *International Journal of Climatology*, **19**, 391-403.
- Beniston, M. y Rebetez, M., 1996: Regional Behavior of Minimum Temperatures in Switzerland for the Period 1979--1993. *Theoretical and Applied Climatology*, **53**, 231-243.
- Bojariu, R. y Paliu, D. M., 2001, North Atlantic Oscillation Projection on Romanian Climate Fluctuations in the Cold Season. En *Detecting and Modelling Regional Climate Change* (M. Brunet y D. López Eds.), Springer, 345-356.
- Bonell, M. y Sumner, G., 1992, Autumn and winter daily precipitation areas in Wales, 1982-1983 to 1986-1987, *International Journal of Climatology*, **12**, 77-112.
- Brázdil, R., Budykov, M., Auer, I., Böhm, R., Cegnar, T., Fasko, P., Lapin, M., Gajic-Capka, K., Zaninovic, K., Koleva, E., Niedzwiedz, T., Szalai, S., Ustrnul, Z. y Weber, R. O., 1996, Trends of maximum and minimum daily temperatures in central and southeastern Europe. *International Journal of Climatology*, **16**, 765-782.
- Brazdil, R., Stepánek, P. y Kveton, V., 2001, Temperature Series of the Czech Republic and its Relation to Northern Hemisphere Temperatures in the Period 1961–1999. En *Detecting and Modelling Regional Climate Change* (M. Brunet y D. López Eds.), Springer, 69-80.
- Briffa, K.R., Osborn, T.J., Schweingruber, F.H., Harris, I.C., Jones, P.D., Shiyatov, S.G. Y Vaganov, E.A., 2001, Low-frequency temperature variations from a northern tree-ring density network. *Journal of Geophysical Research*, **106**, 2929-2942.

- Brunet, M., Aguilar, E., Saladie, O., Sigró, J. y López, D., 1999a, Evolución térmica reciente de la región catalana a partir de la construcción de series climáticas regionales. En *La Climatología española en los albores de siglo XXI*, (J. M. Raso y J. Martín-Vide Eds.), AEC, Serie A, **1**, Barcelona, 91-101
- Brunet, M., Aguilar, E., Saladie, O., Sigró, J. y López, D., 1999b, Variaciones y tendencias contemporáneas de la temperatura máxima, mínima y amplitud térmica diaria del NE de España. En *La Climatología española en los albores de siglo XXI*, (J. M. Raso y J. Martín-Vide Eds.), AEC, Serie A, **1**, Barcelona, 91-101
- Brunet, M., Aguilar, E., Saladie, O., Sigró, J. y López, D., 2001a, The variations and trends of the surface air temperature in the northeastern of Spain from middle nineteenth century onwards. En *Detecting and Modelling Regional Climate Change* (M. Brunet y D. López Eds.), Springer, 81-94.
- Brunet, M., Aguilar, E., Saladie, O., Sigró, J. y López, D., 2001b, A Differential Response of Northeastern Spain to Asymmetric Trends in Diurnal Warming Detected on a Global Scale. En *Detecting and Modelling Regional Climate Change* (M. Brunet y D. López Eds.), Springer, 95-108.
- Brunetti, M., Buffoni, L., Maugeri, M. Y Nani, T., 2000, Trends of minimum and maximum daily temperatures in Italy from 1865 to 1996. *Theoretical and Applied Climatology*, **66**, 49-60.
- Bücher, A. Y Dessens, J., 1991, Secular Trend of Surface Temperature at an Elevated Observatory in the Pyrenees. *Journal of Climate*, **4**, 859-868.
- Buell, C. E., 1975, The topography of empirical orthogonal functions. *Four Conference on Probability and Statistics in Atmospheric Sciences*, AMS, Tallahassee, 188-193.
- Cattell, R. B., 1966, The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, **1**, 245-276
- Cheng, X., Nitsche, G. y Wallace, J. M., 1995, Robustness of Low-Frequency Circulation Patterns Derived from EOF and Rotated EOF Analyses, *Journal of Climate*, **4**, *Journal of Climate*, **8**, 1709-1713.
- Colacino, M. y Conte, M., 1993, Greenhouse effect and pressure patterns in the Mediterranean basin, *Nuovo Cimento C*, **16**, 67-76.
- Conrad, V. y Pollack, L. D., 1962, *Methods in Climatology*, Harvard University Press, Cambridge, 459 pp.

- Conte, M., Giuffrida, A. y Tedesco, S., 1989, The Mediterranean Oscillation: impact on precipitation and hydrology in Italy, *Conference on Climate and Water*, vol 1, Academy of Finland 9/1989, 121-137.
- Corte-Real, J., Qian, B. y Xu, H., 1998, Regional Climate Change in Portugal: Precipitation Variability Associated with Large-Scale Atmospheric Circulation, *International Journal of Climatology*, **18**, 619-635.
- Craddock, J. M. y Flood, C. R., 1969, Eigenvectors for representing the 500 mb geopotential surface over northern hemisphere. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **95**, 575-593.
- Crowley, T.J. y Lowery, T., 2000, How Warm was the Medieval Warm Period? *Ambio* **39**, 51-54.
- Davis, R. E., 1991, A synoptic climatological analysis of winter visibility trends in the mideastern United States, *Atmospheric Environment*, **25**, 165-175.
- Deser, C. y Blackmon, M. L., 1993, Surface Climate Variations over North Atlantic Ocean during Winter: 1900-1989., *Journal of Climate*, **6**, 1743-1753.
- D'Odorico, P., Yoo, J. y Jaeger, S., 2002, Changing Seasons: An Effect of the North Atlantic Oscillation?, *Journal of Climate*, **15**, 435-445.
- Easterling, D., 1989, Regionalisation of thunderstorm rainfall in the contiguous United States, *International Journal of Climatology*, **9**, 567-579.
- Easterling, D. R., Horton, B., Jones, P. D., Peterson, T. C., Karl, T. R., Parker, D. E., Salinger, M. J., Razuvayev, V., Plummer, N., Jamason, P. y Folland, C. K., 1997, Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science*, **277**, 364-367.
- Eckart, C. y Young, G., 1936, The approximation of one matrix by another of lower rank, *Psychometrika*, **1**, 211-218.
- Enfield, D. B. y Mestas-Núñez, A. M., 1999, Multiscale Variabilities in Global Sea Surface Temperatures and Their Relationships with Tropospheric Climate Patterns, *Journal of Climate*, **12**, 2719-2733
- Esbensen, S. K., 1984, A comparison of intermonthly and interannual teleconnection in the 700 mb geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, **112**, 2016-2032.

- Fernandez Mills, G., 1995, Principal component analysis of precipitation and rainfall regionalization in Spain. *Theor. Appl. Climatol.* **50**, 169-183.
- Ferrán Aranaz, M., 1996, *SPSS para Windows. Programación y análisis estadístico*. McGraw-Hill, Madrid, 580 pp.
- Flatau, M. K., Talley, L. y Niiler, P. P., 2003, The North Atlantic Oscillation, Surface Current Velocities, and SST Changes in the Subpolar North Atlantic, *Journal of Climate*, **16**, 2355-2369.
- Folland, C. K., y Parker, D. E., 1995, Correction of instrumental biases in historical sea surface temperature data, *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, **121**, 319-367.
- Fovell, R. G. y Fovell, M. Y. C., 1993, Climate Zones on the Conterminous United Using Cluster Analysis, *Journal of Climate*, **6**, 2103-2135.
- Gadgil, S. y Joshi, V., 1983, Climatic cluster of Indian region, *Journal of Climatology*, **3**, 47-63.
- Galliani, G. y Filippini, F., 1985, Climatic clusters in a small area, *Journal of Climatology*, **5**, 487-501.
- Gámiz-Fortis, S. R., Staudt, M., Pozo-Vázquez, D., Esteban-Parra, M. J., Rodrigo, F. S. y Castro-Díez, Y., 2001, Monte-Carlo SSA Análisis of the NAO Index, En *Detecting and Modelling Regional Climate Change* (M. Brunet y D. López Eds.), Springer, 309-320.
- Geer, I. W. (Ed), 1996, *Glossary of Weather and climate with Related Oceanic and Hydrologic Terms*, AMS, Boston, 272 pp.
- Gomez Navarro, L., Martín-Vide, J. y Wanner, H., 1999, Influencia de la NAO en la precipitación y en la probabilidad de días lluviosos de diciembre en la España Peninsular (1941-1994). En *La Climatología española en los albores de siglo XXI*, (J. M. Raso y J. Martín-Vide Eds.), AEC, Serie A, **1**, Barcelona, 217-225.
- Gómez, L., Martín Vide, J., Luterbacher, J. y Wanner, H., 2001, Análisis mediante correlaciones canónicas (CCA) de las precipitaciones invernales en la Península Ibérica con relación con la circulación atmosférica de 500 Hpa. En *El Tiempo del Clima* (A. J. Pérez Cueva, E. López Baeza y J. Tamayo Carmona Eds.) AEC, Serie A, **2**, Valencia, 115-126.
- Goosens, C., 1985, Principal Component Analysis of the Mediterranean Rainfall, *Journal of Climatology*, **5**, 379-388.

- Guijarro Pastor, J. A., 1999, Teleconexiones climáticas y precipitación en la España mediterránea. En *La Climatología española en los albores de siglo XXI*, (J. M. Raso y J. Martín-Vide Eds.), AEC, Serie A, **1**, Barcelona, 243-251.
- Gutzler, D. S., Rosen, R. D. y Salstein, D. A., 1988, Patterns of Interannual Variability in the Northern Hemisphere Wintertime 850 mb Temperature Field., *Journal of Climate*, **1**, 949-964.
- Handorf, D., Petoukhov, V. K., Dethloff, K., Eliseev, A. V., Weisheimer, A. y Mokhov, I. I., 1999, Climate Variability at Decadal and Interdecadal Time Scales, *CLIVAR Exchanges*, **4**, 21-24.
- Hansen, J.M., Ruedy, R., Glascoe, J. y Sato, M., 1999, GISS análisis of surface temperature change. *Journal of Geophysical Research*, **104**, 30997-31022.
- Harman, H.H., 1976, *Modern Factor Analysis*. The University of Chicago Press, 487 pp.
- Harris, C. W. y Kaiser, H. F., 1964, Oblique factor analytic solutions by orthogonal transformations, *Psychometrika*, **29**, 347-362.
- Hendrickson, A. E. y White, P. O., 1964, Promax: a quick method to oblique simple structure, *British Journal of Statistical. Psychology.*, **17**, 65-70.
- Horcas, R., González Rouco, J. F., Zorita, E. y Fernández, F., 2001, Relación entre la circulación atmosférica en el Atlántico Norte y las temperaturas máximas en la cuenca del Segura. En *El Tiempo del Clima* (A. J. Pérez Cueva, E. López Baeza y J. Tamayo Carmona Eds.) AEC, Serie A, **2**, Valencia, 137-146.
- Horel, J. D., 1981, A rotated principal component analysis of the interannual variability of the Northern Hemisphere 500 mb height potential. *Monthly Weather Review*, **109**, 2080-2092.
- Horton, B., 1995: Geographical distribution of changes in maximum and minimum temperatures. *Atmospheric Research*, **37**, 101-117.
- Hotelling, H., 1933, Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, **24**, 417-441, 498-520.
- Hsu, H. H. y Wallace, J. M., 1985, Vertical structure of wintertime teleconnection patterns. *Journal of the Atmospheric Sciences* , **42**, 1693-1710.

- Hurrell, J.W., 1995: Decadal trends in North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science* **264**, 676-679.
- Hurrell, J. W., 1996, Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperature. *Geophysical Research Letters* **23**, 665-668.
- Huth, R., Nemesova, I. y Klimperova, N., 1993, Weather categorization based on the average linkage clustering technique: an application to European mid-latitudes, *International Journal of Climatology*, **13**, 817-835.
- IPCC, 2001a, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, 881 pp.
- IPCC, 2001b, *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge, 1032 pp.
- Jennrich, R. I. y Sampson, P. F., 1966, Rotation for simple loadings, *Psychometrika*, **31**, 313-323.
- Jolliffe, I. T., 1986, *Principal Component Analysis*, Springer, New York, 271 pp.
- Jolliffe, I. T., 1990, Principal Component Analysis: A beginner's guide. Part I: Introduction and application. *Weather*, **45**, 375-382.
- Jones, P. D. y Kelly, P. M., 1982, Principal component analysis of the Lamb Catalogue of daily weather types: Part 1, annual frequencies, *Journal of Climatology*, **2**, 147-157.
- Jones, P. D., Raper, S. C. B., Bradley, R. S., Diaz, H. F., Kelly, P.M. y Wigley, T. M. L., 1986, Northern Hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984, *Journal of Climate Applied and Meteorology*, **25**, 161-179.
- Jones, P. D., 1995: Maximum ad minimum temperature trends in Ireland, Italy, Thailand, Turkey and Bangladesh. *Atmospheric Research* **37**, 67-78.
- Jones, P. D., Briffa, K. R., Barnett, T. P y Tett, S. B. F., 1998, High-resolution palaeoclimatic records for the last millennium: interpretation, integration and comparison with General Circulation Model control run temperatures. *The holocene* **8**, 455-471
- Jones, P. D., New, M., Parker, D.E., Martin, S. y Rigor, I.G., 1999, Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Reviews of Geophysics*, **37**, 173-199.

- Jones, P. D., Osborn, T.J., Briffa, K.R., Folland, C.K., Horton, E.B., Alexander, L.V., Parker, D.E., y Rayner, N.A., 2001a, Adjusting for sampling density in grid box land and surface temperature time series. *Journal of Geophysical Research*, **106**, 3371-3380.
- Jones, P. D., 2001b, Instrumental Temperature Change in the Context of the Last 1000 Years. En *Detecting and Modelling Regional Climate Change* (M. Brunet y D. López Eds.), Springer, 55-68.
- Kaiser, H. F., 1958, The Varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, **23**, 187-200.
- Kaiser, H. F., 1960, The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, **20**, 141-151.
- Kalkstein, L. S., Tan, G. y Skindlov, J. A., 1987, An evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **26**, 717-730.
- Kaplan, A., Cane, A. M., Kushir, Y. A. y Clement, A. C., 1998, Analyses of global sea surface temperature, 1856-1991, *Journal of Geophysical Research*, **103**, 18567-18589.
- Karl, T. R., Jones P. D., Knight, R. W., Kukla, G., Plummer, N., Razuvayev, V., Gallo, K. P., Lindsey, J., Charlson, R. J. y Peterson, T. C., 1993, Asymmetric Trends of Daily Maximum and Minimum Temperature, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **74**, 1007-1023.
- Karl, T. R., Easterling, D., Peterson, T. C., Baker, C. B., Jones, P. D., Kukla, G., Plummer, N., Razuvayev, V. N. and Horton, B., 1994: An update on the asymmetric day/night land surface warming. In *AMS: Sixth Conference on climate variations*, A.M.S., 170-173.
- Kawamura, R., 1994, A Rotated EOF Analysis of Global Sea Surface Temperature Variability with Interannual and Interdecadal Scales, *Journal of Physical Oceanography*, **24**, 707-715
- Klein, W. H. y Kline, J. M., 1984, The synoptic climatology of monthly mean surface temperature in the United States during winter relative to the surrounding 700 mb height field. *Monthly Weather Review*, **112**, 433-448.
- Kidson, J. W., 1999, Principal Modes of Southern Hemisphere Low-Frequency Variability Obtained from NCEP-NCAR Reanalyses, *Journal of Climate*, **12**, 2808-2830.

