

VARIABILIDAD DE LA TEMPERATURA ESTIVAL EN CATALUÑA 1950-1998

Javier SIGRÓ, Manola BRUNET, Enric AGUILAR, Oscar SALADIÉ y Diego LÓPEZ
Grupo de Investigación del Cambio Climático, Unidad de Geografía
Universitat Rovira i Virgili

RESUMEN

En el incremento térmico registrado durante el verano en Cataluña para el periodo 1950-1998 se diferencian dos sectores espaciales bien diferenciados. Uno, el sector representado por el patrón Litoral, que recoge los mayores incrementos de temperatura y cuya evolución aparece estrechamente relacionada con la temperatura del Mediterráneo y con las condiciones atmosféricas que favorecen la insolación. Dos, el sector del patrón Noroccidental, con un incremento menor relacionado principalmente con la evolución del índice EA-JET.

Palabras Clave: Temperatura estival, variabilidad, índices teleconectivos, temperatura superficial del mar.

ABSTRACT

This contribution aims to characterise summer temperature patterns, and their coupled modes of variability with the large-scale atmospheric circulation anomalies and sea surface temperatures (SST) of Western Mediterranean, over Catalonia for 1950-1998. Two spatial patterns of variability have emerged from RPCA. One, the Littoral pattern shows stronger contribution to regional increases in temperature, as well as reaches the highest correlations with Western Mediterranean SSTs. It is also well related to large-scale indices (EA-Jet and ASU), which determine cloud cover and thus sunshine levels over the western Mediterranean basin during previous months. Two, NW pattern has less contribution to summer regional warming and weaker relationships to Mediterranean SST. It is mainly related to EA-Jet without lag.

Key Words: summer temperature, variability, teleconnection patterns, SST.

1. INTRODUCCIÓN

El comportamiento térmico durante el verano presenta en la actualidad un interés al alza en relación con su cada vez mayor incidencia sobre la salud humana y su impacto económico sobre diversos sectores como el agrícola, el energético y la disponibilidad hídrica, dentro del contexto del incremento experimentado por la temperatura del aire durante los últimos 150 años.

El calentamiento experimentado por la temperatura del conjunto del territorio catalán en el periodo estival se cifra en torno a 0.6 ° C para el periodo 1869-1998 (Brunet *et al.*, 2001a), con un incremento anual de 0.033 para la temperatura máxima y de 0.012 para la temperatura mínima (Brunet *et al.*, 2001b).

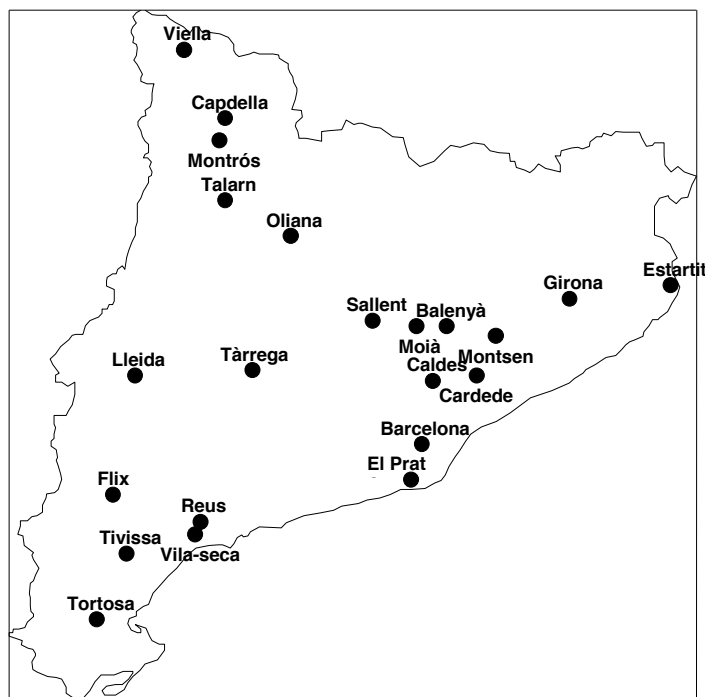


Fig. 1: Distribución en el territorio catalán de los observatorios meteorológicos utilizados en este trabajo.

