

ANÁLISIS DE LAS RELACIONES ENTRE LA EVOLUCIÓN A LARGO PLAZO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE EN EL NORDESTE ESPAÑOL Y LAS ESTIMADAS PARA EL HEMISFERIO NORTE, LA CUENCA DEL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL Y EL CENTRO DE INGLATERRA

Manola BRUNET, Enric AGUILAR, Óscar SALADIE, Javier SIGRÓ y Diego LÓPEZ
Grupo de investigación del cambio climático. Unidad de Geografía URV. Tarragona

RESUMEN

El objetivo de esta contribución consiste en explorar las relaciones en la evolución a largo plazo de la temperatura del aire entre las estimaciones realizadas para el Nordeste Español (NES) y las correspondientes al Hemisferio Norte (NH), a la cuenca del Mediterráneo Occidental (MO) y al Centro de Inglaterra (CET) durante el periodo 1871-1998. Para ello, se realiza un estudio comparativo de las variaciones y tendencias interanuales y decadales de los promedios anuales y estacionales de las anomalías de la temperatura media diaria, a partir de un análisis de correlación y significación estadística entre los distintos grupos de datos. Los resultados evidencian un destacable grado de ajuste entre las fluctuaciones interanuales del nordeste peninsular y el resto de series analizadas, obteniendo las más altas correlaciones con la cuenca del Mediterráneo Occidental. Además, las correlaciones mejoran notablemente cuando se calculan a escala decadal, indicando una mayor similitud entre las variaciones decadales de los cuatro grupos de datos.

Palabras clave: cambio térmico a largo plazo, correlaciones interanuales, correlaciones decadales, Nordeste de España, Hemisferio Norte, Cuenca del Mediterráneo Occidental, Centro de Inglaterra.

ABSTRACT

The aim of this paper is to explore the existing relationships on the long-term surface air temperature change between the estimations for North-eastern Spain (NES) and the corresponding to the Northern Hemisphere (HN), Western Mediterranean Basin (MO) and Central England Temperatures (CET) during the period 1871-1998. This comparative study will be performed on an annual and seasonal basis to assess the common interannual and interdecadal variations, by carrying out an analysis of correlation and statistical significance among these datasets. The results reflect greater similarities between the four series on the decade to decade time-scale than from year to year, both for annual and seasonal series. The highest correlation values between the recent temperature shift over North-eastern Spain and the other analysed time-series have been obtained for the Western Mediterranean Basin.

Key words: Long-term temperature change, interannual correlations, interdecadal correlations, North-eastern Spain, Northern Hemisphere, Western Mediterranean Basin, Central England.

1. INTRODUCCIÓN

La temperatura del aire constituye una medida fundamental del estado del sistema climático y el análisis de sus variaciones temporales expresa los cambios recientes en el sistema, por lo que éstos han sido ampliamente utilizados como indicador de cambio climático (FOLLAND *et al.*, 1990, 1992; NICHOLLS *et al.*, 1996). Desde principios de la década de los ochenta del siglo XX, diferentes grupos de investigación dirigieron sus esfuerzos a la creación de bases de datos climáticos sometidos a control de calidad, a pruebas de homogeneidad y a métodos de agregación espacial, a partir de los cuales se procedió a evaluar la evolución y tendencias del clima a gran escala (JONES *et al.*, 1986, 1999; JONES, 1994; HANSEN y LEBEDEFF, 1987; VININKOV *et al.*, 1990; HANSEN *et al.*, 1999; PETERSON *et al.*, 1999). Pese a la diversidad de planteamientos metodológicos utilizados para homogeneizar, agregar espacialmente los datos o analizar las variaciones y tendencias existentes, se han obtenido resultados similares del cambio a largo plazo de la temperatura del aire, lo que evidencia la robustez de esas estimaciones (JONES, 2001; PETERSON *et al.* 1999).

El análisis del registro térmico instrumental a escala planetaria arroja para los últimos 150 años una tendencia al calentamiento de 0.6 °C (JONES, 2001). Ahora bien, este incremento térmico no se ha producido de forma sostenida o gradual en el conjunto del periodo instrumental, ni la contribución estacional a la estimación anual ha sido uniforme, ni ha sido coherente geográficamente. En efecto, se han observado subperiodos de diferente comportamiento y tendencia térmica. Dos fases de calentamiento estadísticamente significativo se han producido entre aproximadamente 1920-1945 y a partir de 1975; mientras que, se ha registrado una etapa de ligero enfriamiento entre ambos periodos exclusivamente en el Hemisferio Norte. Además, el calentamiento del hemisferio boreal en esos subperiodos tiene como causa fundamental el incremento de las temperaturas en la mitad fría del año (invierno y primavera principalmente), siendo menos destacado el calentamiento de las estaciones cálidas (JONES, 2001). Finalmente, otro elemento que conforma las disimilitudes mencionadas en el calentamiento global, ha sido la compleja distribución espacial que presenta el cambio térmico a largo plazo, al registrarse claras diferencias regionales tanto en el signo como en la magnitud de las tendencias (JONES *et al.* 1999).

