

# TENDENCIAS DE LA TEMPERATURA

José Antonio GUIJARRO  
Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), D.T. en Illes Balears  
[jguijarrop@aemet.es](mailto:jguijarrop@aemet.es)

## RESUMEN

Se han recopilado las temperaturas máximas y mínimas medias mensuales de todas las estaciones que tenían un mínimo de 10 años de observación en el periodo 1951-2012, alcanzando un total de 2856 series, que se han homogeneizado con el paquete de R "Climatol". Se han calculado las tendencias de las series homogeneizadas mediante regresión lineal con el tiempo, y se ha constatado que las mayores tendencias positivas se dan en verano y primavera, aunque se observan patrones diferentes según las cuencas hidrográficas, siendo las islas Canarias las que presentan mayores peculiaridades al ser allí negativas las tendencias de las temperaturas máximas medias. Se ha estudiado la distribución geográfica de las tendencias, así como su dependencia con la altitud. Las tendencias más altas se observan en el tercio oriental de la península Ibérica y en la cuenca del río Tajo. Palabras clave: homogeneización, series termométricas españolas, tendencias, DTR.

## ABSTRACT

Mean maximum and minimum monthly temperatures have been collected for all stations with at least 10 years of observations during the period 1951-2012. 2856 series were compiled in total, which were homogenized with the R package "Climatol". Trends of the homogenized series were computed by linear regression with time, whose greater positive values were obtained in summer and spring, but with differing patterns in the main hydrological basins. Maximum temperature trends were negative in the Canary Islands only. Geographical distribution of trends and dependence with altitude have been studied, the higher trends corresponding to the eastern third of Iberian peninsula and Tajo river basin. Keywords: homogenization, Spanish temperature series, trends, DTR.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el actual contexto de preocupación por las consecuencias del continuo aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera, la variable climática más estudiada es la temperatura, puesto que una consecuencia inmediata de una mayor concentración de un gas transparente a la radiación de onda corta pero que absorbe una parte importante de la de onda larga es un incremento en la energía retenida por la atmósfera (efecto invernadero) que debe traducirse en un aumento de la temperatura media de nuestro planeta, si bien este calentamiento puede variar bastante según las áreas geográficas.

Las series termométricas españolas han sido ya objeto de estudio por diferentes autores, tanto a nivel nacional (Brunet et al., 2007; Moratiel et al., 2010; Del Río et

al., 2011 y 2012) como focalizando la atención en zonas concretas (Piñol et al., 1998; Serra et al., 2001; Morales et al., 2005; Del Río et al., 2005 y 2007; Martínez et al., 2010; Homar et al., 2010; Moratíel et al., 2011; Martín et al., 2012). Pero la heterogeneidad de estos estudios no se limita al área de aplicación, sino que también difieren en la densidad de las estaciones y el periodo que abarcan las series, así como en el control de calidad y homogeneidad aplicado a las mismas, lo que dificulta la comparación de sus resultados. Por este motivo, y porque de cualquier modo las series se van alargando con el transcurso de los años, se ha optado aquí por actualizar el estudio de las series termométricas españolas, abarcando un periodo común y extendiéndolo a un gran número de estaciones de observación. A continuación se expondrá la metodología empleada y se discutirán las tendencias termométricas observadas.

## 2. METODOLOGÍA

Con objeto de disponer de una amplia representatividad espacial, se han recopilado todas las series de valores mensuales medios de temperatura máxima y mínima que tuviesen un mínimo de 10 años de observación durante el periodo 1951-2012. El total de series alcanzó así un total de 2856, cuya distribución desglosada según las grandes cuencas hidrográficas puede verse en la tabla 1, al tiempo que su localización se muestra en el mapa de la figura 1. El número total de datos mensuales ascendió a 934615 de máximas medias y 934615 de mínimas medias, aunque en la figura 2 se observa que al principio del periodo estudiado se dispone de menos de 500 datos cada mes, para acercarse progresivamente hasta casi 1500 hacia 1975-78 y, después de un ligero descenso, continuar aumentando hasta un máximo de unas 1800 observaciones mensuales alrededor de 1995. Posteriormente se da un pronunciado descenso, hasta alrededor de unas 1000 observaciones al mes al final del periodo.