- Kidson, J. W., Revell, M. J., Bhaskaran, B., Mullan, B. y Renwick, A., 2002, Convection Patterns in the Tropical Pacific and Their Influence on the Atmospheric Circulation at Higher Latitudes, *Journal of Climate*, **15**, 137-159.
- Kim, K. Y. y North, G. R., 1993, EOF Analysis of Surface Temperature Field in Stochastic Climate Model, *Journal of Climate*, **6**, 1681-1690.
- Korres, G., Pinardi, N. y Lascaratos, A., 2000, The Ocean Response to Low-Frequency Interannual Atmospheric Variability in the Mediterranean Sea. Part II: Empirical Orthogonal Functions Analysis, *Journal of Climate*, **13**, 732-745.
- Kutiel, H., Maheras, P. y Guika, S., 1996, Circulation indices over the Mediterranean and Europe and their relationship with rainfall conditions across the Mediterranean, *Theoretical and Applied Climatology*, **54**, 125-138.
- Leathers, D. J., Yarnal, B. y Palecki, M. A., 1991, The Pacific/North American Teleconnection pattern and United States Climate. Part I: Regional Temperature and Precipitation Associations, *Journal of Climate*, **4**, 517-528.
- Livezey, R. E. y Barnston, A. G., 1988, An operational multifield analog/tilog prediction system for the United States seasonal temperature. 1: system design and winter experiments. *Journal of Geophysical Research*, **93**, 10953-10974.
- Lorenz, E. N., 1956, Empirical Orthogonal Functions and Statistical Weather Prediction. *Statistical Forecasting Project Report 1*, Department of Meteorology, 49 pp.
- Luterbacher, J., Schmutz, C., Gyalistras, D., Xoplaki, E. y Wanner, H., 1999, Reconstruction of monthly NAO and EU indices back to A. D. 1675, *Geophysical Research Letters*, **26**, 759-762.
- Maheras, P., y Kutiel, H., 1999, Spatial and Temporal Variations in the Temperature Regime in the Mediterranean and their Relationship with Circulation during the Last Century, *International Journal of Climatology*, **19**, 745-764.
- Maheras, P., Xoplaki, E., Davies, T., Martin-Vide, J., Barriendos, M. y Alcoforado, M. J., 1999, Warm and Cold Monthly Anomalies across the Mediterranean Basin and their relationship with Circulation: 1860-1990, *International Journal of Climatology*, **19**, 1697-1715.

- Mann, M. E., Bradley, R. S. y Hughes, M. K., 1998, Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature*, **392**, 779-787.
- Mann, M. E., Bradley, R. S. y Hughes, M. K., 1999, Northern Hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties and limitations, *Geophysical Research Letters*, **26**, 759-762.
- Manso Orgaz, M. D. y Caramelo, L., 2001, Spatial and Temporal Variability of the Surface Air Temperature over the Duero Basin (Iberian Peninsula). En *Detecting and Modelling Regional Climate Change* (M. Brunet y D. López Eds.), Springer, 429-438.
- Mitchel, J. M., 1953, On the causes of instrumentally observed secular temperature trends, *Journal of Meteorology*, **10**, 244-261.
- Mo, K. C. y Lizevey, R. E., 1986, Tropical-extratropical geopotential height teleconnections during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, **114**, 2488-2515.
- Mo, K. C. 2000, Relationships between Low-Frequency Variability in the Southern Hemisphere and Sea Surface Temperature Anomalies, *Journal of Climate*, **13**, 3599-3610.
- Moberg, A., Jones, P.D., Barriendos, M., Bergström, H., Camuffo, D., Cocheo, C., Davies, T.D., Demarée, G., Martin-Vide, J., Maugeri, M., Rodriguez, R. and Verhoeve, T., 2000: Day-to-day temperature variability trends in 160-to-275-year long European instrumental records. *Journal of Geophysical Research*, **105**, 22849-22868.
- Nicholls, N., Gruza, G. V., Jouzel, J., Karl, T. R., Ogallo, L. A. y Parker, D. E., 1996: Observed climate variability and change. In: *The IPCC Second Scientific Assessment* (J. T. Houghton *et al.*, eds.), Cambridge University Press, 133-192.
- O'Brien, S., Mayewski, P.A., Meeker, L. D, Meese, D. A., Twickler, M. S. y Whitlow, S. I., 1995, Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core, *Science*, **270**, 1962-1964.
- Palutikof, J. P., Subak, S. y Agnew, M. D., 1997, *Economic Impacts of the Hot Summer and Unusually Warm Year of 1995*, Department of Environment, University of East Anglia, Norwich, 196pp.
- Parker, D.E., Folland, C.K. y Jackson, M., 1995, Marine Surface Temperature: Observed Variations and Data Requirements, *Climatic Change*, **31**, 559-600.

- Peixoto, J. P. y Oort, A. H., 1992, *Physics of Climate*, American Institute of Physics, New York, 520 pp.
- Peterson, T.C., Karl, T.R., Jamason, P.F., Knigh, R. y Easterling, D.R., 1998, The first difference method: maximizing station density for the calculation of long-term temperature change. *Journal of Geophysical Research*, **103**, 25967-25974.
- Pierce, D. W. y Barnett, T. P., 2000, Connections between the Pacific Ocean Tropics and Midlatitudes on Decadal Timescales, *Journal of Climate*, **13**, 1173-1194.
- Pita, M. J.; Camarillo, J. M. y Aguilar, M., 1999, La evolución de la variabilidad pluviométrica en Andalucía y sus relaciones con el índice NAO. En *La Climatología española en los albores de siglo XXI*, (J. M. Raso y J. Martín-Vide Eds.), AEC, Serie A, **1**, Barcelona, 399-408.
- Plaut, G., Ghil, M. y Vautard, R., 1995, Interannual and Interdecadal variability in 335 Years of central England Temperatures, *Nature*, **268**, 710-713
- Plummer, N., Lin, Z. and Torok, S., 1995, Trends in the diurnal temperature range over Australia since 1951. *Atmospheric Research* **37**, 79-86.
- Preisendorfer, R. W. y Barnett, T. P., 1977, Significance test for empirical orthogonal functions. *Fifth Conference Probability and Statistics in Atmospheric Sciences*, AMS, Las Vegas, 169-172.
- Preisendorfer, R. W., Zwiers, F. W. y Barnett, T. P., 1981, *Foundations of principal component selection rules*. Scripps Institute of Oceanography, SIO ref. Series 81-4 (NTIS PB83-146613), 192 pp
- Preisendorfer, R. W., 1988, *Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography*, Elsevier, Amsterdam, 425 pp.
- Puvaneswaran, M., 1990, Climatic Classification for Queensland Using Multivariate Statistical Techniques, *International Journal of Climatology*, **10**, 591-608.
- Rasilla, D., Fernández, F., Galán, E. y Cañada, R., 1999, Variabilidad climática invernal sobre la Meseta Meridional y su relación con la circulación atmosférica. En *La Climatología española en los albores de siglo XXI*, (J. M. Raso y J. Martín-Vide Eds.), AEC, Serie A, **1**, Barcelona, 449-458.
- Raso, J. M., 1999, Temperaturas extremas y mortalidad en Barcelona, En *La Climatología española en los albores de siglo XXI*, (J. M. Raso y J. Martín-Vide Eds.), AEC, Serie A, **1**, Barcelona, 459-468.

- Reynolds, R. W. y Smith, T. M., 1994, Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation, *Journal of Climate*, **7**, 929-948.
- Richman, M. B. y Lamb, P. J., 1985, Climatic pattern analysis of three-and-seven-day summer rainfall in the Central United States: Some methodological considerations and a regionalization. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **24**, 1325-1343.
- Richman, M.B., 1986, Rotation of Principal Components. *Journal of Climatology*, **6**, 293-335.
- Richman, M. B., 1987, Rotation of Principal Components: a reply, *Journal of Climatology*, **7**, 511-520.
- Robertson, A. W., Mechoso, C. R. y Kim, Y. J., 2000, The Influence of Atlantic Sea Surface Temperature Anomalies on the North Atlantic Oscillation, *Journal of Climate*, **13**, 122-138.
- Rodó, X., Baert, E. y Comin, F.A., 1997, Variations in the seasonal rainfall in southern Europe during the present century: relationships with the North Atlantic oscillation and the El Niño-Southern oscillation. *Climate Dynamics*, **19**, 275-284.
- Rodríguez-Puebla, C., Encinas, A. H. y Nieto, S., 1998, Spatial and temporal Patterns of Annual Precipitation Variability over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, **18**, 299-316
- Rodríguez Puebla, C., Encinas, A. H. y García Sánchez, 1999, Influencia de índices de circulación en las variaciones de precipitación invernal de la Península Ibérica. En *La Climatología española en los albores de siglo XXI*, (J. M. Raso y J. Martín-Vide Eds.), AEC, Serie A, **1**, Barcelona, 469-476.
- Rodríguez-Puebla, C., Frías, M. D. y Encinas, A. H., 2001, Relationships between Dry and Wet Periods in Spring Precipitation over the Iberian Peninsula and Atmospheric Circulation. En *Detecting and Modelling Regional Climate Change* (M. Brunet y D. López Eds.), Springer, 397-404.
- Rodwell, M. J., Rodwell, D. P. y Folland, C. K., 1999, Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. *Nature*, **398**, 320-323.

- Rupa Kumar, K., Krishna Kumar, K. and Pant, G. B., 1994: Diurnal asymmetry of surface temperature trends over India. *Geophysical Research Letters* **21**, 677-680.
- Sáenz, J., Zubillaga, J. y Rodríguez Puebla, C., 1999, Relación de la temperatura invernal del norte de la Península Ibérica con índices teleconectivos y temperatura del agua del mar. En *La Climatología española en los albores de siglo XXI*, (J. M. Raso y J. Martín-Vide Eds.), AEC, Serie A, **1**, Barcelona, 477-484.
- Salinger, M. J., 1995: Southwest Pacific temperature: trends in maximum and minimum temperatures. *Atmospheric Research* **37**, 87-100.
- Schönwiese, C. D. y Rapp, J., 1997, *Climate Trend Atlas of Europe*, Kluwer Academic, Dordrecht, 228 pp.
- Serrano, A., Garcia, J. A., Mateos, V. L., Cancillo, M. L. y Garrido, J., 1999, Monthly Modes of Variation of Precipitation over the Iberian Peninsula, *Journal of Climate*, **12**, 2894-2919.
- Stooksbury, D. E. y Michaels, P. J., 1990, Cluster analysis of southeastern climate stations, En South Carolina Water Resources Commission: *Report 1 of Southeast Regional Climate Center*, Columbia, SC, 21 pp.
- Stone, D. A., Weaver, A. J. y Stouffer, R. J., 2001, Projection of Climate Change onto Modes of Atmospheric Variability. *Journal of Climate*, **14**, 3551-3565.
- Tildes Gomes, P., 2001, Relationships between Iberian Rainfall Variability and the North Atlantic Oscillation. En *Detecting and Modelling Regional Climate Change* (M. Brunet y D. López Eds.), Springer, 377-387.
- Tourre, Y. M. , Rajagolapan, B. y Kushnir, Y., 1999, Dominant Patterns of Climate Variability in the Atlantic Ocean during the Last 136 Years, *Journal of Climate*, **12**, 2285-2299.
- Troup, A. J., 1965, The Southern Oscillation, *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, **91**, 490-506.
- Tucker, L. R. y Finkbeiner, C. T., 1982, Transformation of actors by artificial personal probability functions, *ETS research report 81-58*, test nº TM 820429.
- UN, 1997, *Glossary of environment statistics*, Department of Economic and Social Information and Policy Analysis, Statistics Division. UN Study Methods (Series F), **67**, 83p.

- Várallyay, G., 1994, Climate change, soil salinity and alkalinity, En *Soil Responses to Climate Change*, (Rounsevell, M. D. A. y Loveland, P. J., Eds.) NATO Series 23, Springer-Verlag, Heidenberg, 39-54.
- Volodin, E. M. y Galin, V. Y., 1999, Interpretation of Winter Warming on Northern Hemisphere Continents in 1977-1994, *Journal of Climate*, **12**, 2947-2955.
- von Storch, H. y Navarra, A., Eds., 1995, *Analysis of Climate Variability*. Spriger, Berlin-Heidelberg, 334 pp.
- Walker, G. T., 1924, Correlations in seasonal variations of the weather. I. A further study of the world weather, *Mem. Indian Meteorological Department*, **24**, 275-332.
- Wallace, J. M. y Gutzler, D. S., 1981, Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, **109**, 784-812.
- Wallace, J. M., 1996, Observed climatic variability: time dependence. En *Decadal Climate Variability*, (D. L. T. Anderson y J. Willebrand Eds.) Springer, NATO ASI Series, **I-44**, 1-30.
- Wanner, H., Pfister, C., Brázdil, R., Frich, P., Fruyendahl, K., Jonsson, T., Kington, J., Lamb, H. H., Rosenorn, S. y Wishman, E., 1995, Wintertime European circulation patterns during de Late Maunder Minimum Cooling Period (1675-1704), *Theoretical and Applied Climatology*, **51**, 167-175.
- Weber, R. O., Talkner, P. and Stefanicki, G., 1994: Asymmetric diurnal temperature change in the Alpine region. *Geophysical Research Letters* **21**, 673-676.
- Weber, R. O., Talkner, P., Auer, I., Böhm, R., Gajic-Capka, M., Zaninovic, K., Brázdil, R. y Fasko, P., 20th-Century Changes of Temperature in the Mountain Regions of Central Europe, *Climatic Change*, **36**, 327-344.
- White, D. A. y Perry, A. H., 1989, Classification of the Climate of England and Wales based on agroclimatological data, *International Journal of Climatology*, **9**, 271-291.
- White, D., Richman, M. y Yarnal, B., 1991, Climate Regionalization and Rotation of Principal Components, *International Journal of Climatology*, **11**, 1-25
- Wilks, D. S., 1995, *Statistical Methods in Atmospheric Sciences*, Academic Press, San Diego, 467 pp.

- Wolf, J. y van Diepen, C. A. 1995, Effects of climate change on grain maize yield potential in the European Community, *climatic Change*, **29**, 299-331.
- Zorita, E., Kharin, V. y von Storch, H., 1992, The Atmospheric Circulation and Sea Surface Temperature in the North Atlantic Area in Winter: Their Interaction and Relevance for Iberian Precipitation., *Journal of Climate*, **5**, 1097-1108.

APÉNDICES

APÉNDICE I. Resultados del Análisis de Componentes Principales sin rotación Varimax

En este Apéndice se recogen las distribuciones espaciales de los pesos de los componentes obtenidos tras el ACP sin rotación, para los tres parámetros de temperatura examinados, tanto a escala anual como mensual.

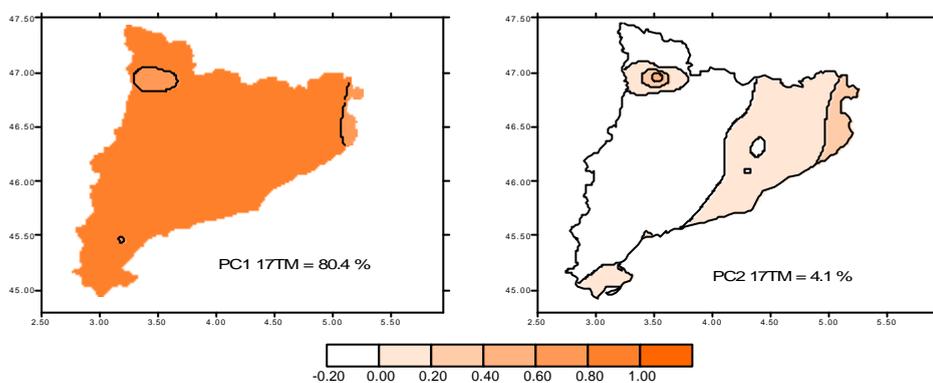


Figura A.I.1. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales identificados en el promedio anual de la temperatura media diaria.

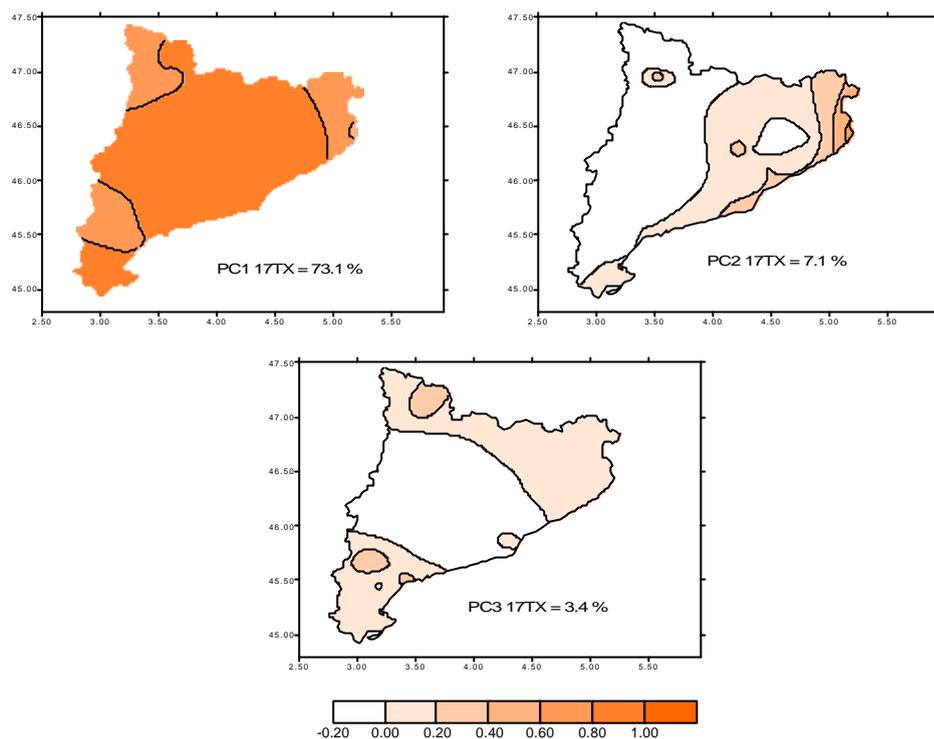


Figura A.I.2. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales identificados en el promedio anual de la temperatura máxima diaria.