Estas diferencias refuerzan la necesidad de análisis comparativos entre las estimaciones a gran escala y las correspondientes a espacios menores. En este sentido, JONES y HULME (1997) exploraron las relaciones existentes entre el extenso registro térmico del centro de Inglaterra y los promedios correspondientes al Hemisferio Norte, evidenciando los mayores coeficientes de correlación anual y estacional en sus variaciones interdecadales, lo que les conduce a afirmar con precaución que las tendencias térmicas del Centro de Inglaterra pueden utilizarse como indicador de las tendencias hemisféricas para periodos anteriores sin registro observacional hemisférico. También, en un trabajo reciente, BRADZIL *et al.* (2001) estudian las relaciones entre la serie térmica de la República Checa y las temperaturas del Hemisferio Norte para un periodo más corto, concluyendo que las variaciones año a año presentan bajos coeficientes de correlación tanto a escala anual como estacional y mensual.

En esta aportación, también se explorarán las relaciones anuales y estacionales existentes entre las variaciones y tendencias de la temperatura del aire a largo plazo estimadas para el nordeste español

(BRUNET *et al.*, 2001) y las correspondientes al Hemisferio Norte, a la cuenca del Mediterráneo Occidental y al centro de Inglaterra durante el periodo 1871-1998 (ver PARKER *et al.*, 1992 y JONES *et al.*, 2001). Para ello, se realizará un análisis de correlación y significación estadística de las variaciones interanuales e interdecadales de los promedios anuales y estacionales de las anomalías absolutas de la temperatura media diaria entre el mencionado grupo de datos, tendente a establecer las similitudes en su evolución conjunta a largo plazo. La estructura de esta contribución es como sigue: En la sección segunda se proporciona información sobre las bases de datos utilizadas y las técnicas aplicadas para caracterizar las variaciones temporales conjuntas entre los cuatro grupos de datos. En la sección tercera, se describen y discuten los resultados, mientras que en la sección cuarta se exponen las conclusiones obtenidas tras la realización de este análisis comparativo.

2. BASES DE DATOS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Para la realización del análisis comparativo entre la evolución térmica a largo plazo del nordeste de España (NES) y la que caracteriza al Hemisferio Norte (HN), a la Cuenca del Mediterráneo Occidental (MO) y al Centro de Inglaterra (CET), se han utilizado las reconstrucciones temporales de la temperatura media diaria elaboradas por distintos grupos de investigación a partir del uso de la información instrumental disponible.

La reconstrucción de la evolución térmica a largo plazo para el nordeste peninsular se ha llevado a cabo por los autores en investigaciones previas (BRUNET *et al.*, 1999, 2001). A partir de la aplicación de los criterios de control de calidad propuestos por PETERSON *et al.* (1997) y la aplicación de la prueba de homogeneidad relativa desarrollada por ALEXANDERSSON y MOBERG (1997), siguiendo el esquema de detección-corrección propuesto por AGUILAR *et al.* (1999), se generó una segunda versión de la base de datos homogeneizada de los promedios mensuales de la temperatura media diaria denominada NESATv.2 (Temperaturas Ajustadas del Nordeste de España, versión 2), con las que, tras la construcción de la serie regional mediante el uso del algoritmo de agregación espacial propuesto por JONES *et al.* (1986), se evaluó la deriva térmica catalana durante el periodo 1869-1998 (BRUNET *et al.* 2001). Esta nueva versión, mejorada espacial y temporalmente respecto a la base de datos NESATv1, ha quedado integrada por 23 registros individuales de la temperatura del aire. La curva térmica resultante será la utilizada en este trabajo para comparar su evolución con el resto de estimaciones a gran escala espacial.

De las distintas estimaciones térmicas existentes que abordan la reconstrucción agregada de la temperatura del aire a escala global y/o hemisférica, se ha seleccionado la producida por el grupo de investigación del Climatic Research Unit de la Universidad de East Anglia (UK), ya que ésta ha sido ampliamente discutida por la comunidad científica internacional y utilizada en las diferentes evaluaciones científicas llevadas a cabo por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) como indicador de los cambios térmicos a gran escala en los últimos 150 años. Esta base de datos, denominada TAVENH, incorpora los promedios mensuales de las anomalías de la temperatura del aire, respecto al periodo de referencia 1961-90. Esta versión se ha combinado con las estimaciones marinas (PARKER *et al.*, 1995) y las terrestres (JONES, 1994) sobre una rejilla reticular de $5^\circ \times 5^\circ$ de latitud-longitud para producir la serie correspondiente al Hemisferio Boreal.

La curva del Mediterráneo Occidental se ha obtenido, a su vez, de la base de datos HadCRUTv para 1871-1998, que asimismo constituye una combinación de las anomalías térmicas mar-tierra para la rejilla de 45° / 35° de latitud norte y 10° W / 10° E, que cubre la cuenca del Mediterráneo Occidental. Recientemente ha sido ajustada la varianza de las retículas que la componen, también de 5° × 5° de lat./long, para valorar los efectos de la modificación del número de estaciones meteorológicas sobre tierra y de las observaciones de la temperatura superficial del mar con el tiempo (JONES *et al.* 2001). Ambas estimaciones a gran escala han sido extraídas de la siguiente dirección de Internet correspondiente a las bases de datos sostenidas por el CRU: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature>.