El objetivo de este artículo es examinar la variabilidad del comportamiento térmico estival en Cataluña y su relación con diversos índices teleconectivos y con la temperatura superficial del mar Mediterráneo.

Existen diversos precedentes del estudio de la variabilidad de la temperatura de una parte del territorio de la Península Ibérica y de su relación con índices teleconectivos. Sáenz *et al.* (1999), relaciona la temperatura invernal del norte de la Península Ibérica con el patrón del Atlántico Este, relación que extiende en Sáenz *et al.* (2001) al sudoeste de Europa. 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 NAO también aparece relacionada con la ocurrencia de situaciones de días muy fríos en Madrid (Prieto *et al.*, 2002) y con la evolución térmica en Barcelona (Serra *et al.*, 2001).

2. DATOS Y METODOLOGIA

Para este estudio se han seleccionado 22 series de promedios de temperatura máxima diaria y 22 series de promedios de temperatura mínima diaria pertenecientes a la base de datos

NESATv.2¹, del Grupo de Investigación del Cambio Climático de la Universitat Rovira i Virgili. Esta base de datos recoge series de promedios mensuales de las temperaturas diarias procedentes de 22 observatorios de la red del Instituto Nacional de Meteorología (INM), sometidas a control de calidad y a un proceso de homogenización mediante *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). 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. La distribución espacial de los observatorios puede apreciarse en la Figura 1.

Los índices teleconectivos utilizados son: la Oscilación del Atlántico Norte (NAO1), el patrón del Atlántico Este - Jet (EA-JET), el patrón Tropical / Hemisferio Norte (TNH), el patrón Subtropical Zonal (SZ) y el patrón Asiático de Verano (ASU) facilitados por el *National Center for Environmental Prediction* (NCEP); y el índice la la Oscilacion del Atlantico Norte (NAO2) y de la Oscilación Austral (SOI) suministrados por la Climate Research Unit (CRU) de la Universidad de East Anglia.

Las series mensuales de temperatura superficial del mar (SST) corresponden a los valores de la cuadrícula de 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 CRU (Parker *et al.*, 1995).

Para la obtención de patrones térmicos diferenciados en el territorio se ha recurrido al Análisis de Componentes Principales (PCA) 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), que son combinación lineal de las variables originales y representan gran parte de la variabilidad contenida en el conjunto primitivo. 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 (Kaiser, 1960), con un umbral de 0.7, junto con el screegraph (Cattell, 1966). Estos componentes principales han sido sometidos a un proceso de rotación Varimax para obtener una solución más interpretable, (White *et al.*, 1991; Richman, 1986) obteniéndose los Componentes Principales Rotados (RPC).

Con el fin de analizar la relación existente entre la evolución de los patrones espaciales de temperatura y los distintos patrones de circulación atmosférica de baja frecuencia seleccionados se ha utilizado 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.