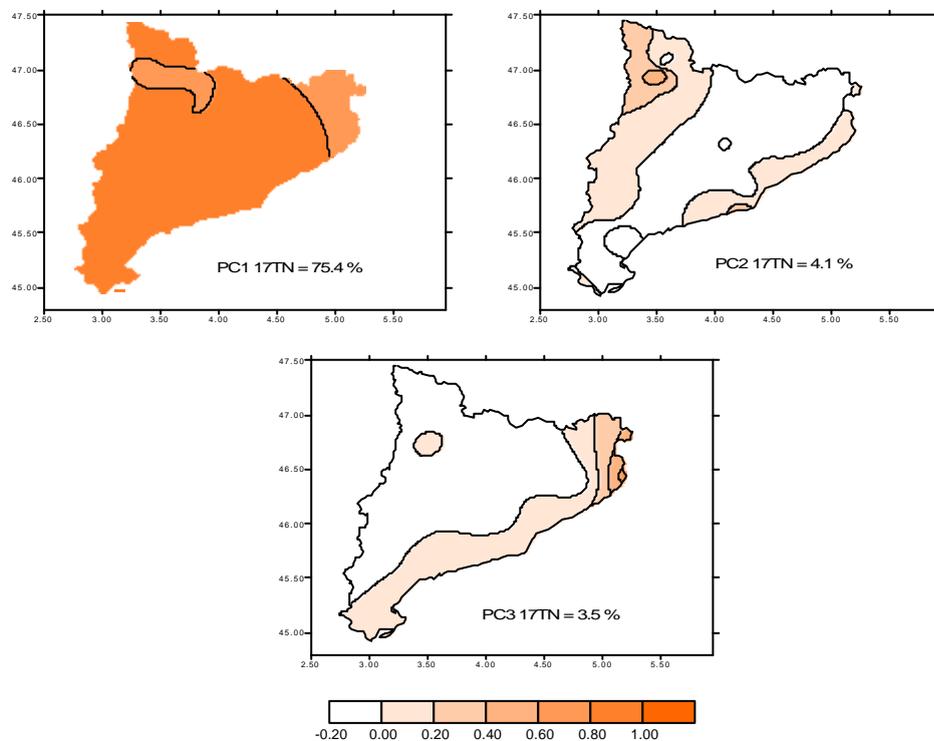


Figura A.I.3. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales identificados en el promedio anual de la temperatura mínima diaria.

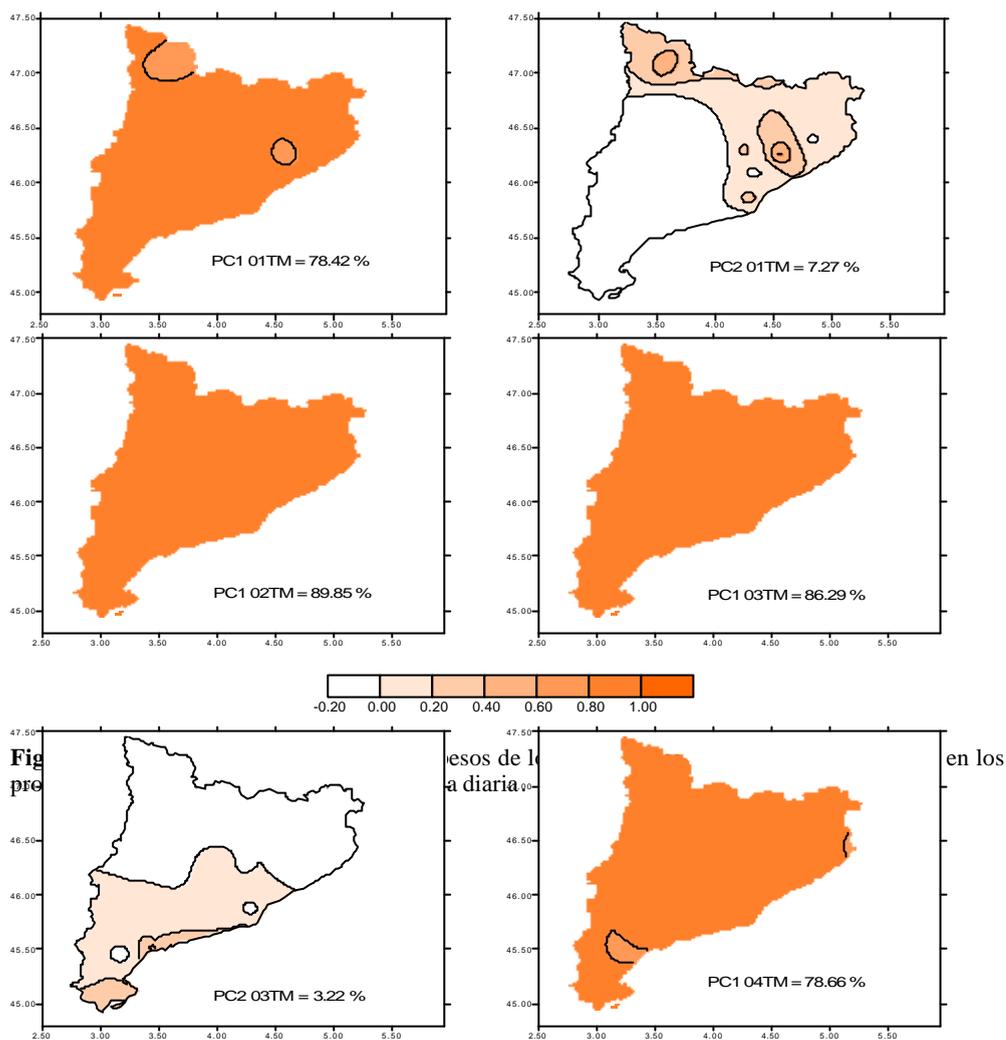


Fig
pre

esos de l
a diaria

en los

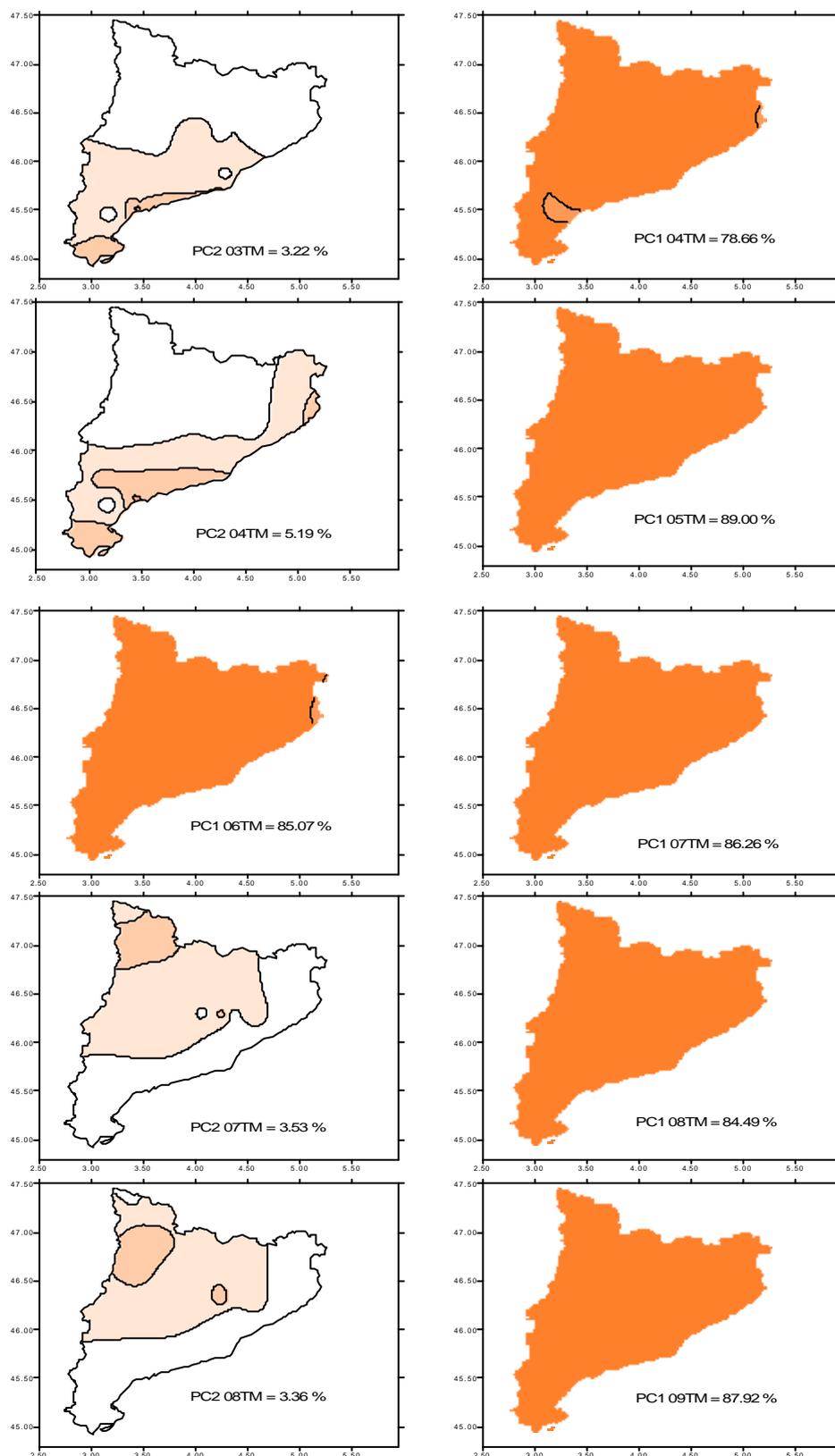
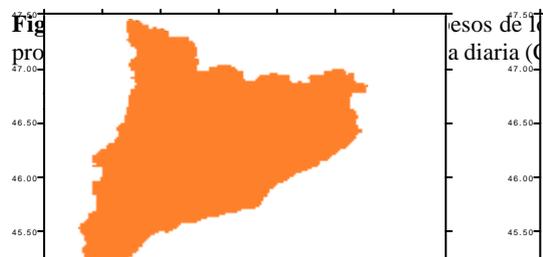
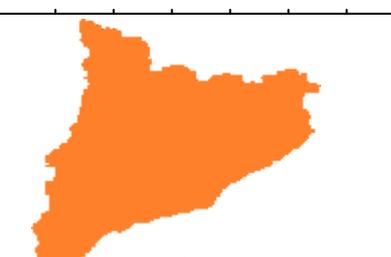


Fig
pro



esos de l
a diaria (C



en los

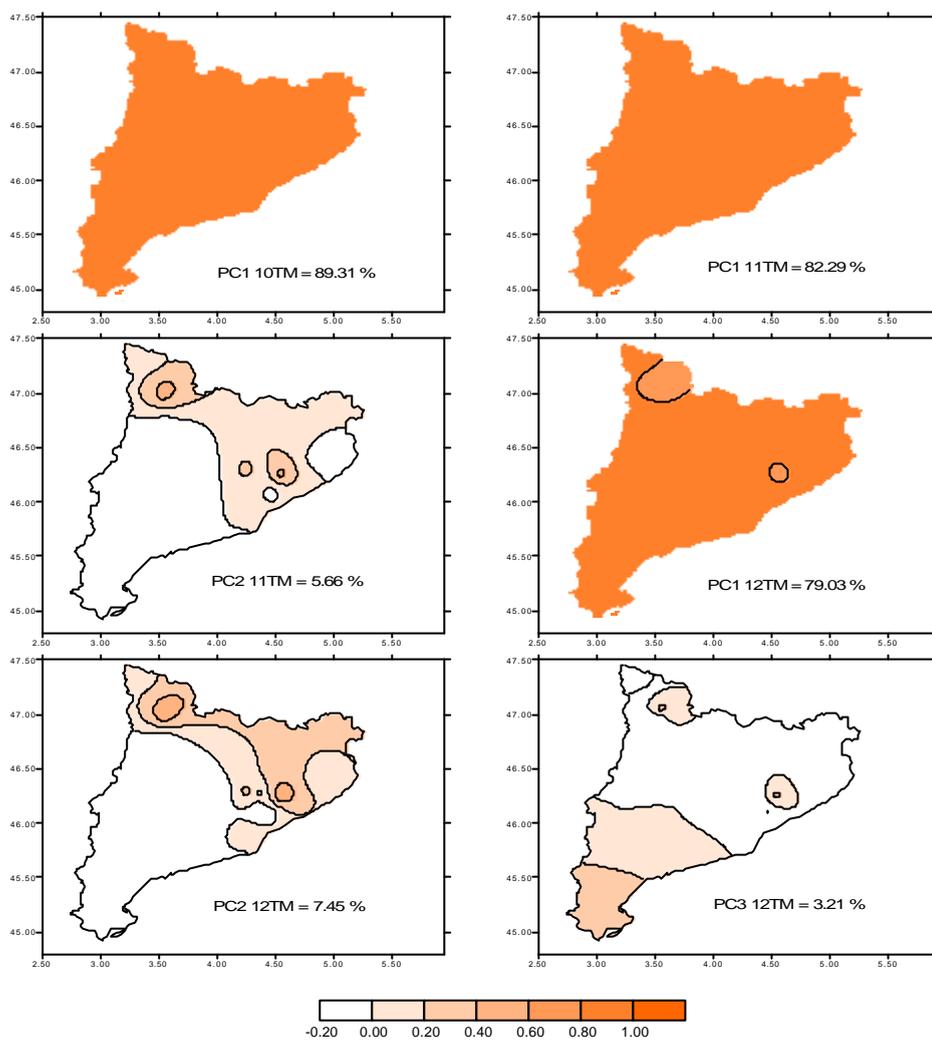


Figura A.I.4. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales identificados en los promedios mensuales de la temperatura media diaria (Continuación).

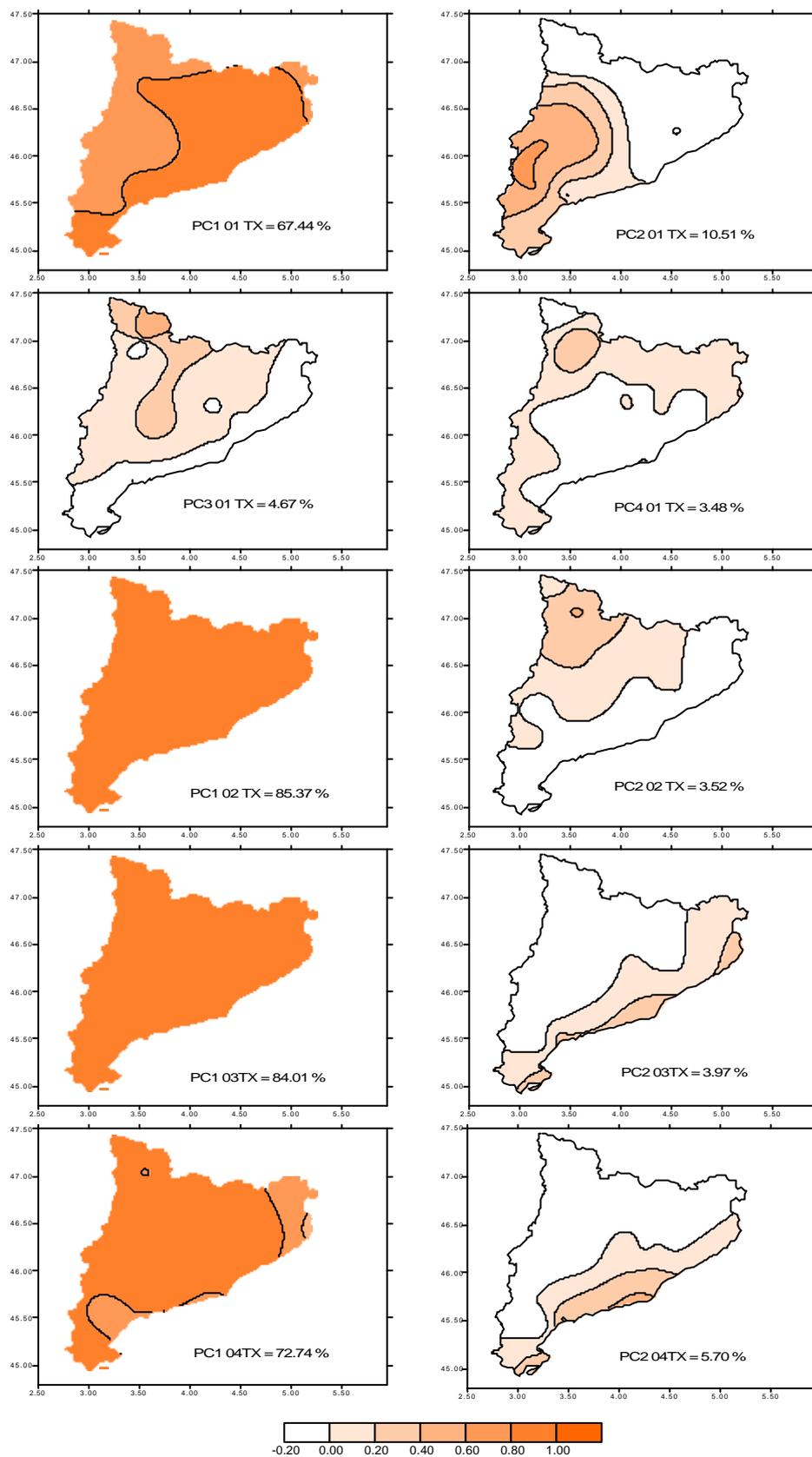


Figura A.I.5. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales identificados en los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria.