Finalmente, la serie correspondiente al Centro de Inglaterra, denominada CET (Central England Temperatures), es uno de los más largos registros de las temperaturas medias diarias y de sus promedios mensuales para la región central de Inglaterra. Originalmente esta serie fue construida por el profesor G. MANLEY (1974), quien produjo un registro temporal de las temperaturas promedio mensuales representativas de las tierras centrales de Inglaterra para el periodo 1659-1973. Posteriormente, PARKER *et al.* (1992) construyeron una nueva serie de valores diarios homogeneizados de la temperatura del aire para la misma región, iniciándola en 1772 y manteniéndola hasta el presente. Este registro es actualizado por la oficina meteorológica del Reino Unido, el Hadley Centre en Bracknell, y ha sido asimismo obtenida de las bases de datos del CRU desde la siguiente dirección web: <http://www.uea.ac.uk/mikeh/datasets/uk/cet.htm>.

Del conjunto de grupos de datos, se han tratado los promedios estacionales y anuales de las anomalías de la temperatura media diaria respecto al periodo común de referencia 1961-90, con los que se realizará este análisis comparativo, excepto para la serie correspondiente a la Cuenca del Mediterráneo Occidental, de la que sólo se han podido utilizar los valores anuales de dichas anomalías.

Con la finalidad de evaluar la evolución interanual e interdecadal conjunta de los cuatro grupos de datos para el periodo 1871-1998, se procede a comparar, en primer lugar, las tendencias y variaciones de los mismos para el conjunto del periodo analizado. Para ello, se calculan en primer lugar las anomalías decadales promedio de los cuatro grupos de datos, a la vez que se exploran las coincidencias temporales en su evolución, tendente a validar la configuración común de subperiodos de distinto comportamiento térmico en su evolución a largo plazo. A continuación se estima para los distintos grupos de datos la contribución estacional en la configuración de sus respectivos promedios anuales, mediante un análisis de correlación entre los valores promedio estacionales y los anuales de cada una de las series. Finalmente, para valorar el nivel de ajuste entre los cambios a largo plazo entre el conjunto de series sometidas a este análisis, se lleva cabo un análisis de correlación y significación estadística entre los datos correspondientes al nordeste español y el resto de registros comparados. En el análisis de correlaciones, se utiliza para estimar las variaciones interanuales el coeficiente de correlación de Pearson, mientras que para el análisis interdecadal se ha usado el coeficiente no-paramétrico de Spearman.

3. RESULTADOS

Las tendencias anuales y estacionales de la temperatura media diaria estimadas para el periodo analizado y correspondientes a las series de datos del nordeste de España (NES), del Hemisferio

Norte (HN), de la cuenca del Mediterráneo Occidental (MO) y del Centro de Inglaterra (CET) se proporcionan en la Tabla 1. Las temperaturas se han incrementado significativamente en el conjunto de las series analizadas desde las últimas décadas del siglo XIX hasta el presente, con tasas de incremento que difieren ligeramente entre los diferentes grupos de datos, pero que no dejan lugar a dudas sobre el fenómeno de calentamiento observado a gran escala.

No obstante, se ha observado una distinta contribución estacional a la estimación de la tendencia anual entre los diferentes grupos de datos, validando el efecto diferencial en las tasas de incremento estacional a largo plazo. Mientras que para el nordeste español el invierno y la primavera han sido las estaciones que presentan los más altos coeficientes anuales y tendencias totales, para el Hemisferio Norte lo han sido el invierno, el otoño y la primavera, siendo coincidentemente el verano el que arroja más bajos incrementos. Por el contrario, el Centro de Inglaterra manifiesta más altas tasas de incremento durante el otoño, seguido de la primavera y el verano, con los más bajos coeficientes estacionales para el invierno. Estos resultados evidencian una mayor coherencia estacional entre las estimaciones del NES y del HN que con las obtenidas para el Centro de Inglaterra.

Tabla 1. ESTIMACIONES DEL COEFICIENTE DE TENDENCIA ANUAL Y ACUMULADA PARA EL PERIODO 1871-1998 DE LAS ANOMALÍAS ANUALES Y ESTACIONALES PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MEDIA DIARIA PARA EL NORDESTE DE ESPAÑA (NES), EL HEMISFERIO NORTE (HN), EL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL (MO) Y EL CENTRO DE INGLATERRA (CET)

Periodo	Parámetro	NES	CET	MO	HN
ANUAL	°C/año	0.007	0.006	0.006	0.005
	Incremento Total	0.882	0.807	0.713	0.599
	Significación (F-test)	0.000	0.000	0.000	0.000
INVIERNO	°C/año	0.014	0.004	n/d	0.006
	Incremento Total	1.729	0.499	n/d	0.707
	Significación (F-test)	0.000	0.206	n/d	0.000
PRIMAVERA	°C/año	0.007	0.006	n/d	0.005
	Incremento Total	0.960	0.796	n/d	0.612
	Significación (F-test)	0.000	0.001	n/d	0.000
VERANO	°C/año	0.005	0.005	n/d	0.004
	Incremento Total	0.591	0.677	n/d	0.452
	Significación (F-test)	0.017	0.007	n/d	0.000
OTOÑO	°C/año	0.006	0.010	n/d	0.005
	Incremento Total	0.738	1.301	n/d	0.618
	Significación (F-test)	0.003	0.000	n/d	0.000