¹ <http://wwwa.urv.net/centres/Departaments/geografia/clima/index.htm>

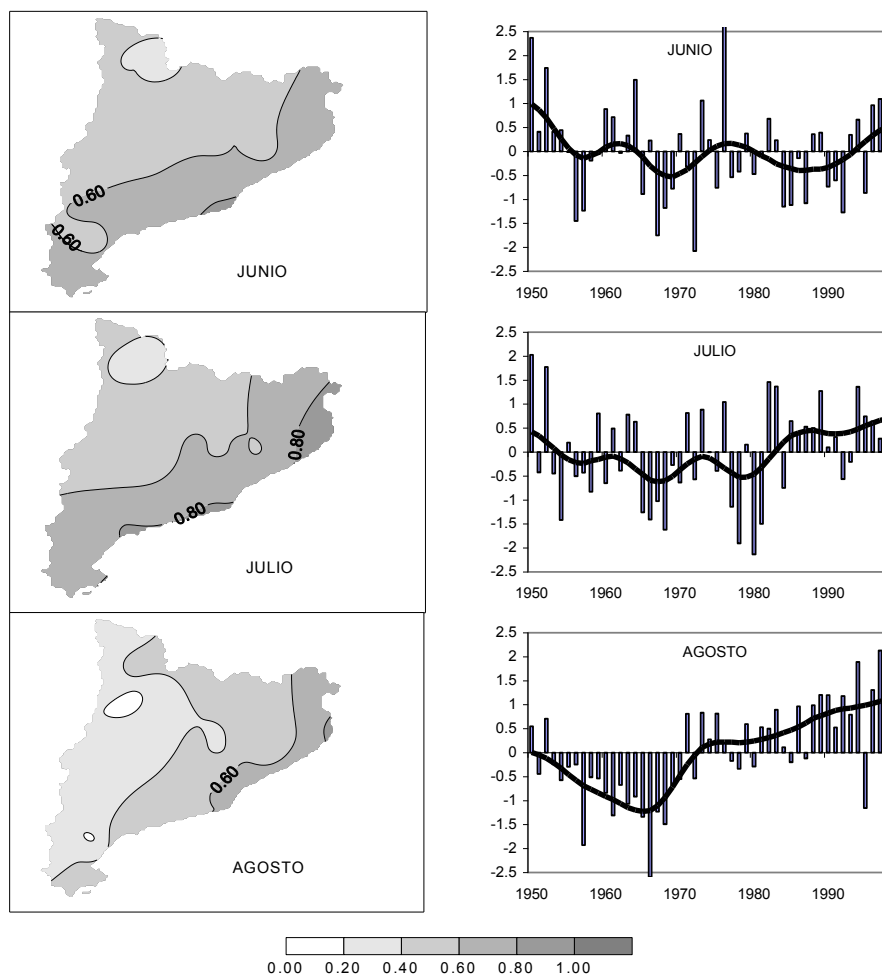


Fig. 2: Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados de la temperatura máxima incluidos en el patrón litoral (izquierda) y series temporales normalizadas de los mismos componentes (derecha). Las columnas representan las anomalías de la temperatura. La curva representa un filtro gaussiano de trece términos.

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 RPCs extraídos de los promedios de temperatura del aire en Cataluña y las series mensuales de SST correspondientes a los valores de la cuadrícula 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 Anglia.

3. EL PATRÓN LITORAL

Este patrón de temperatura presenta 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 (Fig. 2 y 3).