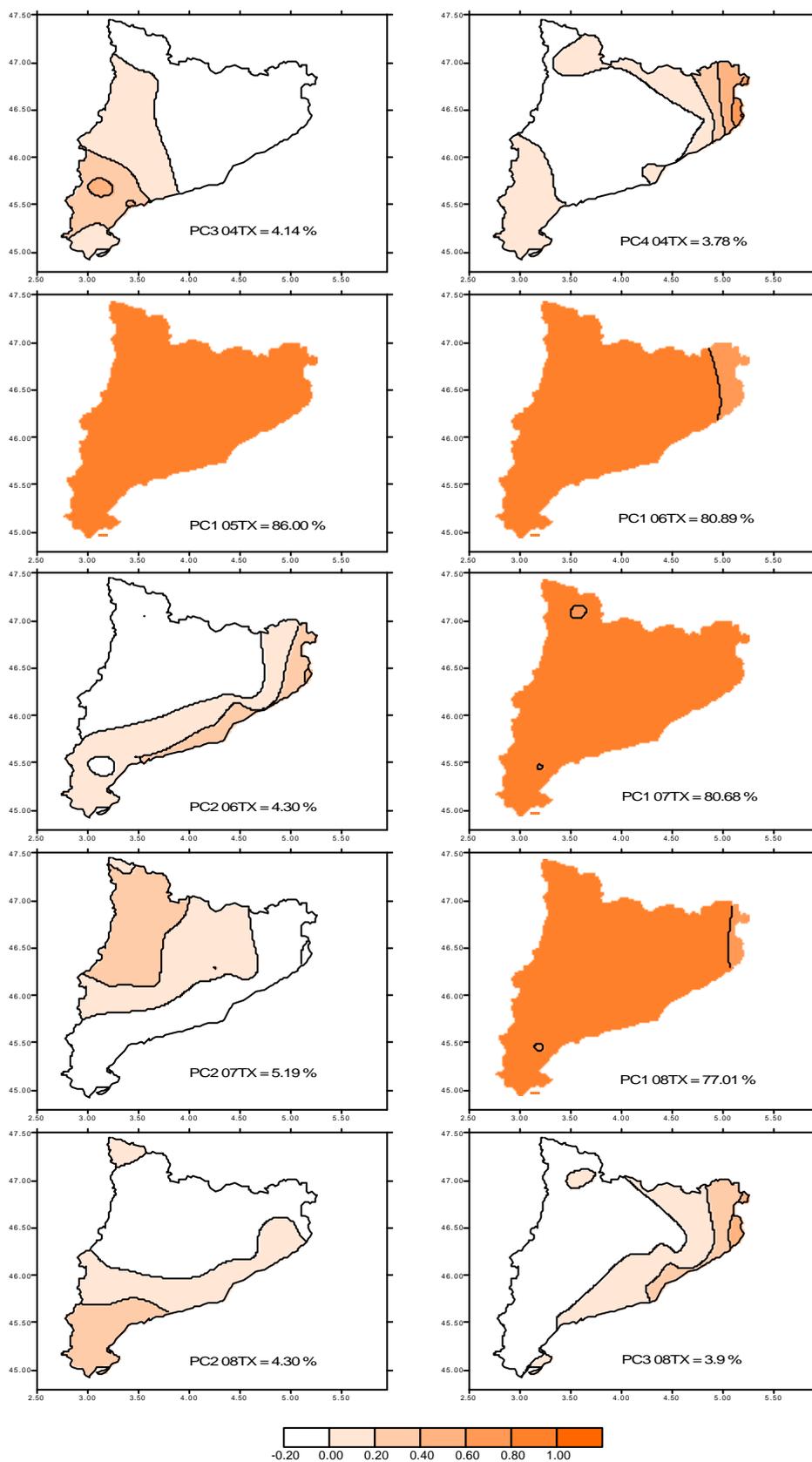


Figura A.I.5. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales identificados en los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria (Continuación).

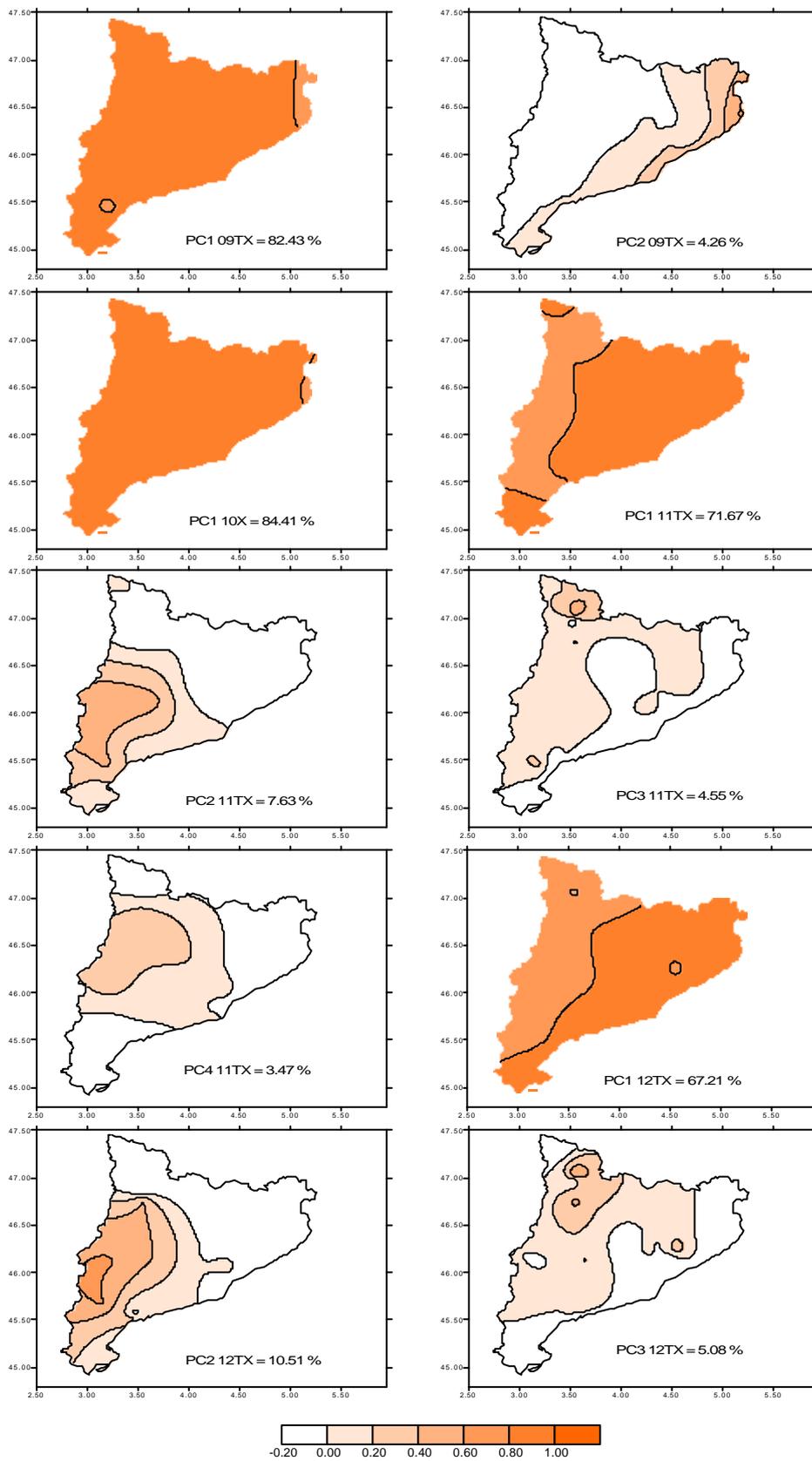
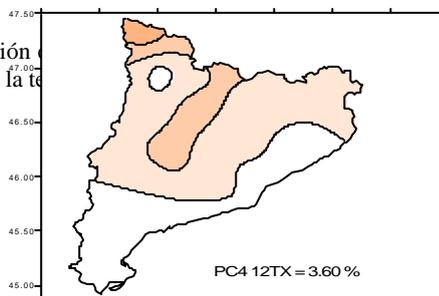


Figura A.I.5. Distribución de los principales promedios mensuales de la temperatura del aire en Cataluña, y los principales identificados en los



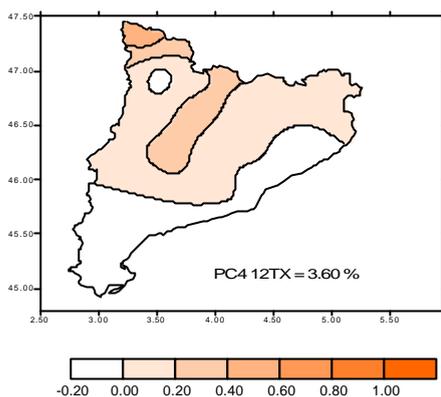


Figura A.I.5. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales identificados en los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria (Continuación).

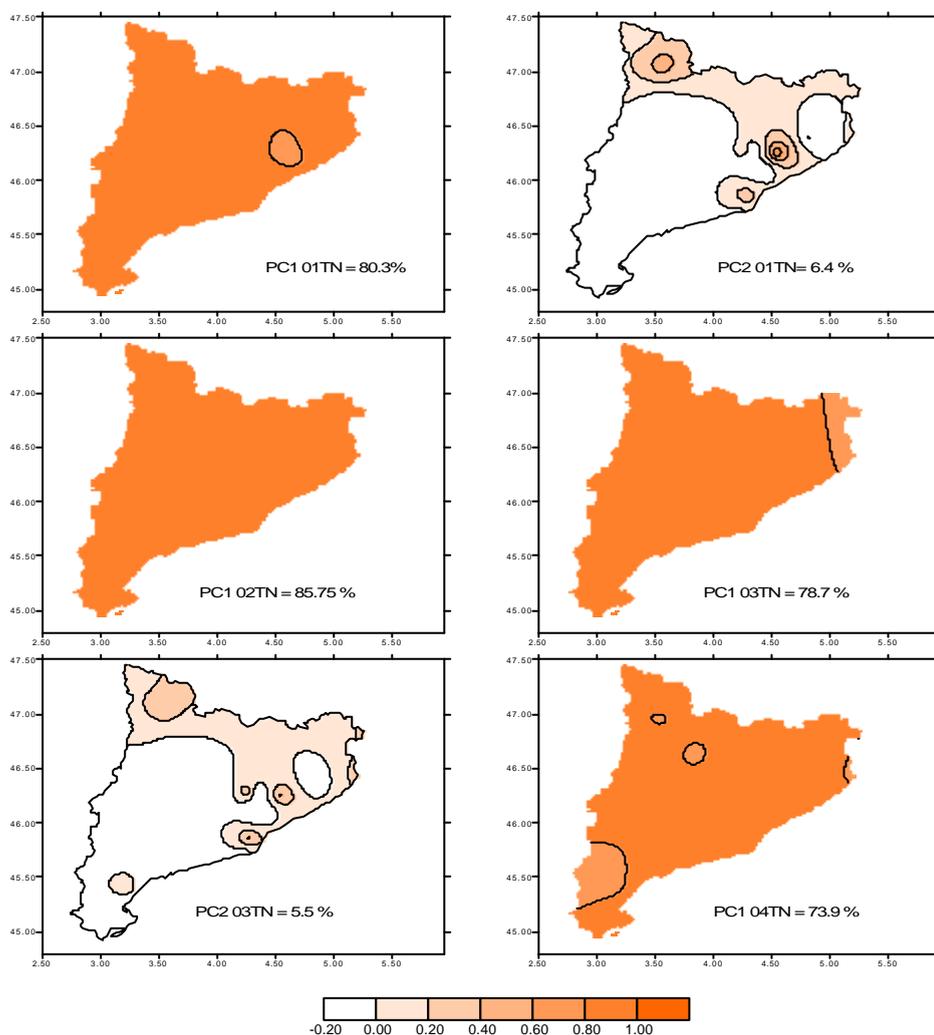


Figura A.I.6. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales identificados en los promedios mensuales de la temperatura mínima diaria.

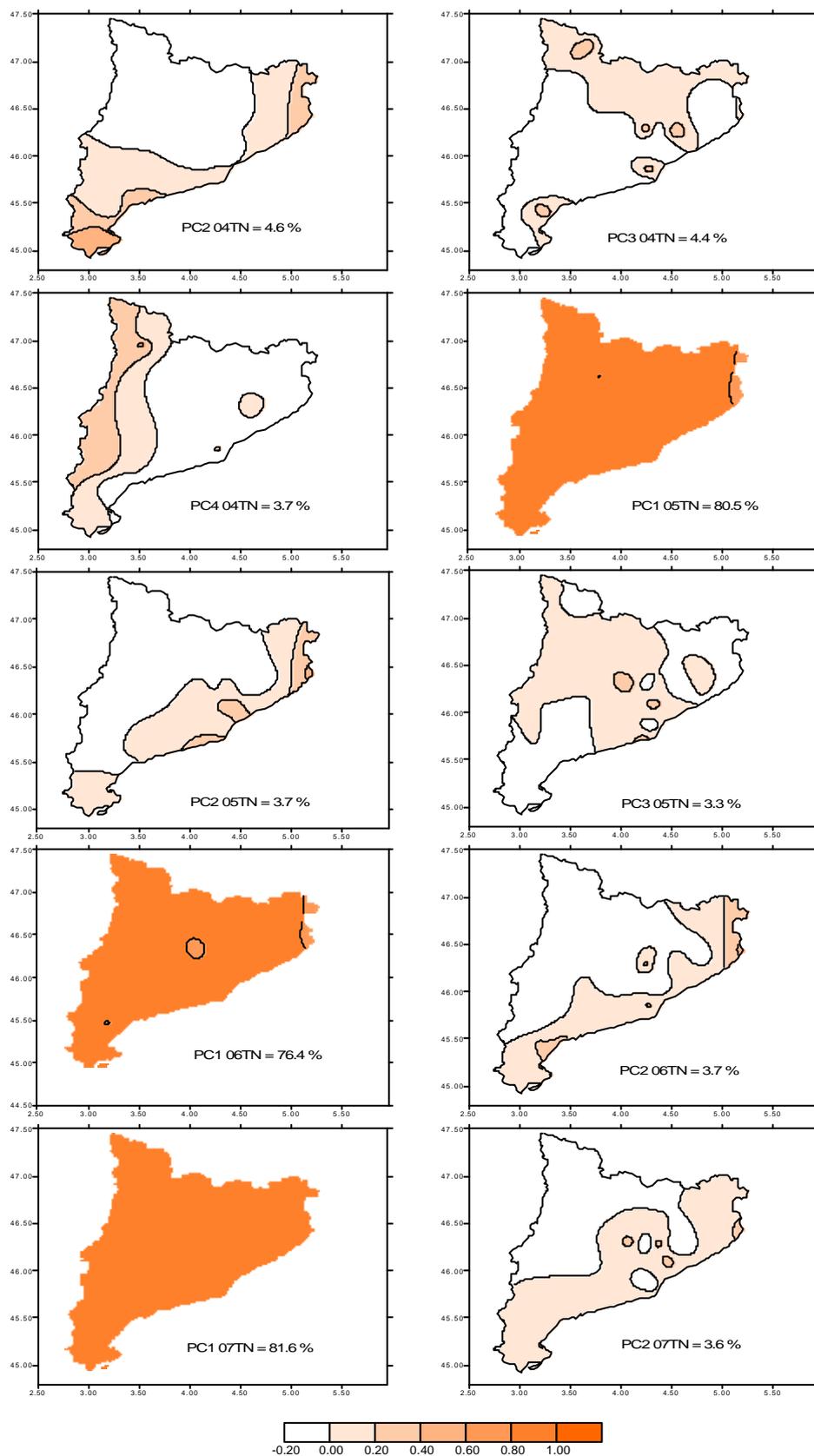


Figura A.I.6. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales identificados en los promedios mensuales de la temperatura mínima diaria (Continuación).