Con la finalidad de explorar la coincidencia temporal en la ocurrencia de valores extremos entre las series, se ha llevado a cabo un análisis comparativo de los años más cálidos y más fríos del conjunto de los registros. Los resultados figuran en la Tabla 2. Puede observarse que para el nordeste español, cinco de los diez años con más altas anomalías positivas, se han registrado durante la década final del siglo XX, siendo 1997 el año más cálido del registro (1.5 °C), correspondiendo los siguientes cuatro años más cálidos a 1994, 1998, 1989 y 1995. En cambio, cuatro de los cinco

restantes se han observado durante la cálida década de los cuarenta. A escala hemisférica, seis de los diez años de mayor temperatura se han registrado en ese mismo decenio, en el que 1998 registra el valor más alto (0.68 °C), siendo 1995, 1997, 1990 y 1991 los siguientes cuatro años más cálidos. La cuenca del Mediterráneo Occidental presenta resultados similares, siendo 1997 el año más cálido (0.85 °C) y produciéndose seis de las anomalías más elevadas también en la década de los noventa. Finalmente, el CET registra asimismo cinco de los diez años más cálidos de todo el registro en la década de los noventa, siendo 1990 el de mayor anomalía positiva (1.2 °C), seguido de 1949, 1997, 1995 y 1989. Como para el nordeste español, dos años de la década de los cuarenta se sitúan entre los diez más cálidos, confirmando en esa región los altos valores de este decenio (JONES y HULME, 1997).

Tabla 2. AÑOS Y PROMEDIOS ANUALES DE LAS ANOMALÍAS EXTREMAS (MÁS CALIDOS Y MÁS FRÍOS) DE LA TEMPERATURA MEDIA DIARIA (EN °C) PARA EL NORDESTE DE ESPAÑA (NES), EL HEMISFERIO NORTE (HN), EL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL (MO) Y EL CENTRO DE INGLATERRA (CET) DURANTE EL PERIODO 1871-1998

NES		CET		MO		HN	
Más cálidos		Más cálidos		Más cálidos		Más cálidos	
Año	Anomalía	Año	Anomalía	Año	Anomalía	Año	Anomalía
1997	1.50	1990	1.16	1997	0.85	1998	0.68
1994	1.33	1949	1.15	1990	0.79	1995	0.53
1998	1.31	1997	1.07	1989	0.71	1997	0.50
1989	1.20	1995	1.06	1995	0.60	1990	0.46
1995	1.09	1989	1.03	1955	0.58	1991	0.35
1949	1.04	1959	1.01	1999	0.57	1994	0.33
1990	0.92	1921	1.00	1994	0.56	1988	0.28
1948	0.91	1998	0.87	1961	0.56	1944	0.26
1945	0.90	1945	0.81	1949	0.56	1981	0.24
1947	0.90	1994	0.77	1998	0.49	1983	0.24
Más fríos		Más fríos		Más fríos		Más fríos	
Año	Anomalía	Año	Anomalía	Año	Anomalía	Año	Anomalía
1890	-1.18	1879	-2.06	1917	-1.17	1917	-0.55
1887	-1.16	1892	-1.30	1889	-0.77	1875	-0.52
1879	-1.10	1888	-1.26	1918	-0.77	1893	-0.52
1972	-1.04	1887	-1.20	1907	-0.76	1907	-0.51
1871	-0.98	1963	-1.01	1925	-0.76	1908	-0.48
1891	-0.96	1919	-0.99	1890	-0.75	1912	-0.48
1956	-0.96	1891	-0.98	1905	-0.74	1904	-0.47
1888	-0.94	1917	-0.97	1910	-0.74	1909	-0.46
1886	-0.93	1909	-0.92	1909	-0.72	1913	-0.46
1892	-0.86	1881	-0.91	1912	-0.70	1892	-0.43

Los años más fríos del registro instrumental para las cuatro series presentan una menor coincidencia temporal entre los distintos grupos de datos. Para el nordeste de España, 1890 es el año más frío (-1.18 °C), localizándose los cuatro siguientes en 1887, 1879, 1972 y 1871. Además, ocho años de los diez más fríos se registraron en las últimas décadas del siglo XIX, mientras que dos se produjeron en las décadas de los setenta y cincuenta del siglo XX, confirmando anteriores análisis.

sis de la fuerte reducción térmica que caracterizó el episodio frío iniciado a principios de los cincuenta y que duró en la región hasta mediados de los setenta (BRUNET *et al.*, 1999, 2001). Por el contrario, los resultados del Hemisferio Norte indican que en los dos primeros decenios del siglo XX se produjeron los siete más bajos valores de las anomalías del registro entero, con 1917 como el año más frío (-0.55 °C); mientras que tan sólo tres años corresponden a los últimos decenios del siglo XIX, manifestando un mayor grado de concentración temporal de los años fríos. Para el Mediterráneo Occidental, seis de los diez años más fríos se localizaron asimismo en las dos primeras décadas del siglo XX, siendo 1917 el de más bajo valor (-1.2 °C), seguido de 1889, 1918, 1907 y 1925, como los cuatro siguientes con valores más bajos. Para el Centro de Inglaterra, con una mayor coincidencia en este parámetro con el nordeste español, seis de los diez años más fríos también se registraron en las últimas décadas del s. XIX, con 1879 como el de más bajo valor (-2.1 °C), seguido de 1892, 1888, 1887 y 1963.