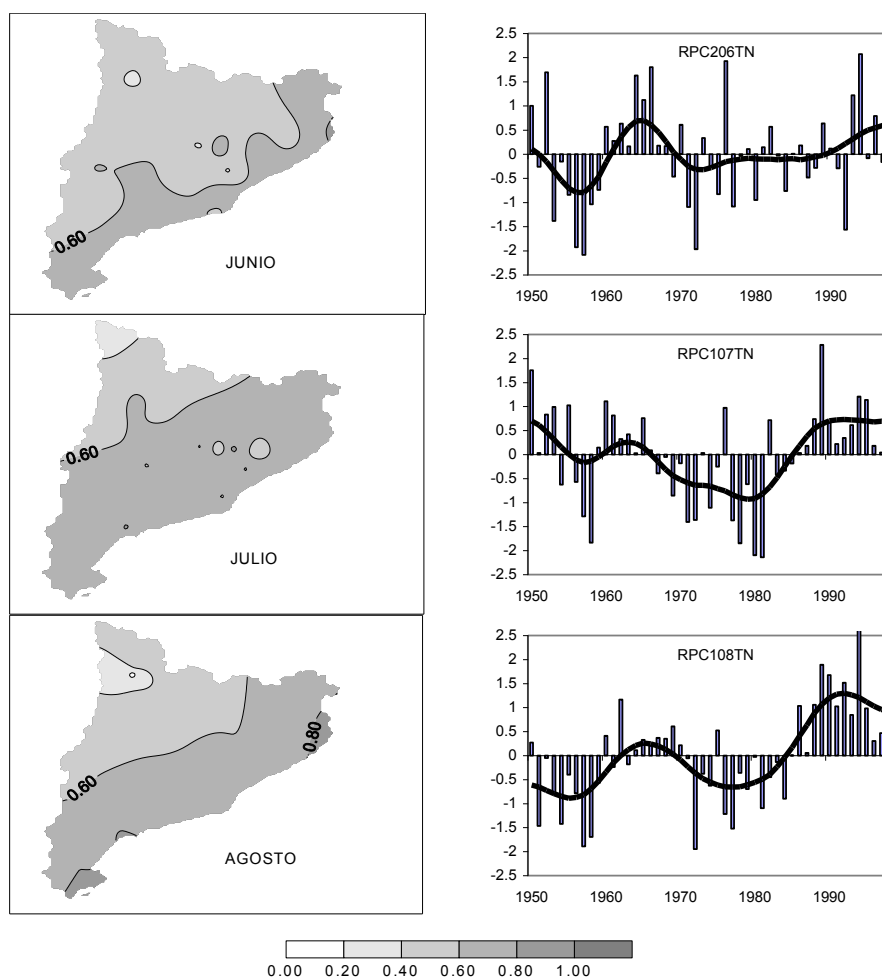


Fig. 3: Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados de la temperatura mínima incluidos en el patrón litoral. Igual que la Figura 2.

La característica principal de las series temporales de los RPCs es el sostenido incremento que experimenta la temperatura desde mediados de la década de los años 70 hasta el final de la serie. Tanto en el caso de la temperatura máxima como en el de la temperatura mínima se observa un incremento en la pendiente de las series de junio a agosto. Así, para la máxima la tendencia anual de los meses de junio, julio y agosto es respectivamente de -0.001, 0.013 y 0.042, con significación esta última al 99 %. De forma similar, para la temperatura mínima se detectan pendientes de 0.009, 0.006 y 0.037 respectivamente para los meses de junio, julio y agosto, también en este caso con significación al 99% en agosto.

La distribución espacial de este patrón, su cercanía al mar y disminución con la distancia a la línea de costa, parecen relacionarlo con la temperatura superficial marina. En efecto, las correlaciones que se establecen entre las series de SST y el patrón Litoral corroboran dicha impresión. Como se observa en la tabla XX, todos los componentes incluidos en el patrón litoral tienen coeficientes de correlación de valor entre 0.50 y 0.76 con las series de HadSST1 (Tabla 1).

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

PATRON		JUNIO	JULIO	AGOSTO
Litoral	máxima	0.51**		
			0.79**	
				0.59**
	mínima	0.53**		
			0.66**	
				0.77**
Noroccidental	máxima	0.16		
			0.24	
				-0.13
	mínima	0.51**		
			0.54**	
				0.48**

** significativa al 0.01

Tabla 1: CORRELACIONES ENTRE LOS PATRONES DE TEMPERATURA Y LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MEDITERRANEO

del sector. Los coeficientes de correlación calculados entre el patrón litoral y los diferentes índices teleconectivos muestran también resultados significativos (Tabla 2).

Aunque son diversos los índices que muestran correlación significativa con los componentes de la temperatura catalana, destaca la relación que aparece entre las temperaturas máxima y mínima del mes de julio y el EA-JET del mismo mes y del mes anterior, junio. Dado que los valores positivos y negativos del EA-JET indican una mayor o menor cobertura del área de estudio por parte de las altas presiones subtropicales, 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.

También resultan destacables los coeficientes de correlación significativos que se detectan entre las temperaturas máxima y mínima de agosto y el índice ASU de julio. Esta relación indica que los elevados incrementos registrados durante el mes de agosto están relacionados también, además de con la evolución de la temperatura marina, 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.

LITORAL	JUNIO		JULIO		AGOSTO	
	màxima	mínima	màxima	mínima	màxima	mínima
NAO		0.336*	0.349*		0.371**	
EA-JET		0.285*	0.314*	0.420**		
EA-JET-1			0.402**	0.302*		0.375**
ASU-1					0.336*	0.334*