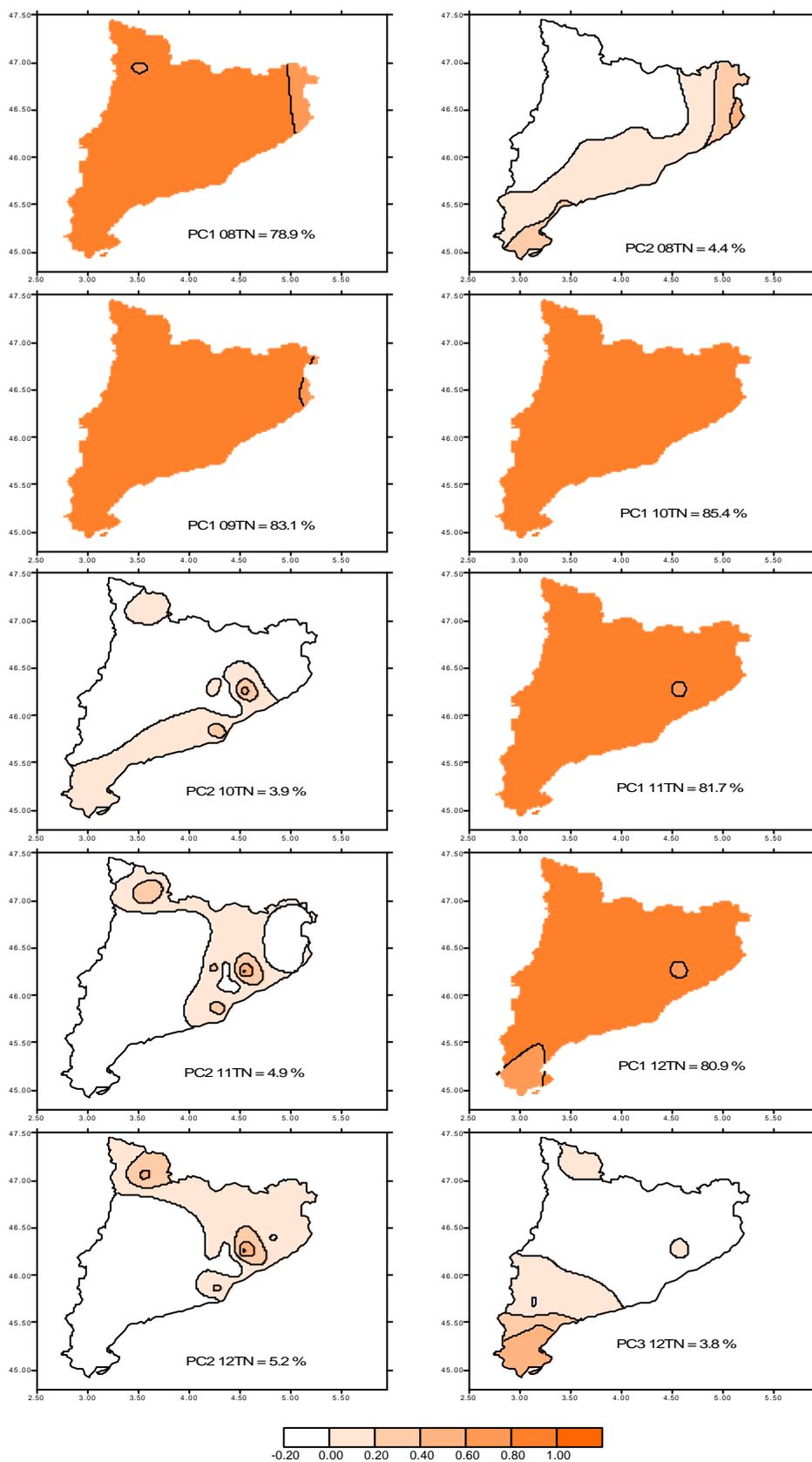


Figura A.I.6. Distribución espacial de los pesos de los componentes principales identificados en los promedios mensuales de la temperatura mínima diaria (Continuación).

APENDICE II. Series regionales correspondientes a los promedios mensuales de la temperatura superficial del aire media, máxima y mínima diarias en el conjunto del territorio catalán

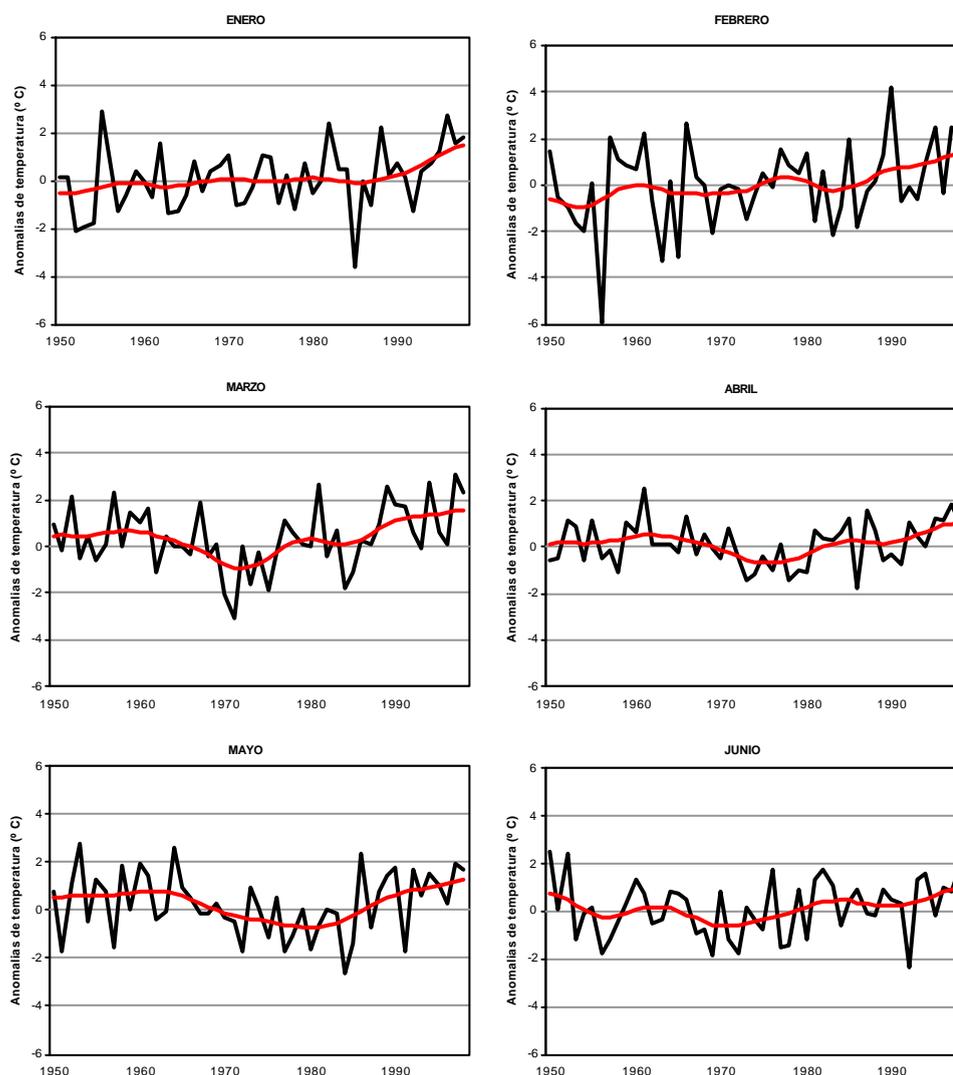


Figura A.II.1. Series regionales de la temperatura superficial del aire en Cataluña correspondientes a los promedios mensuales de la temperatura media diaria (línea negra). Filtro gausiano de 13 terminos (línea roja).

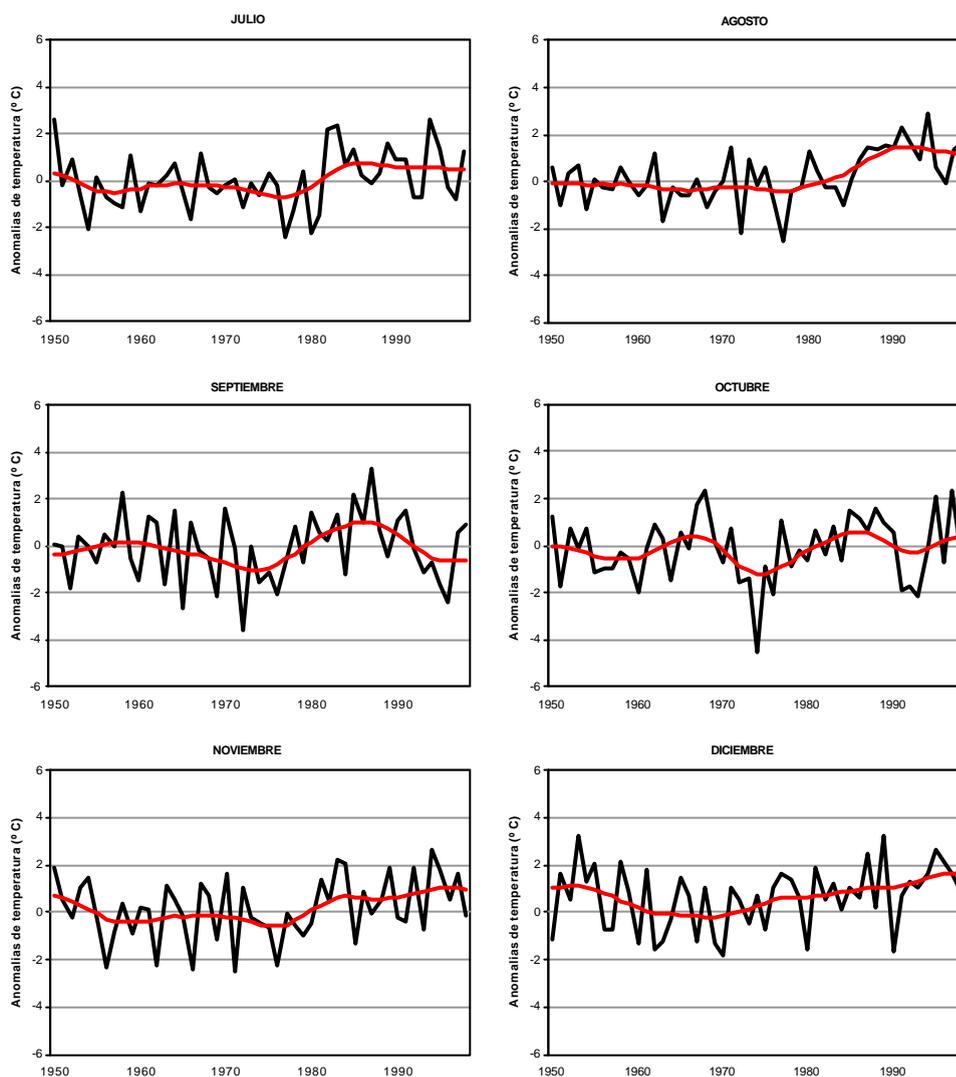


Figura A.II.1. Series regionales de la temperatura superficial del aire en Cataluña correspondientes a los promedios mensuales de la temperatura media diaria (línea negra). Filtro gausiano de 13 terminos (línea roja). (Continuación).

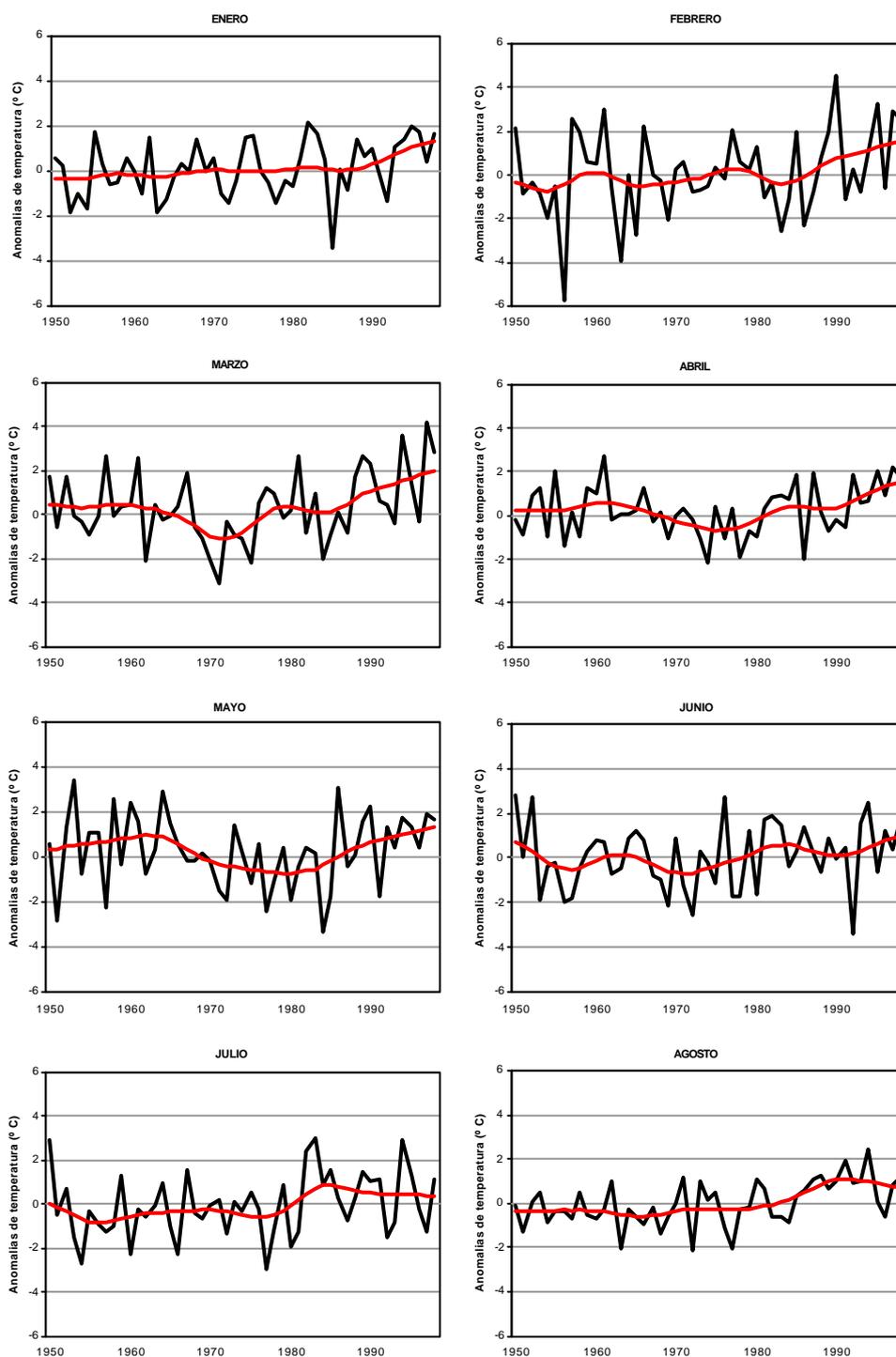


Figura A.II.2. Series regionales de la temperatura superficial del aire en Cataluña correspondientes a los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria (línea negra). Filtro gausiano de 13 terminos (línea roja).