Por otro lado, cuando el análisis de las variaciones temporales comunes se realiza en base al cálculo de las anomalías promedio decadales de la media anual y estacional de la temperatura diaria, aparecen unos resultados más consistentes entre los distintos grupos de datos.

La Tabla 3 recoge las anomalías decadales promedio en base anual de los cuatro grupos de datos, mientras que se han calculado también los correspondientes a escala estacional (no mostrados). En base anual, las anomalías promedio decadales evidencian que las décadas de los noventa, ochenta y cuarenta del siglo XX son las más cálidas del conjunto del registro en los cuatro grupos de datos. Este orden es especialmente consistente entre las anomalías decadales del nordeste español, de la cuenca del Mediterráneo Occidental y del Hemisferio Norte, ya que el CET se diferencia al localizar como segunda década más cálida la correspondiente a los años cuarenta. Por el contrario, el CET, MO y el NES registran en la década de los ochenta del S. XIX las anomalías decadales más bajas, mientras que en el HN corresponde a la primera década del siglo XX.

Tabla 3. RANKING DE LOS DECENIOS Y PROMEDIOS DECADEALES DE LAS ANOMALÍAS ANUALES DE LA TEMPERATURA MEDIA DIARIA (EN °C) PARA EL NORDESTE DE ESPAÑA (NES), EL HEMISFERIO NORTE (HN), EL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL (MO) Y EL CENTRO DE INGLATERRA (CET) DURANTE EL PERIODO 1871-1998

NES		CET		MO		HN	
Década	Promedio Anomalía	Década	Promedio Anomalía	Década	Promedio Anomalía	Década	Promedio Anomalía
1990s	0.72	1990s	0.49	1990s	0.37	1990s	0.37
1980s	0.52	1940s	0.23	1980s	0.25	1980s	0.16
1940s	0.42	1980s	0.16	1940s	0.11	1940s	0.05
1920s	0.12	1930s	0.10	1960s	0.09	1950s	0.04
1890s	-0.02	1950s	0.05	1950s	0.04	1960s	0.00
1960s	-0.04	1970s	0.05	1890s	-0.17	1930s	-0.01
1950s	-0.05	1920s	-0.11	1870s	-0.20	1970s	-0.08
1910s	-0.16	1910s	-0.15	1970s	-0.24	1920s	-0.16
1930s	-0.16	1890s	-0.21	1930s	-0.27	1870s	-0.22
1900s	-0.36	1960s	-0.21	1920s	-0.28	1890s	-0.28
1870s	-0.44	1870s	-0.38	1880s	-0.44	1880s	-0.29
1970s	-0.48	1900s	-0.41	1910s	-0.60	1910s	-0.36
1880s	-0.70	1880s	-0.64	1900s	-0.61	1900s	-0.38

El estudio del ranking de las anomalías decadales calculadas en base estacional evidencia asimismo resultados consistentes entre los tres grupos de datos analizados. Para el invierno, la primavera y el verano, la década de los noventa del siglo XX aparece en los tres grupos de datos comparados como la más cálida; mientras que para el otoño, siguen siendo los años noventa los de más altas anomalías positivas promedio para HN y CET, pero para NES pasa a serlo la década de los ochenta, seguida de los noventa. En cambio, las décadas con valores estacionales de las anomalías más bajas difieren otra vez ligeramente entre estos grupos de datos. Para el invierno en el NES, es la década de los setenta del siglo XIX la de más bajos promedios; mientras que para el HN lo es la década inicial del siglo XX y para el CET la de los ochenta del siglo XIX. Para la primavera, las anomalías decadales más bajas se registran en los ochenta del s. XIX, tanto para el NES como para el CET, mientras que para HN fue el decenio 1911-20 el más frío. Durante el verano, se produce una coincidencia entre las estimaciones del CET y HN que tienden a presentar el decenio inicial del siglo XX como el más frío del conjunto, mientras que para el nordeste español éste se traslada a la fría década estival de los años setenta del siglo XX. Finalmente, el otoño presenta las mayores divergencias entre grupos de datos, al registrarse para NES el más bajo valor decadal en los años ochenta del siglo XIX, para el HN en el decenio inicial del siglo XX y para el CET en la década de los setenta del siglo XIX.

El hecho más sobresaliente de este análisis interanual y decadal comparado entre los distintos grupos de datos reside en las más altas anomalías positivas registradas en la década final del siglo XX, que tiende a remarcar a este decenio como el más cálido del conjunto del registro instrumental, tendencia que, por otra parte, ha sido confirmada por otros resultados obtenidos a escala global para los últimos 150 años (ver JONES, 2001).

Por otra parte, para estimar la contribución estacional a la configuración de la evolución térmica

Tabla 4. CORRELACIONES ENTRE LAS ANOMALÍAS PROMEDIO ANUALES Y LAS ESTACIONALES DE LA TEMPERATURA MEDIA DIARIA EN EL NORDESTE DE ESPAÑA (NES), EL HEMISFERIO NORTE (HN), EL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL (MO) Y EL CENTRO DE INGLATERRA (CET) DURANTE EL PERIODO 1871-1998

Serie	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
NES	0.555	0.734	0.702	0.700
CET	0.594	0.627	0.621	0.554
HN	0.829	0.915	0.917	0.892

anual de cada grupo de datos, se han calculado las correlaciones entre éstas y sus correspondientes series estacionales. Los coeficientes de correlación figuran en la Tabla 4.