* significativa al 0.05

** significativa al 0.01

Tabla 2: CORRELACIONES SIGNIFICATIVAS ENTRE EL PATRÓN LITORAL Y LOS INDICES TELECONECTIVOS

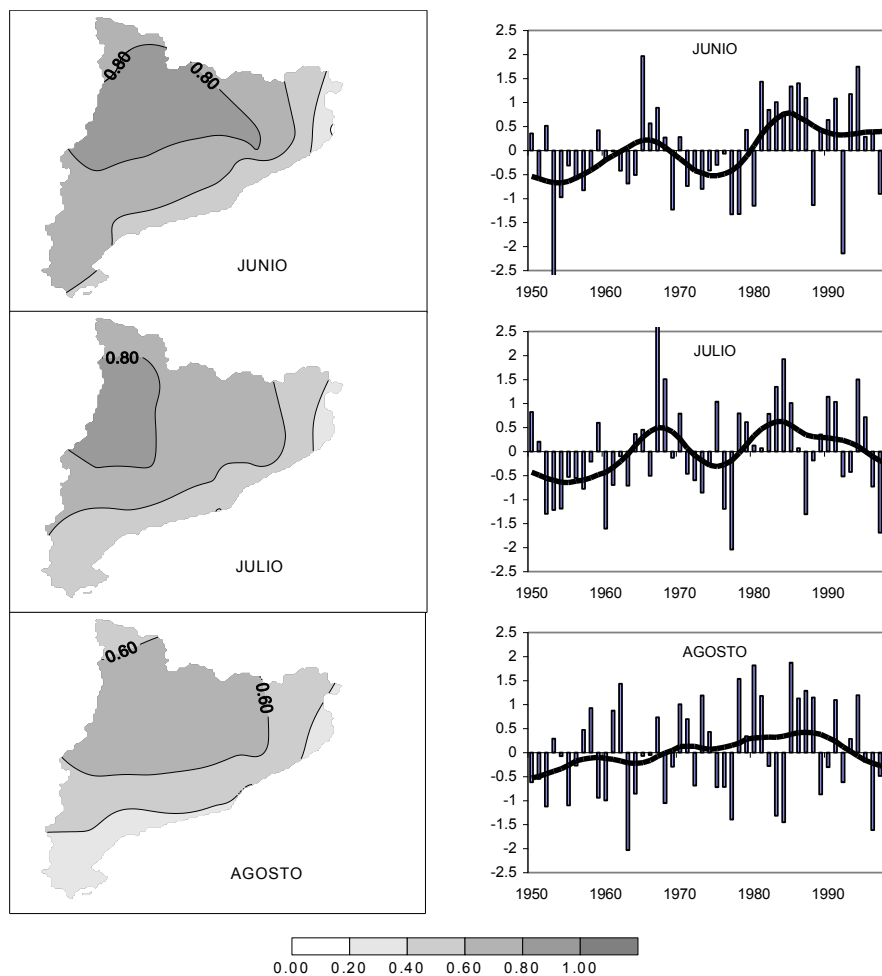


Fig. 4: Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados de la temperatura máxima incluidos en el patrón noroccidental. Igual que la Figura 2.

4. EL 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 occidental de los Pirineos y Prepirineos catalanes, 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 de los RPCs, con la proximidad a la línea de costa (Fig. 4 y 5). La evolución de las series temporales de este patrón indica en conjunto una tendencia al incremento térmico, pero más matizada que en el patrón litoral. En general las tendencias son de menor intensidad y presentan una evolución diferente.

Los componentes de la temperatura máxima presentan una disminución de la tendencia de junio a agosto, siendo las pendientes respectivamente de 0.022, 0.014 y 0.010. Aunque la tendencia general es de carácter positivo, se observa una tendencia descendente en los últimos 15 años del periodo. En el caso de la temperatura mínima, las tendencias generales son casi nulas, entre -0.003 y 0.006 . Sin embargo, exceptuando el mes de julio, tanto junio como agosto muestran una tendencia al incremento de los valores térmicos desde los años 70.

La relación con la temperatura superficial del Mediterráneo es mucho menor que la del patrón litoral y se encuentra limitada a la temperatura mínima. Esta última presenta coeficientes e correlación de entre 0.40 y 0.50 durante los tres meses estivales, mientras que la temperatura máxima no muestra coeficientes de correlación significativos con la SST. Esta relación parece indicar una mayor penetración de la influencia marina durante la noche, con la disminución de la capa límite.