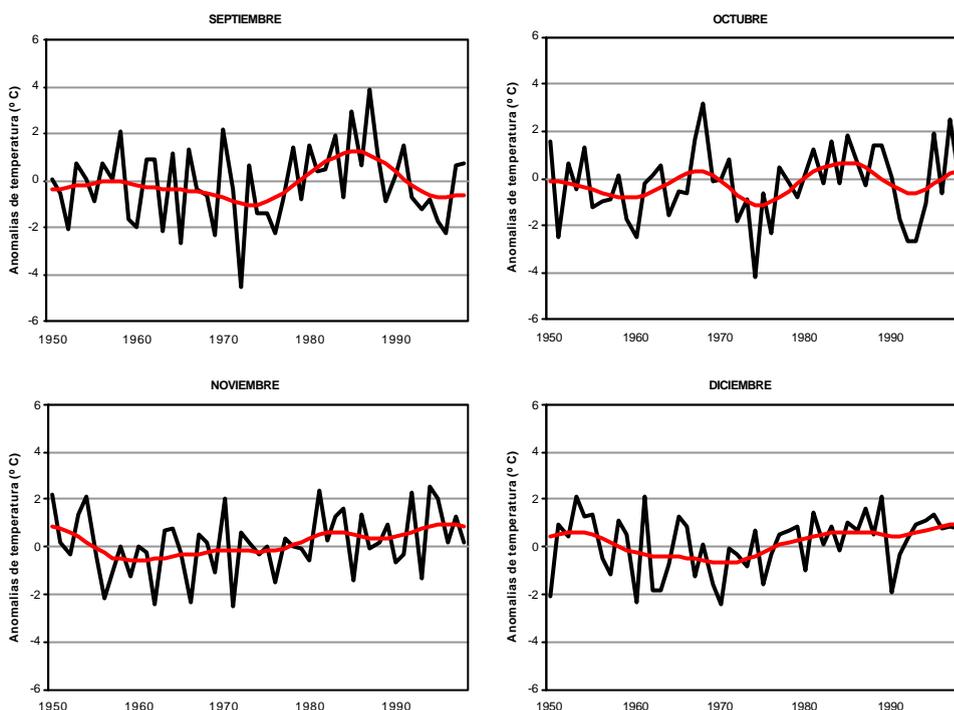


Figura A.II.2. Series regionales de la temperatura superficial del aire en Cataluña correspondientes a los promedios mensuales de la temperatura máxima diaria (línea negra). Filtro gausiano de 13 terminos (línea roja). (Continuación).

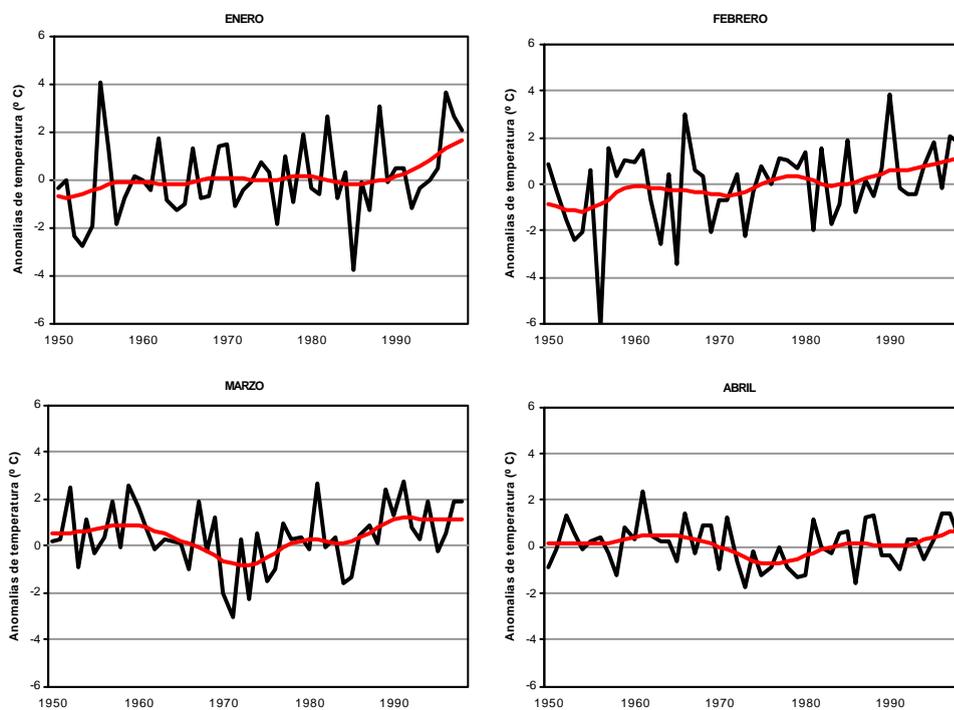


Figura A.II.3. Series regionales de la temperatura superficial del aire en Cataluña correspondientes a los promedios mensuales de la temperatura mínima diaria (línea negra). Filtro gausiano de 13 terminos (línea roja).

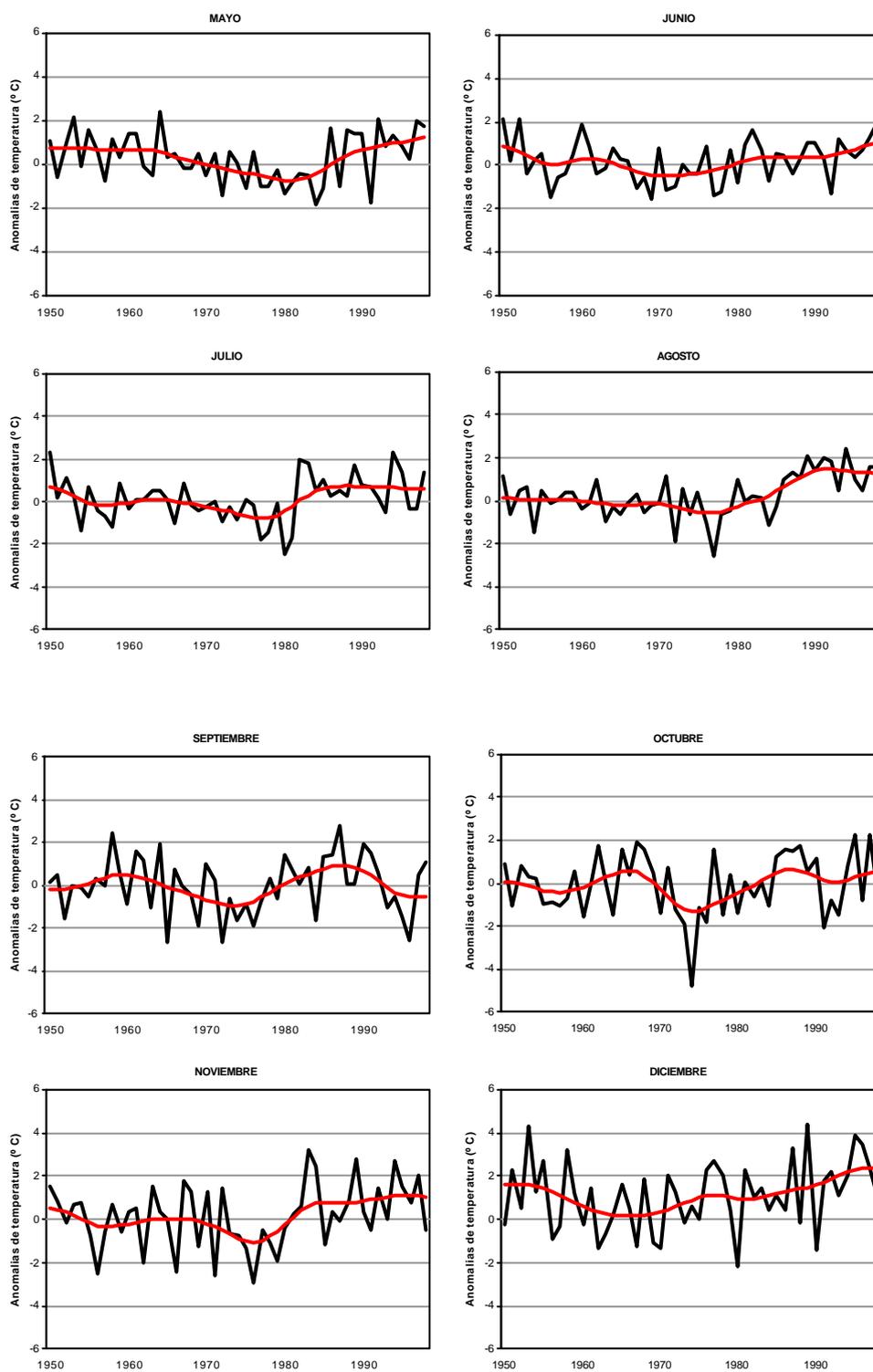
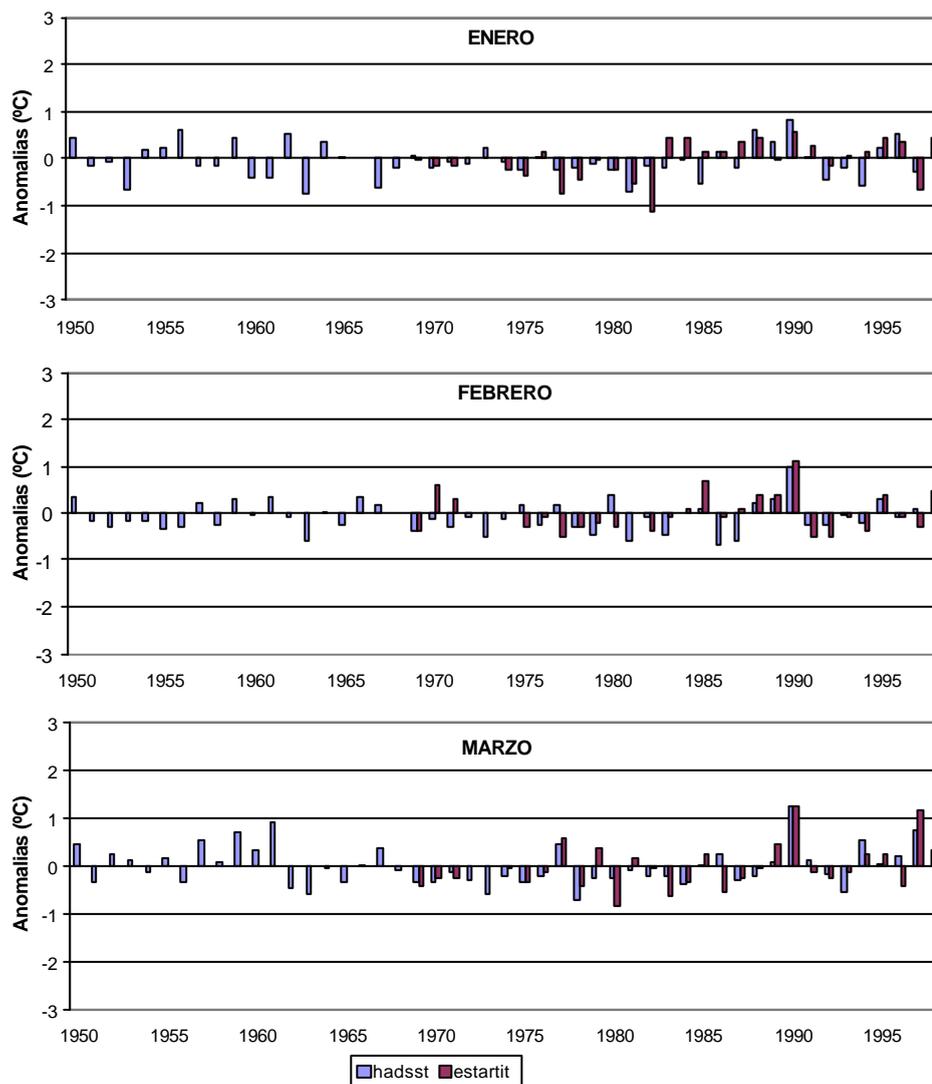


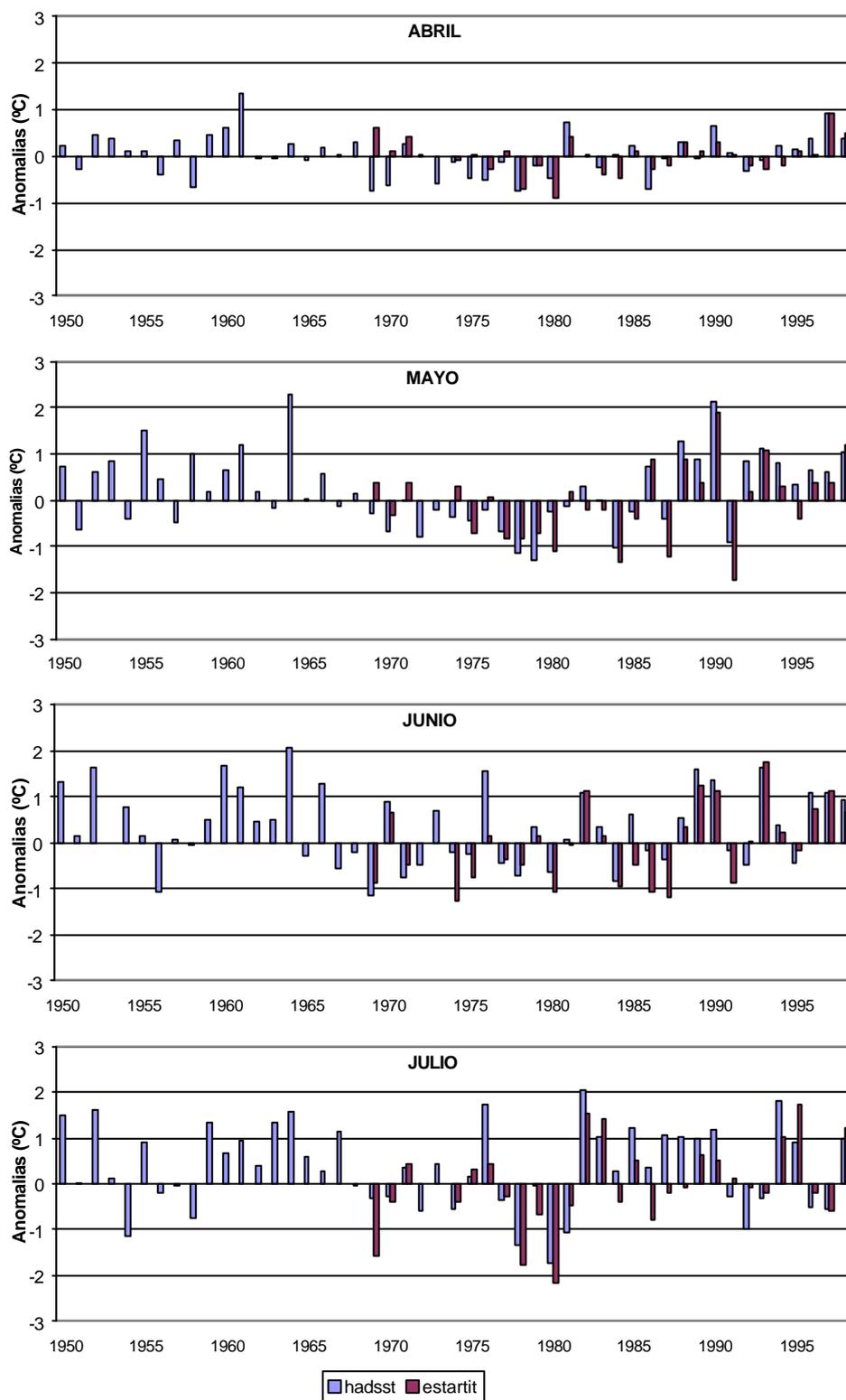
Figura A.II.3. Series regionales de la temperatura superficial del aire en Cataluña correspondientes a los promedios mensuales de la temperatura mínima diaria (línea negra). Filtro gaussiano de 13 terminos (línea roja). (Continuación).