La evolución térmica anual a largo plazo del nordeste español se halla influenciada principalmente por la primavera, el verano y el otoño, siendo el invierno la estación con un menor peso en la deriva anual a largo plazo. Para el Hemisferio Norte también se identifica una mayor contribución

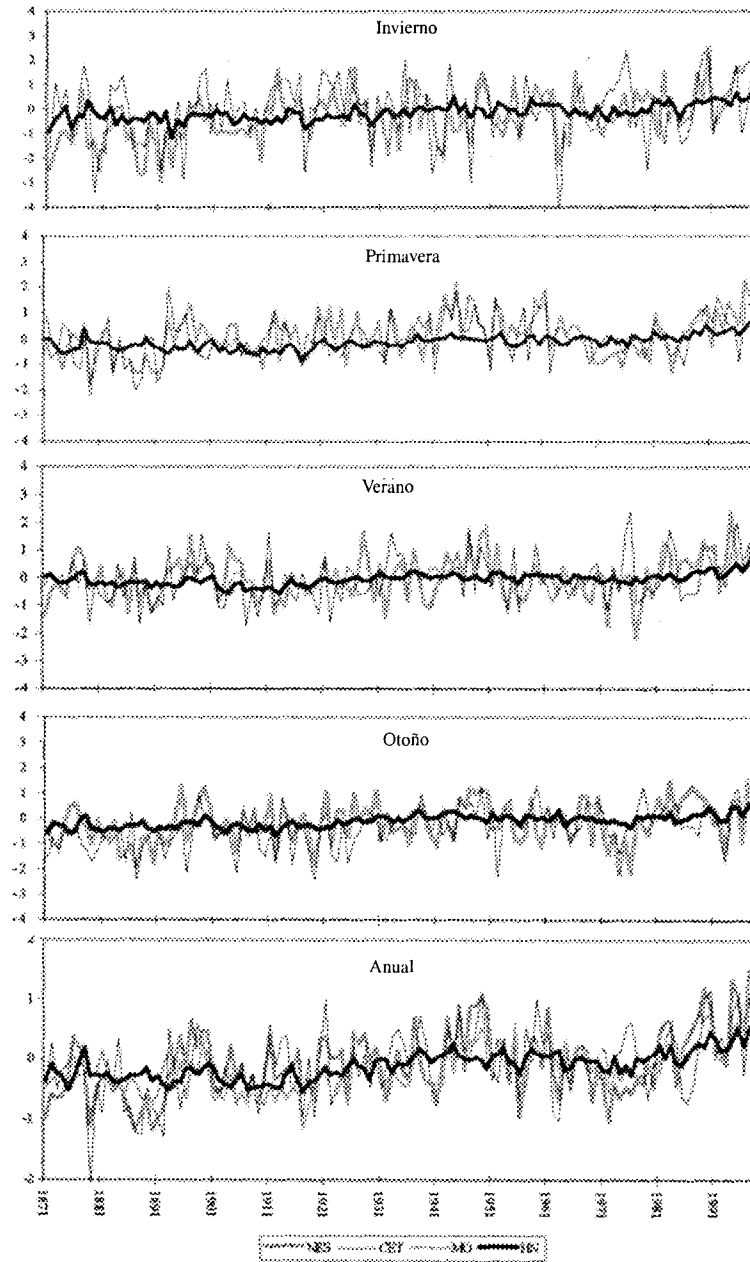


Fig. 1: Evolución comparada de los promedios anuales y estacionales de las anomalías de la temperatura media diaria (en °C) en el Nordeste de España (NES), el Hemisferio Norte (HN), el Mediterráneo Occidental (MO) y el Centro de Inglaterra (CET) para el periodo 1871-1998.

de las variaciones estivales, seguidas de las equinocciales y, otra vez en último lugar, las invernales. Por último, en las series del CET las variaciones de la primavera y el verano dominan las fluctuaciones anuales, seguidas en este caso del invierno y del otoño en último lugar.

En la figura 1 se representan las relaciones entre las variaciones interanuales del promedio anual de las anomalías de la temperatura media diaria correspondiente al nordeste español y al resto de estimaciones y los promedios estacionales representativos de las tres series de las que se han podido calcular los valores: NES, HN y CET. Asimismo, la Tabla 5 recoge los coeficientes de correlación entre los valores promedio de las anomalías anuales y estacionales entre el nordeste español y las estimaciones a gran escala.