Respecto su relación con la circulación atmosférica, el patrón Noroccidental presenta coeficientes de correlación significativos principalmente con el índice EA-JET, sin desfase entre la señal térmica y la atmosférica (Tabla 3). Tanto el mes de junio como el de agosto tienen correlaciones significativas con este índice, con coeficientes algo mayores para la temperatura máxima que para la mínima. Esta correlación refleja la relación de la señal térmica en las zonas interiores con el refuerzo de las altas presiones que representan las fases positivas del EA-JET.

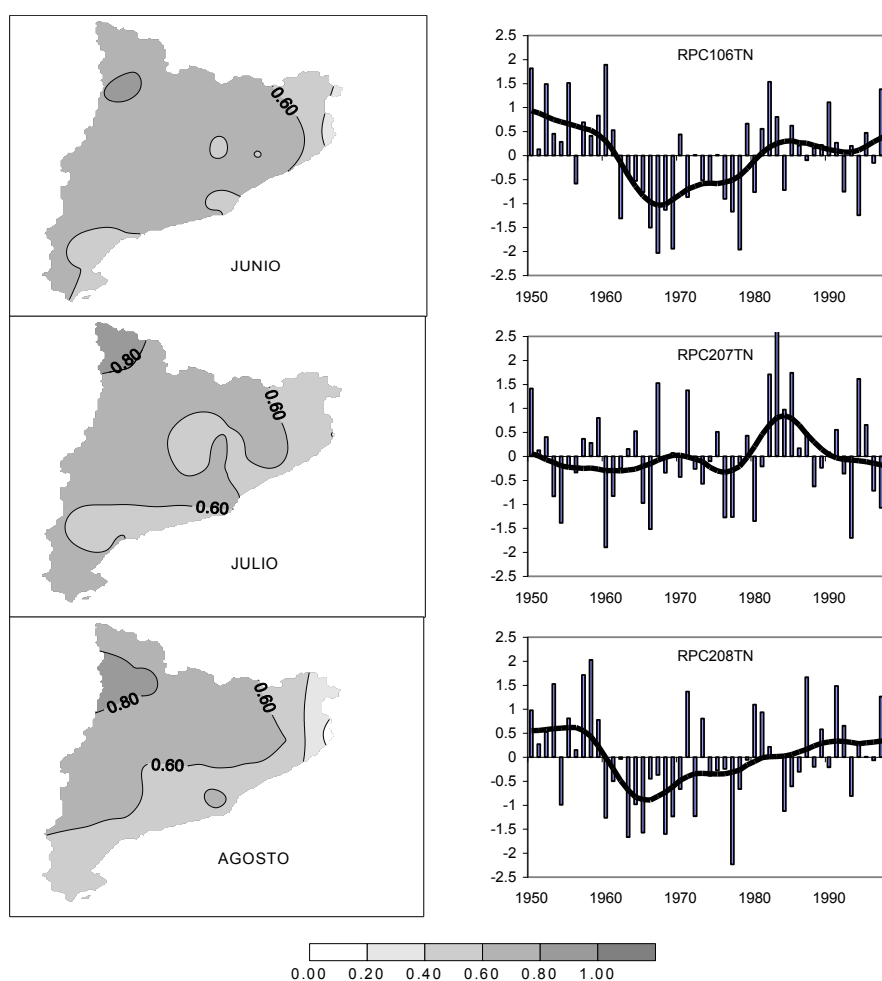


Fig. 5: Distribución espacial de los pesos de los componentes principales rotados de la temperatura mínima incluidos en el patrón noroccidental. Igual que la Figura 2.

5 CONCLUSIONES

La temperatura superficial del aire en Cataluña ha experimentado durante los veranos de la segunda mitad del siglo XX una tendencia al incremento de sus valores. Este calentamiento,

aunque extensible a todo el territorio, presenta un mayor incremento en las zonas cercanas al litoral.

Parte de este calentamiento puede explicarse en relación al incremento experimentado por la temperatura superficial de las aguas del Mediterráneo cercanas al litoral catalán, que presenta una fuerte influencia sobre la temperatura máxima en el litoral y sobre la temperatura mínima para el conjunto del territorio.