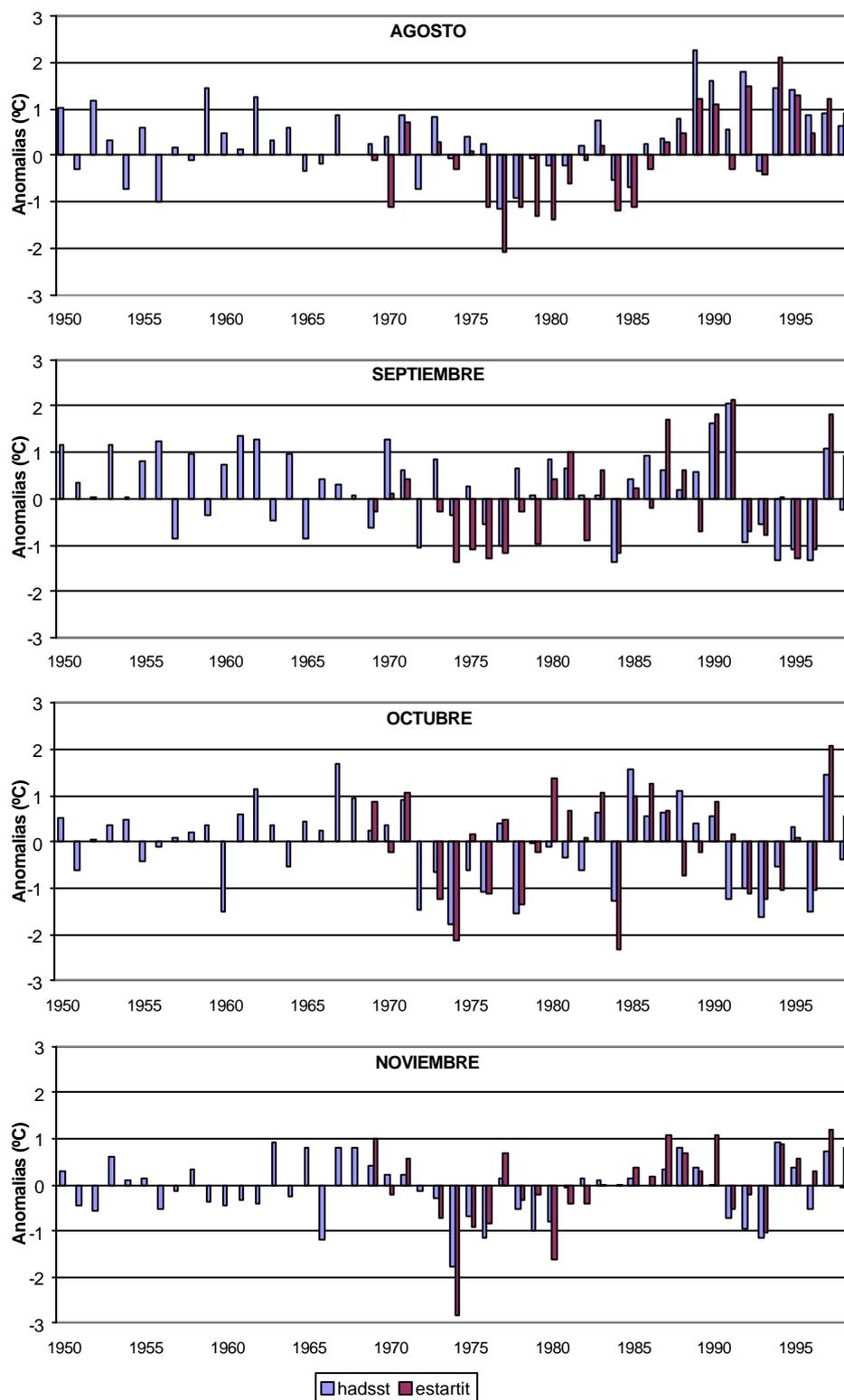
APENDICE III. Evolución de la temperatura superficial en el Mediterraneo Occidental

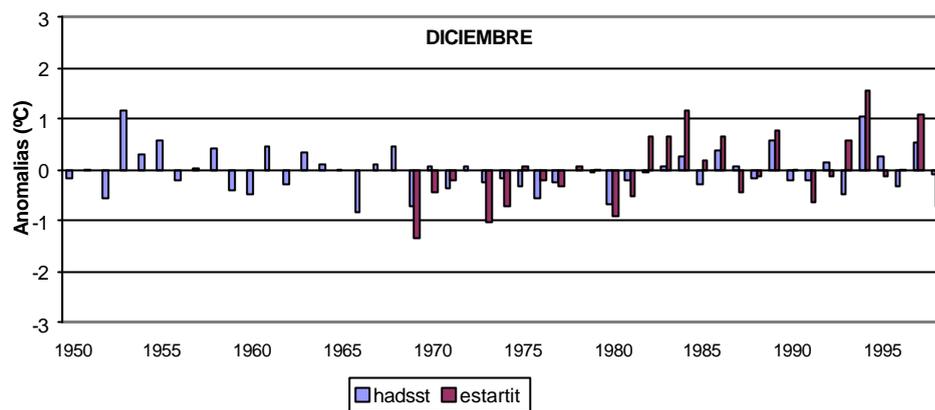
Evolución de las series de anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar correspondientes a:

- los valores de la cuadrícula que comprende los 40°-45° de latitud norte y 0°-5° de longitud este de la base de datos HadSST1 de temperatura superficial del mar para el periodo 1950 – 1998,
- las observaciones realizadas frente a la localidad de L’Estartit entre 1969 y 1998.









APENDICE V. Correlaciones entre los patrones espaciales de la temperatura superficial del aire en Cataluña y los índices teleconectivos

Las siguientes tablas recogen los coeficientes de correlación con significación estadística al 95 % y 99 % entre los componentes de la temperatura integrados dentro de los cuatro patrones espaciales de la temperatura superficial del aire en Cataluña y los índices correspondientes a los modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia. Se indican las correlaciones entre la temperatura y los índices teleconectivos del mismo mes, del mes anterior y con dos meses de diferencia.

En la Tabla A.V.1 se enumeran todos los coeficientes de correlación con significación estadística al 95 % y al 99% entre las series de los componentes térmicos incluidos en los patrones espaciales de temperatura y los índices de los patrones teleconectivos para el periodo 1950-1998.

La Tabla A.V.2 muestra los coeficientes de correlación con los niveles mencionados de significación estadística entre los componentes de la temperatura y los valores positivos de los índices teleconectivos. La correlación con los valores negativos de los índices se recoge en la Tabla A.V.3.

Tabla A.V.1. Coeficientes de correlación entre los componentes de temperatura identificados con los patrones espaciales de temperatura y los índices teleconectivos para el periodo 1950-1998.
* nivel de significación del 95 %; ** nivel de significación del 99 %.

Componente	Patrón espacial	NAO	EA	EA-JET	WP	EP	NP	PNA	FAWB	SCA	TNH	POL	PI	SZ	ASU	NAOJON	SOUJON
RPC101TM	Dep. Occidental								-0.46**			-0.32*				-0.30*	
RPC201TM	Montaña		0.34*									0.50**				0.45**	
RPC101TN	Dep. Occidental	-0.31*							-0.38**	0.31*		-0.29*				-0.47**	
RPC201TN	Montaña		0.35*									0.43**				0.41**	
RPC201TX	Dep. Occidental								-0.46**			-0.43**					
RPC301TX	Litoral	0.29*														0.39**	
RPC102TX	Litoral		0.70**						-0.46**							0.44**	
RPC202TX	Noroccidental		0.32*							-0.40**		0.30*				0.54**	
RPC203TM	Litoral		0.59**			-0.31*											
RPC103TM	Noroccidental	0.41**	0.30*					0.29*	0.35*							0.54**	-0.32*
RPC103TN	Dep. Occidental		0.41**			-0.38**											
RPC203TN	Montaña	0.39**	0.46**						0.34*							0.60**	-0.37**
RPC203TX	Litoral		0.47**													0.43**	-0.29*
RPC103TX	Noroccidental		0.29*						0.51**							0.46**	
RPC204TM	Litoral		0.52**	0.29*		-0.32*			0.33*								
RPC104TM	Noroccidental																
RPC304TN	Litoral		0.44**			-0.29*										0.30*	
RPC204TN	Montaña					-0.37**											
RPC204TX	Litoral	-0.31*		0.42**													
RPC104TX	Noroccidental																
RPC305TN	Litoral																
RPC105TN	Noroccidental															0.28*	
RPC206TN	Litoral	0.34*		0.29*												0.29*	
RPC106TN	Noroccidental	-0.33*		0.30*											0.34*		
RPC206TX	Litoral																
RPC106TX	Noroccidental			0.51**												0.38**	
RPC107TM	Litoral	0.31*		0.37**													
RPC207TM	Noroccidental																
RPC107TN	Litoral			0.42**													
RPC207TN	Noroccidental	0.36*															
RPC207TX	Litoral	0.35*		0.31*													
RPC107TX	Noroccidental																
RPC108TM	Litoral	0.28*															
RPC208TM	Noroccidental			0.58**												0.29*	
RPC108TN	Litoral									-0.30*							
RPC208TN	Noroccidental			0.40**												0.29*	
RPC308TX	Litoral	0.37**				-0.32*											
RPC108TX	Noroccidental			0.45**													
RPC209TX	Litoral		0.30*														
RPC109TX	Noroccidental															0.36*	
RPC110TN	Dep. Occidental					-0.29*		0.35*									
RPC210TN	Litoral									-0.37**						0.39**	
RPC111TM	Dep. Occidental					-0.31*				0.29*							
RPC211TM	Montaña		0.30*						0.54**							0.39**	

Apéndice

Componente	Patrón espacial	NAO	EA	EA-JET	WP	EP	NP	PNA	FAWR	SCA	TNH	POL	PT	SZ	ASU	NAQION	SQJON
RPC111TN	Dep. Occidental				-0.31*					0.28*						-0.44**	
RPC211TN	Montaña		0.31*						0.48**		-0.38**					0.39**	
RPC211TX	Dep. Occidental	-0.29*			-0.30*					0.33*							
RPC111TX	Litoral		0.39**								-0.36*					0.32*	
RPC311TX	Montaña								0.46**								
RPC112TM	Dep. Occidental								-0.31*		-0.43**						
RPC312TM	Montaña								0.54**							0.38**	
RPC112TN	Dep. Occidental	-47**				-0.30*										-0.51**	
RPC212TN	Montaña		0.36*						0.53**								
RPC212TX	Dep. Occidental								-0.40**	0.32*							
RPC112TX	Litoral		0.44**														
RPC312TX	Montaña								0.45**							0.32*	
Componente	Patrón espacial	NAO-1	EA-1	EA-JET-1	WP-1	EP-1	NP-1	PNA-1	FAWR-1	SCA-1	TNH-1	POL-1	PT-1	SZ-1	ASU-1	NAQION-1	SQJON-1
RPC101TM	Dep. Occidental																
RPC201TM	Montaña								-0.29*	-0.33*							
RPC101TN	Dep. Occidental	-0.39**														-0.35*	
RPC201TN	Montaña								-0.33*	-0.33*							
RPC201TX	Dep. Occidental								-0.29*	-0.29*	-0.36*						
RPC301TX	Litoral									-0.42**							
RPC102TX	Litoral		0.31*		0.41**					0.33*							
RPC202TX	Noroccidental																
RPC203TM	Litoral																
RPC103TM	Noroccidental															0.33*	
RPC103TN	Dep. Occidental																
RPC203TN	Montaña															0.34*	
RPC203TX	Litoral		0.36*									0.29*				0.36*	
RPC103TX	Noroccidental																
RPC204TM	Litoral								0.45**								
RPC104TM	Noroccidental															-0.29*	
RPC304TN	Litoral								0.43**								
RPC204TN	Montaña																
RPC204TX	Litoral	0.32*						0.28*	0.31*	-0.28*						0.39**	-0.42**
RPC104TX	Noroccidental		-0.31*													-0.43**	
RPC305TN	Litoral																
RPC105TN	Noroccidental																
RPC206TN	Litoral					-0.30*											
RPC106TN	Noroccidental												-0.37**				
RPC206TX	Litoral																
RPC106TX	Noroccidental																
RPC107TM	Litoral			0.40**													
RPC207TM	Noroccidental																
RPC107TN	Litoral			0.30*													
RPC207TN	Noroccidental																
RPC207TX	Litoral			0.40**													
RPC107TX	Noroccidental															0.30*	
RPC108TM	Litoral	0.30*		0.39**												0.394**	
RPC208TM	Noroccidental																
RPC108TN	Litoral			0.38**												0.334*	

Variabilidad espacio-temporal de la temperatura del aire en Cataluña

Componente	Patrón espacial	NAO-1	EA-1	EA-JET-1	WP-1	FP-1	NP-1	PNA-1	FAWR-1	SCA-1	TNH-1	POL-1	PT-1	SZ-1	ASU-1	NAOION-1	SOLION-1
RPC208TN	Noroccidental														0.301*		
RPC308TX	Litoral														0.336*		
RPC108TX	Noroccidental	-0.29*															
RPC209TX	Litoral																
RPC109TX	Noroccidental	-0.34*															
RPC110TN	Dep. Occidental													-0.395**			-0.32*
RPC210TN	Litoral																
RPC111TM	Dep. Occidental																
RPC211TM	Montaña																
RPC111TN	Dep. Occidental																
RPC211TN	Montaña								-0.33*								
RPC211TX	Dep. Occidental																
RPC111TX	Litoral																-0.30*
RPC311TX	Montaña		-0.32*														
RPC112TM	Dep. Occidental									0.29*							
RPC312TM	Montaña																
RPC112TN	Dep. Occidental																
RPC212TN	Montaña																
RPC212TX	Dep. Occidental									0.29*							
RPC112TX	Litoral																
RPC312TX	Montaña																
Componente	Patrón espacial	NAO-2	EA-2	EA-JET-2	WP-2	FP-2	NP-2	PNA-2	FAWR-2	SCA-2	TNH-2	POL-2	PT-2	SZ-2	ASU-2	NAOION-2	SOLION-2
RPC101TM	Dep. Occidental																
RPC201TM	Montaña																
RPC101TN	Dep. Occidental																
RPC201TN	Montaña																
RPC201TX	Dep. Occidental															-0.32*	
RPC301TX	Litoral									-0.31*							
RPC102TX	Litoral																
RPC202TX	Noroccidental																
RPC203TM	Litoral																
RPC103TM	Noroccidental	0.39**															
RPC103TN	Dep. Occidental																
RPC203TN	Montaña	0.38**							0.32*								
RPC203TX	Litoral																
RPC103TX	Noroccidental	0.32*															
RPC204TM	Litoral									-0.39**							
RPC104TM	Noroccidental																
RPC304TN	Litoral									-0.34*							
RPC204TN	Montaña																
RPC204TX	Litoral		0.43**							-0.35*						0.32*	
RPC104TX	Noroccidental																
RPC305TN	Litoral																
RPC105TN	Noroccidental																
RPC206TN	Litoral																
RPC106TN	Noroccidental																
RPC206TX	Litoral																
RPC106TX	Noroccidental																

Apendices

Componente	Patrón espacial	NAO-2	EA-2	EA-JET-2	WP-2	EP-2	NP-2	PNA-2	FAWR-2	SCA-2	TNH-2	POL-2	PT-2	SZ-2	ASU-2	NAOJON-2	SOJON-2
RPC107TM	Litoral						-0.29*										
RPC207TM	Noroccidental																
RPC107TN	Litoral									-0.29*							
RPC207TN	Noroccidental						-0.34*										
RPC207TX	Litoral						-0.32*										
RPC107TX	Noroccidental				-0.30*												
RPC108TM	Litoral																
RPC208TM	Noroccidental																
RPC108TN	Litoral																
RPC208TN	Noroccidental	-0.45**		0.28*													
RPC308TX	Litoral																
RPC108TX	Noroccidental											0.32*					
RPC209TX	Litoral														0.35*		
RPC109TX	Noroccidental																
RPC110TN	Dep. Occidental												0.29*				-0.35*
RPC210TN	Litoral																
RPC111TM	Dep. Occidental																
RPC211TM	Montaña																
RPC111TN	Dep. Occidental									0.28*				-0.31*			
RPC211TN	Montaña																
RPC211TX	Dep. Occidental									0.35*							
RPC111TX	Litoral																
RPC311TX	Montaña																
RPC112TM	Dep. Occidental					-0.34*		0.32*									-0.37**
RPC312TM	Montaña								-0.32*								
RPC112TN	Dep. Occidental																
RPC212TN	Montaña																
RPC212TX	Dep. Occidental																
RPC112TX	Litoral		0.36*						-0.35*								-0.32*
RPC312TX	Montaña																

Tabla A.V.2. Coeficientes de correlación entre los componentes de temperatura identificados con los patrones espaciales de temperatura y los valores positivos de los índices teleconectivos para el periodo 1950-1998.
* nivel de significación del 95 %; ** nivel de significación del 99 %.