Tabla 5. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN INTERANUAL DE LAS ANOMALÍAS PROMEDIO ANUALES Y ESTACIONALES DE LA TEMPERATURA MEDIA DIARIA ENTRE EL NORDESTE DE ESPAÑA Y LAS ESTIMACIONES DEL HEMISFERIO NORTE (NH) Y DEL CENTRO DE INGLATERRA (CET) DURANTE EL PERÍODO 1871-1998

Serie	Anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
CET	0.637	0.485	0.632	0.458	0.528
MO	0.725	n/d	n/d	n/d	n/d
HN	0.562	0.414	0.384	0.315	0.397

Nota: todos los valores son significativos a 0.01 unilateral

En base anual, como era de esperar, los más altos coeficientes de correlación interanual se encuentran entre el NES y el Mediterráneo Occidental, situándose a continuación la correspondiente al CET y en último lugar al HN. Los altos y significativos valores del coeficiente de correlación anual (situados entre 0.56 para NES/HN y 0.72 entre NES/MO) son indicativos de la estrechas relaciones en la evolución térmica interanual del grupo de datos. Por el contrario, las variaciones interanuales en base estacional obtienen más bajos coeficientes de correlación, especialmente entre el nordeste español y las estimaciones hemisféricas que registran valores entre el 0.31 del verano y el 0.41 durante el invierno. Cuando examinamos las relaciones entre el NES y el CET, los coeficientes de correlación estacional se incrementan oscilando entre el más alto valor de primavera (0.63) y el más bajo correspondiente al verano (0.46). Estos resultados señalan el menor nivel de ajuste estacional en las variaciones interanuales de las series.

Sin embargo, cuando los coeficientes de correlación de las variaciones temporales se estiman a escala decadal (Tabla 6), sus valores mejoran notablemente, tanto anual como estacionalmente. Además, aparece una ligera mejor correlación entre el NES y las estimaciones hemisféricas respecto de las del Centro de Inglaterra, indicando que la curva anual del HN correlaciona mejor a escala decadal con el nordeste español que la correspondiente al CET, aunque por supuesto los más altos valores de correlación siguen obteniéndose entre NES y MO, pese a que esta correlación es ligeramente menor que la calculada en base interanual. Por el contrario, pueden observarse unas mejores correlaciones entre el NES y el CET, en relación con los coeficientes estacionales que caracterizan a las series hemisféricas. Los valores de correlación estacional entre NES y CET indican una más similar evolución en primavera, invierno y otoño que en verano, oscilando entre el

más alto coeficiente de la primavera (0.84) y el más bajo del verano (0.54). Conviene señalar que todos ellos son altamente significativos. Por el contrario las relaciones decadales entre NES y HN, aunque más elevadas que las interanuales, obtienen menor significación y oscilan entre valores similares para las estaciones equinocciales (en torno a 0.72) y los menores valores de las solsticiales (0.45 del verano y 0.51 para el invierno).

Tabla 6. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN INTERDECADAL DE LAS ANOMALÍAS PROMEDIO ANUALES Y ESTACIONALES DE LA TEMPERATURA MEDIA DIARIA ENTRE EL NORDESTE DE ESPAÑA Y LAS ESTIMACIONES DEL HEMISFERIO NORTE (NH) Y DEL CENTRO DE INGLATERRA (CET) DURANTE EL PERÍODO 1871-1998

Serie	Anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
CET	0.690	0.758	0.841	0.542	0.657
MO	0.718	n/d	n/d	n/d	n/d
HN	0.693	<i>0.506</i>	0.725	0.449	0.720

Nota: todos los valores son significativos al 0.01 unilateral, excepto el valor en cursiva (no significativo al 0.05 unilateral) y el valor en negrita (no significativo).

Estos resultados, además de señalar un grado de correspondencia adecuado entre la evolución térmica a largo plazo de las cuatro series, evidencian el mejor ajuste de los cambios decadales entre el conjunto de series analizadas respecto de los interanuales, por lo que hay que destacar la mayor similitud en las fluctuaciones decadales de la temperatura del aire en el grupo de datos analizados. Resultados similares fueron descritos por JONES y HULME (1997) en su análisis de deriva térmica conjunta entre los registros del CET y el HN.

4. CONCLUSIONES

De las tendencias temporales estimadas entre los distintos grupos de datos destaca el significativo incremento térmico registrado a lo largo del periodo en el conjunto de registros analizados, reconociéndose las más altas tendencias totales en el nordeste español y en el Centro de Inglaterra en relación con las estimadas a mayor escala: cuenca del Mediterráneo Occidental y Hemisferio Norte. Además, el último decenio del siglo XX se sitúa en el conjunto de datos como la década más cálida del periodo instrumental. Por otra parte, la contribución estacional más sobresaliente a la estimación de la tendencia anual del grupo de datos presenta ligeras diferencias entre ellos, ya que mientras para el nordeste español y para el Hemisferio Norte la estación que más se ha calentado ha sido la invernal, seguida de la primavera y el otoño, en el caso del Centro de Inglaterra ha correspondido al otoño, la primavera y el verano, situándose en último lugar el invierno.

También, la contribución estacional en la configuración de las fluctuaciones anuales de los tres registros analizados presenta un patrón similar, que tiende a identificar las variaciones observadas durante la primavera, el otoño y el verano (respecto de las de invierno) como responsables de la configuración del patrón anual correspondiente.

El análisis de correlación y significación estadística realizado entre los cuatro grupos de datos uti-

lizados en este estudio, evidencia un alto nivel de ajuste entre la evolución térmica a largo plazo que caracteriza al nordeste español en relación con las estimaciones a gran escala (HN) y a escala regional (MO y CET). De este estudio destaca, como era previsible, el más alto valor de correlación anual entre el nordeste peninsular y la cuenca del Mediterráneo Occidental, en la que, por otra parte, se halla inserto este espacio.