La influencia de la circulación atmosférica se produce de forma directa, expresada a través de la correlación positiva entre el EA-JET y las temperaturas catalanas, reflejando un incremento en la insolación. De forma indirecta, la insolación también se traduce en un incremento de las SST, que repercute en los meses posteriores en las temperaturas litorales, favoreciendo que estas áreas muestren tendencias al calentamiento mayores que los sectores alejados del mar.

NOROC.	JUNIO		JULIO		AGOSTO	
	màxima	mínima	màxima	mínima	màxima	mínima
NAO		-0.330*		0.360*		
EA-JET	0.511**	0.301*			0.454**	0.404**
ASU		0.339*				
NAOJON	0.384**					0.291*
NAO-1					-0.290*	
ASU-1						0.301*
NAOJON-1			0.299*			
NAO-2						-0.450**
EA-JET-2						0.284*

* significativa al 0.05

** significativa al 0.01

Tabla 3: CORRELACIONES SIGNIFICATIVAS ENTRE EL PATRÓN NOROCCIDENTAL Y LOS INDICES TELECONECTIVOS

6 REFERENCIAS

AGUILAR, E., LÓPEZ, J. M., BRUNET, M., SALADIÉ, O., SIGRÓ, J. y LÓPEZ, D., 1999: Control de calidad y proceso de homogeneización de series térmicas catalanas. En RASO NADAL, J. M. AND MARTIN-VIDE, J. (Eds.), *La Climatología española en los albores del siglo XXI*, A.E.C., Serie A, 1, Barcelona, 15-23.

ALEXANDERSSON, H. y MOBERG, A., 1997: Homogenisation of Swedish Temperature Data. Part I: Homogeneity Test for Linear Trends. *International Journal of Climatology* 17, 25-34.

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 M. BRUNET Y D. LÓPEZ (Eds.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, 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 M. BRUNET Y D. LÓPEZ (Eds.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, Springer, 95-108.

CATTELL, R. B., 1966, The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1, 245-276

KAISER, H. F., 1960, The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 141-151

MANSO ORGAZ, M. D. y CARAMELO, L., 2001, Spatial and Temporal Variability of the Surface Air Temperature over the Duero Basin (Iberian Peninsula). En M. BRUNET Y D. LÓPEZ (Eds.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, Springer 429-438.

PARKER, D.E., FOLLAND, C.K. y JACKSON, M., 1995, Marine Surface Temperature: Observed Variations and Data Requirements, *Climatic Change*, 31, 559-600.

PRIETO L., GARCIA, R., DIAZ, J., HERNÁNDEZ, E. y DEL TESO, T., 2002, NAO influence on extreme winter temperatures in Madrid, *Annales Geophysicae*, 20, 2077-2085.

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 RASO NADAL, J. M. AND MARTIN-VIDE, J. (Eds.), *La Climatología española en los albores del siglo XXI*, A.E.C., Serie A, 1, Barcelona, 449-458.

RICHMAN, M.B., 1986, Rotation of Principal Components, *Journal of Climatology*, 6, 293-335.

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 RASO NADAL, J. M. AND MARTIN-VIDE, J. (Eds.), *La Climatología española en los albores del siglo XXI*, A.E.C., Serie A, 1, Barcelona, 477-484.

SÁENZ, J., ZUBILLAGA, J. y RODRÍGUEZ PUEBLA, C., 2001, Interpretation of interannual winter temperature variations over southwestern Europe, *Journal of Geophysical Research*, 106, 20641-20651

SERRA, C., BURGUEÑO, A. y LANA X., 2001, Analysis of maximum and minimum daily temperatures recorded at Fabra Observatory (Barcelona, NE Spain) in the period 1917-1998, *International Journal of Climatology*, 21, 617-636.

WHITE, D., RICHMAN, M. y YARNAL, B., 1991, Climate Regionalization and Rotation of Principal Components, *International Journal of Climatology*, 11, 1-25

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha sido financiado por la UE, Proyecto EMULATE EVK2-CT-2002-00161, y por CICYT, proyecto SCREEN REN2002-00991/CLI