Componente	Patrón espacial	NAO	EA	EA-JET	WP	EP	NP	PNA	EA/WR	SCA	TNH	POL	PT	SZ	ASU	NAOJON	SOJON
RPC101TM	Dep. Occidental					-0.43*						-0.54*					
RPC201TM	Montaña		0.49*													0.59**	0.43*
RPC101TN	Dep. Occidental																
RPC201TN	Montaña		0.55**													0.61**	
RPC201TX	Dep. Occidental					-0.43*						-0.64**					
RPC301TX	Litoral				-0.43*					0.41*							
RPC102TX	Litoral		0.46*						-0.48*							0.41*	
RPC202TX	Noroccidental		0.53**		0.58**											0.45*	
RPC203TM	Litoral																
RPC103TM	Noroccidental								0.39*								
RPC103TN	Dep. Occidental																
RPC203TN	Montaña																
RPC203TX	Litoral																
RPC103TX	Noroccidental								0.47*								
RPC204TM	Litoral		0.60**			-0.41*											
RPC104TM	Noroccidental																
RPC304TN	Litoral		0.63**														
RPC204TN	Montaña																
RPC204TX	Litoral			0.51**						0.37*							
RPC104TX	Noroccidental																
RPC305TN	Litoral	0.50*															
RPC105TN	Noroccidental												-0.44*				
RPC206TN	Litoral																
RPC106TN	Noroccidental																0.59**
RPC206TX	Litoral																
RPC106TX	Noroccidental	0.47*		0.50**													
RPC107TM	Litoral																
RPC207TM	Noroccidental																
RPC107TN	Litoral																-0.39*
RPC207TN	Noroccidental																
RPC207TX	Litoral					0.47*											
RPC107TX	Noroccidental						0.44*										
RPC108TM	Litoral																0.54*
RPC208TM	Noroccidental							0.42*									
RPC108TN	Litoral												0.36*			0.46*	
RPC208TN	Noroccidental																
RPC308TX	Litoral			0.41*										0.50**			
RPC108TX	Noroccidental																
RPC209TX	Litoral																
RPC109TX	Noroccidental																
RPC110TN	Dep. Occidental					-0.51*											
RPC210TN	Litoral					-0.56**											
RPC111TM	Dep. Occidental																
RPC211TM	Montaña								0.47*								
RPC111TN	Dep. Occidental																

Apendices

Componente	Patrón espacial	NAO	EA	EA-JET	WP	EP	NP	PNA	FAWR	SCA	TNH	POL	PT	SZ	ASU	NAQJON	SQJON
RPC211TN	Montaña															0.41*	
RPC211TX	Dep. Occidental																
RPC111TX	Litoral																
RPC311TX	Montaña								0.53**								
RPC112TM	Dep. Occidental																
RPC312TM	Montaña																
RPC112TN	Dep. Occidental				0.52**												
RPC212TN	Montaña																
RPC212TX	Dep. Occidental																
RPC112TX	Litoral															0.43*	
RPC312TX	Montaña																
Componente	Patrón espacial	NAO-1	EA-1	EA-JET-1	WP-1	EP-1	NP-1	PNA-1	FAWR-1	SCA-1	TNH-1	POL-1	PT-1	SZ-1	ASU-1	NAQJON-1	SQJON-1
RPC101TM	Dep. Occidental																
RPC201TM	Montaña																
RPC101TN	Dep. Occidental																
RPC201TN	Montaña											0.41*					
RPC201TX	Dep. Occidental																-0.46*
RPC301TX	Litoral																
RPC102TX	Litoral																
RPC202TX	Noroccidental																
RPC203TM	Litoral					-0.40*											
RPC103TM	Noroccidental		0.48*														
RPC103TN	Dep. Occidental																
RPC203TN	Montaña		0.52**														
RPC203TX	Litoral															0.47*	
RPC103TX	Noroccidental		0.50**														
RPC204TM	Litoral																
RPC104TM	Noroccidental																
RPC304TN	Litoral																
RPC204TN	Montaña																
RPC204TX	Litoral									-0.53**							
RPC104TX	Noroccidental																
RPC305TN	Litoral						0.50**										
RPC105TN	Noroccidental																
RPC206TN	Litoral																
RPC106TN	Noroccidental																
RPC206TX	Litoral																
RPC106TX	Noroccidental																
RPC107TM	Litoral			0.42*													
RPC207TM	Noroccidental																
RPC107TN	Litoral																
RPC207TN	Noroccidental																
RPC207TX	Litoral			0.40*													
RPC107TX	Noroccidental																
RPC108TM	Litoral																0.39*
RPC208TM	Noroccidental																
RPC108TN	Litoral																
RPC208TN	Noroccidental																

Variabilidad espacio-temporal de la temperatura del aire en Cataluña

Componente	Patrón espacial	NAO-1	EA-1	EA-JET-1	WP-1	EP-1	NP-1	PNA-1	EA/WR-1	SCA-1	TNH-1	POL-1	PT-1	SZ-1	ASU-1	NAO.ION-1	SOL.ION-1
RPC308TX	Litoral			0.51**		0.47*											
RPC108TX	Noroccidental																
RPC209TX	Litoral																
RPC109TX	Noroccidental																
RPC110TN	Dep. Occidental																
RPC210TN	Litoral	0.39*															
RPC111TM	Dep. Occidental																
RPC211TM	Montaña																
RPC111TN	Dep. Occidental																
RPC211TN	Montaña																
RPC211TX	Dep. Occidental																
RPC111TX	Litoral																
RPC311TX	Montaña																
RPC112TM	Dep. Occidental																
RPC312TM	Montaña																
RPC112TN	Dep. Occidental																
RPC212TN	Montaña																
RPC212TX	Dep. Occidental																
RPC112TX	Litoral																
RPC312TX	Montaña																
Componente	Patrón espacial	NAO-2	EA-2	EA-JET-2	WP-2	EP-2	NP-2	PNA-2	EA/WR-2	SCA-2	TNH-2	POL-2	PT-2	SZ-2	ASU-2	NAO.ION-2	SOL.ION-2
RPC101TM	Dep. Occidental																-0.46*
RPC201TM	Montaña																0.46*
RPC101TN	Dep. Occidental																
RPC201TN	Montaña																
RPC201TX	Dep. Occidental																
RPC301TX	Litoral																
RPC102TX	Litoral																
RPC202TX	Noroccidental																
RPC203TM	Litoral									-0.51**							
RPC103TM	Noroccidental																
RPC103TN	Dep. Occidental																
RPC203TN	Montaña																
RPC203TX	Litoral																
RPC103TX	Noroccidental																
RPC204TM	Litoral		0.46*			0.53**										0.45*	
RPC104TM	Noroccidental																
RPC304TN	Litoral																
RPC204TN	Montaña																
RPC204TX	Litoral		0.53**					0.46*								0.45*	
RPC104TX	Noroccidental								0.49*								
RPC305TN	Litoral															0.39*	
RPC105TN	Noroccidental							-0.51*									
RPC206TN	Litoral																
RPC106TN	Noroccidental															0.44*	
RPC206TX	Litoral																
RPC106TX	Noroccidental																
RPC107TM	Litoral																

Apendices

Componente	Patrón espacial	NAO-2	EA-2	EA-JET-2	WP-2	EP-2	NP-2	PNA-2	FAWR-2	SCA-2	TNH-2	POL-2	PT-2	SZ-2	ASU-2	NAOJON-2	SOIJON-2
RPC207TM	Noroccidental																
RPC107TN	Litoral																
RPC207TN	Noroccidental																
RPC207TX	Litoral																
RPC107TX	Noroccidental																
RPC108TM	Litoral			0.59**													
RPC208TM	Noroccidental					0.50*											
RPC108TN	Litoral			0.53**			0.41*										
RPC208TN	Noroccidental					0.42*											
RPC308TX	Litoral			0.48**													
RPC108TX	Noroccidental																
RPC209TX	Litoral																
RPC109TX	Noroccidental																-0.44*
RPC110TN	Dep. Occidental																
RPC210TN	Litoral																
RPC111TM	Dep. Occidental													-0.45*			
RPC211TM	Montaña									0.42*				0.50*			
RPC111TN	Dep. Occidental																
RPC211TN	Montaña									0.47**				0.43*			
RPC211TX	Dep. Occidental													-0.51*			
RPC111TX	Litoral					-0.46*											
RPC311TX	Montaña		-0.52**							0.47**							
RPC112TM	Dep. Occidental																-0.61**
RPC312TM	Montaña																
RPC112TN	Dep. Occidental																
RPC212TN	Montaña							-0.40*									
RPC212TX	Dep. Occidental					-0.52*											-0.45*
RPC112TX	Litoral																
RPC312TX	Montaña															0.41*	

Tabla A.V.3. Coeficientes de correlación entre los componentes de temperatura identificados con los patrones espaciales de temperatura y los valores negativos de los índices teleconectivos para el periodo 1950-1998.
* nivel de significación del 95 %; ** nivel de significación del 99 %.

Componente	Patrón espacial	NAO	EA	EA-JET	WP	EP	NP	PNA	EA/WR	SCA	TNH	POL	PT	SZ	ASU	NAOJON	SOMON
RPC101TM	Dep. Occidental																
RPC201TM	Montaña									-0.50*	-0.45*						
RPC101TN	Dep. Occidental																
RPC201TN	Montaña									-0.51*	-0.46*						
RPC201TX	Dep. Occidental																
RPC301TX	Litoral									-0.51*							
RPC102TX	Litoral		0.46*													0.54*	
RPC202TX	Noroccidental																
RPC203TM	Litoral		0.42*														
RPC103TM	Noroccidental																
RPC103TN	Dep. Occidental	-0.39*															
RPC203TN	Montaña		0.48*														-0.41*
RPC203TX	Litoral				-0.44*											0.50*	
RPC103TX	Noroccidental																
RPC204TM	Litoral								0.44*								
RPC104TM	Noroccidental								-0.70**								
RPC304TN	Litoral							-0.38*	0.42*								
RPC204TN	Montaña								-0.53**								
RPC204TX	Litoral									-0.55*							
RPC104TX	Noroccidental								-0.62**								
RPC305TN	Litoral									-0.40*							
RPC105TN	Noroccidental	0.47*			0.75**												
RPC206TN	Litoral																
RPC106TN	Noroccidental																
RPC206TX	Litoral																
RPC106TX	Noroccidental		0.47*														
RPC107TM	Litoral		0.53*			0.52**	0.44*										
RPC207TM	Noroccidental				-0.44*												
RPC107TN	Litoral		0.63**				0.56**										
RPC207TN	Noroccidental															0.44*	
RPC207TX	Litoral					0.54**											
RPC107TX	Noroccidental																
RPC108TM	Litoral																
RPC208TM	Noroccidental																
RPC108TN	Litoral																
RPC208TN	Noroccidental									0.39*							
RPC308TX	Litoral																
RPC108TX	Noroccidental																
RPC209TX	Litoral																
RPC109TX	Noroccidental		0.41*													0.65**	
RPC110TN	Dep. Occidental																
RPC210TN	Litoral																
RPC111TM	Dep. Occidental																
RPC211TM	Montaña		0.46*								-0.55**						
RPC111TN	Dep. Occidental																

Apendices

Componente	Patrón espacial	NAO	EA	EA-JET	WP	EP	NP	PNA	FAWR	SCA	TNH	POL	PT	SZ	ASU	NAOJON	SOJON
RPC211TN	Montaña		0.51*														
RPC211TX	Dep. Occidental																
RPC111TX	Litoral																
RPC311TX	Montaña																
RPC112TM	Dep. Occidental																
RPC312TM	Montaña								0.43*								
RPC112TN	Dep. Occidental	-0.43*					-0.41*										-0.64**
RPC212TN	Montaña								0.46*								
RPC212TX	Dep. Occidental																
RPC112TX	Litoral							0.54*									
RPC312TX	Montaña								0.41*								
Componente	Patrón espacial	NAO-1	EA-1	EA-JET-1	WP-1	EP-1	NP-1	PNA-1	FAWR-1	SCA-1	TNH-1	POL-1	PT-1	SZ-1	ASU-1	NAOJON-1	SOJON-1
RPC101TM	Dep. Occidental																0.39*
RPC201TM	Montaña																
RPC101TN	Dep. Occidental	-0.43*															0.37*
RPC201TN	Montaña																
RPC201TX	Dep. Occidental										0.45*						
RPC301TX	Litoral							0.54*									
RPC102TX	Litoral		0.43*														
RPC202TX	Noroccidental																
RPC203TM	Litoral																
RPC103TM	Noroccidental																
RPC103TN	Dep. Occidental																
RPC203TN	Montaña																
RPC203TX	Litoral																
RPC103TX	Noroccidental																
RPC204TM	Litoral																-0.48**
RPC104TM	Noroccidental							-0.46*									
RPC304TN	Litoral																
RPC204TN	Montaña																-0.46*
RPC204TX	Litoral		0.41*														-0.59**
RPC104TX	Noroccidental							-0.40*									
RPC305TN	Litoral							-0.50*									
RPC105TN	Noroccidental							0.48*									
RPC206TN	Litoral		-0.45*			0.42*											
RPC106TN	Noroccidental																
RPC206TX	Litoral				0.58*												
RPC106TX	Noroccidental					0.46*				-0.42*							0.44*
RPC107TM	Litoral																
RPC207TM	Noroccidental																
RPC107TN	Litoral																
RPC207TN	Noroccidental	-0.44*															
RPC207TX	Litoral	-0.41*															
RPC107TX	Noroccidental																
RPC108TM	Litoral																
RPC208TM	Noroccidental																
RPC108TN	Litoral																
RPC208TN	Noroccidental																

Variabilidad espacio-temporal de la temperatura del aire en Cataluña

Componente	Patrón espacial	NAO-1	EA-1	EA-JET-1	WP-1	FP-1	NP-1	PNA-1	EA/WR-1	SCA-1	TNH-1	POL-1	PT-1	SZ-1	ASU-1	NAOJON-1	SOIJON-1
RPC308TX	Litoral															0.45*	
RPC108TX	Noroccidental																
RPC209TX	Litoral								0.43*					-0.50*			
RPC109TX	Noroccidental																
RPC110TN	Dep. Occidental							-0.64**									
RPC210TN	Litoral																
RPC111TM	Dep. Occidental		-0.39*														
RPC211TM	Montaña																
RPC111TN	Dep. Occidental																
RPC211TN	Montaña																
RPC211TX	Dep. Occidental																
RPC111TX	Litoral				0.43*												-0.38*
RPC311TX	Montaña	-0.46*															
RPC112TM	Dep. Occidental																
RPC312TM	Montaña					0.50*											
RPC112TN	Dep. Occidental							0.44*									
RPC212TN	Montaña																
RPC212TX	Dep. Occidental																
RPC112TX	Litoral																
RPC312TX	Montaña					0.48*											
Componente	Patrón espacial	NAO-2	EA-2	EA-JET-2	WP-2	FP-2	NP-2	PNA-2	EA/WR-2	SCA-2	TNH-2	POL-2	PT-2	SZ-2	ASU-2	NAOJON-2	SOIJON-2
RPC101TM	Dep. Occidental										0.50*						0.36*
RPC201TM	Montaña																
RPC101TN	Dep. Occidental										0.48*						0.36*
RPC201TN	Montaña																
RPC201TX	Dep. Occidental																
RPC301TX	Litoral																
RPC102TX	Litoral																
RPC202TX	Noroccidental																
RPC203TM	Litoral																
RPC103TM	Noroccidental																
RPC103TN	Dep. Occidental																
RPC203TN	Montaña																
RPC203TX	Litoral																
RPC103TX	Noroccidental																
RPC204TM	Litoral																
RPC104TM	Noroccidental																
RPC304TN	Litoral																
RPC204TN	Montaña																
RPC204TX	Litoral																
RPC104TX	Noroccidental																
RPC305TN	Litoral		0.42*														
RPC105TN	Noroccidental																
RPC206TN	Litoral																
RPC106TN	Noroccidental							0.49**									
RPC206TX	Litoral																
RPC106TX	Noroccidental		0.50*														
RPC107TM	Litoral																

Apendices

Componente	Patrón espacial	NAO-2	EA-2	EA-JET-2	WP-2	EP-2	NP-2	PNA-2	FAWR-2	SCA-2	TNH-2	POL-2	PT-2	SZ-2	ASU-2	NAOION-2	SOLION-2
RPC207TM	Noroccidental				-0.65**												-0.47*
RPC107TN	Litoral									-0.42*							
RPC207TN	Noroccidental				-0.49*												
RPC207TX	Litoral																
RPC107TX	Noroccidental				-0.71**												0.58**
RPC108TM	Litoral				-0.51**												
RPC208TM	Noroccidental																
RPC108TN	Litoral				-0.41*												
RPC208TN	Noroccidental																
RPC308TX	Litoral				-0.46*												
RPC108TX	Noroccidental																
RPC209TX	Litoral																
RPC109TX	Noroccidental																0.54**
RPC110TN	Dep. Occidental			0.67**													
RPC210TN	Litoral				-0.47*											0.46*	
RPC111TM	Dep. Occidental																
RPC211TM	Montaña													-0.47*			
RPC111TN	Dep. Occidental																
RPC211TN	Montaña													-0.44*			-0.42*
RPC211TX	Dep. Occidental																
RPC111TX	Litoral													-0.50**			-0.47*
RPC311TX	Montaña													-0.42*			
RPC112TM	Dep. Occidental	-0.45*						0.47*									
RPC312TM	Montaña		0.45*														
RPC112TN	Dep. Occidental																
RPC212TN	Montaña		0.46*														
RPC212TX	Dep. Occidental																
RPC112TX	Litoral								-0.51*								
RPC312TX	Montaña																