Por último, las correlaciones mejoran notablemente cuando se calculan interdecadalmente, más que cuando se estiman interanualmente, poniendo en evidencia un curso de cambio decadal más similar entre el conjunto de datos, especialmente reseñable entre el nordeste español y las estimaciones hemisféricas y del Centro de Inglaterra.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de CICYT para la realización de este estudio, materializado en la concesión de la ayuda de investigación de I+D CLI96-1842-C05-01. Asimismo, agradecen al Instituto Nacional de Meteorología la cesión de los datos.

6. BIBLIOGRAFÍA

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.

AGUILAR, E., LOPEZ, J. M., BRUNET, M., SALADIE, O., SIGRO, J. y LOPEZ, D., (1999): "Control de calidad y proceso de homogeneización de series térmicas catalanas". En J. M. RASO y J. MARTIN-VIDE (Eds.): "*La Climatología española en los albores del siglo XXI*", Publicaciones de la A.E.C., Serie A, 1, 15-23.

BRADZIL, R., ŠTEPÁNEK, P. KVĚTOŇ, V. (2001): "Temperature series of the Czech Republic and its relation to Northern Hemisphere temperatures in the period 1961–1999". En M. BRUNET y D. LOPEZ (Eds.): "*Detecting and Modelling Regional Climate Change and Associated Impacts*", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (en prensa).

BRUNET, M., AGUILAR, E., SALADIE, O., SIGRÓ, J. y LÓPEZ, D. (1999): "Evolución térmica reciente de la región catalana a partir de la construcción de series climáticas regionales". En J. M. RASO y J. MARTIN-VIDE (Eds.): "*La Climatología española en los albores del siglo XXI*", Publicaciones de la A.E.C., Serie A, 1, 91-101.

BRUNET, M., AGUILAR, E., SALADIE, O., SIGRÓ, J. y LÓPEZ, D. (2001): "The variations and trends of the surface air temperature in the NE of Spain from middle nineteenth century onwards". En M. BRUNET y D. LOPEZ (Eds.): "*Detecting and Modelling Regional Climate Change and Associated Impacts*", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (en prensa).

FOLLAND, C. K., KARL, T. R. y VINNIKOV, K. Ya. (1990): "Observed climate variations and change". En J. T. HOUGHTON, G. J. JENKINS y J. J. EPHRAUMS (Eds.): *Climate Change, The IPCC Scientific Assessment.*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 195-238.

FOLLAND, C. K., KARL, T. R., NICHOLLS, N., NYENZI, B. S., PARKER, D. E. y VINNIKOV,

- K. Ya. (1992): "Observed climate variability and change". En J. T. HOUGHTON, B. A. CALENDAR y S. K. VARNEY (Eds.): "*Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*", Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 135-170.
- HANSEN, J. E. y LEBEDEFF, S. (1987): "Global trends of measured surface air temperature". *Journal of Geophysical Research*, 92, 13345-13372.
- HANSEN, J. E., RUEDY, R., GLASCOE, J. y SATO M. (1999): "GISS analysis of surface temperature change". *Geophysical Research Letters*, 104, 30997-31022.
- JONES, P. D. (1994): "Hemispheric surface air temperature variations: A reanalysis and an update to 1993". *Journal of Climate*, 7, 1794-1802.
- JONES, P. D. (2001): "Instrumental temperature change in the context of the last 1000 years". En M. BRUNET y D. LOPEZ (Eds.): "*Detecting and Modelling Regional Climate Change and Associated Impacts*", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (en prensa).
- JONES, P. D. y HULME, M. (1997): "The Changing temperature of Central England". En E. BARROW y M. HULME: "*Climates of the British Isles: Present, past and future*", Routledge, London, 173-196
- 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". *Rev. 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., (2001): "Adjusting for sampling density in grid box land and ocean surface temperature time series". *Journal of Geophysical Research*, (en prensa)
- 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 and Applied Meteorology*, 25, 161-179.
- MANLEY, G. (1974): "Central England Temperatures: monthly means 1659 to 1973". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 100, 389-405.
- NICHOLLS, N., GRUZA, G. V., JOUZEL, J., KARL, T. R., OGALLO, L. A. y PARKER, D. E. (1996): "Observed climate variability and change". En J. T. HOUGHTON *et al.* (Eds.): "*The IPCC Second Scientific Assessment*", Cambridge University Press, 133-192.
- PARKER, D. E., LEGG, T. P. y FOLLAND, C. K., (1992): "A new daily Central England Temperature series, 1772-19912". *International Journal of Climatology*, 12, 317-342.
- PARKER, D. E., FOLLAND, C. K. y JACKSON, M., (1995): "Marine surface temperature: observed variations and data requirements". *Climatic Change*, 31, 559-600.
- PETERSON, T. C., GALLO, K. P., LAWRIK, J., OWEN, T. W., HUANG, A. y MCKITTRICK, D. A. (1999): "Global rural temperature trends". *Geophysical Research Letters*, 26, 329-332.
- PETERSON, T. C., VOSE, C. R., SCHMOYER, R. y RAZUVAEV, V., (1997): "Quality control of monthly temperature data: The GHCN experience". En <http://www.ncdc.noaa.gov/ol/climate/research/ghcn/ghcnq/html>
- VINNIKOV, K. Ya., GROISMAN, P. Ya. y LUGINA, K. M. (1990): "Empirical data on contemporary global climate changes (temperature and precipitation)". *Journal of Climate*, 3, 662-677.