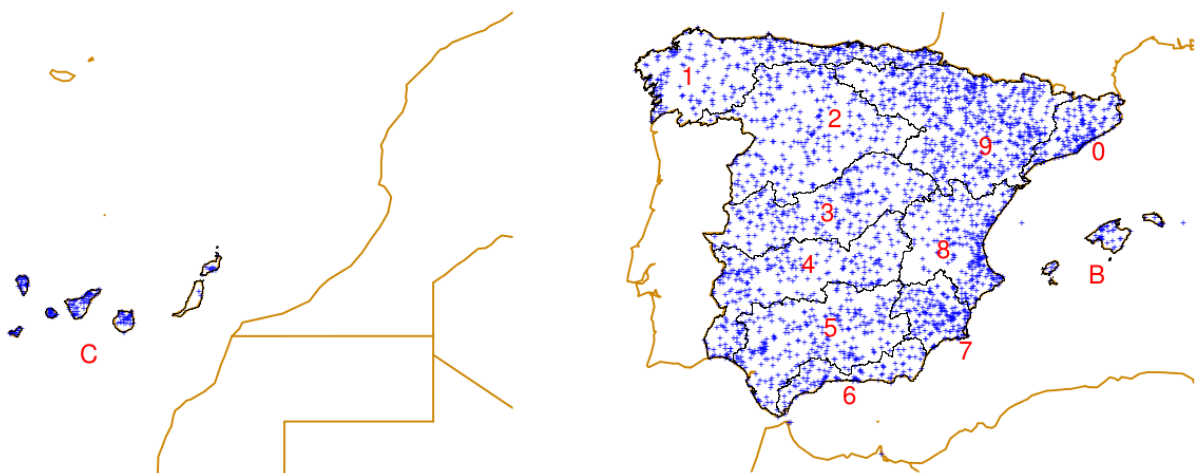


Fig. 1: Situación de las estaciones utilizadas de Canarias (izquierda), y Baleares y cuencas hidrográficas peninsulares (derecha).

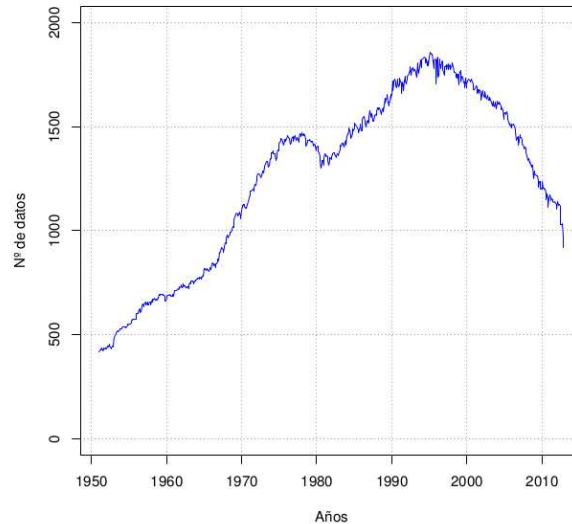


Fig. 2: Evolución del número de datos mensuales a lo largo del periodo de estudio. (Válido tanto para las máximas como para las mínimas).

Para el control de calidad, relleno de lagunas y homogeneización de las series (corrección de saltos abruptos en la media debidos a cambios de instrumentación o de condiciones de observación) se usó el paquete de R "Climatol" V. 2.2 (Guijarro, 2013), aplicándolo de forma individual a cada cuenca hidrográfica considerada. Este programa está diseñado para aprovechar toda la información climatológica de la zona estudiada, aun la procedente de series cortas, y es por esto por lo que se han incluido series de hasta sólo 10 años de observación, que obviamente no pueden servir directamente para el cálculo de tendencias representativas, pero sí pueden actuar como datos de referencia para las demás. En la tabla 1 puede verse también desglosado por cuencas el número de datos anómalos rechazados y cortes efectuados en las series para corregir los saltos detectados en la media. En términos relativos se han rechazado un 0,20% de temperaturas máximas medias y un 0,19% de mínimas, mientras que el número medio de cortes por serie estudiada ha sido de 2,23 y 2,31 en máximas y mínimas respectivamente.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Variaciones de la temperatura media anual

En primer lugar vamos a estudiar cuál ha sido la evolución de las temperaturas a lo largo del tiempo, promediando por cuencas las temperaturas medias anuales de las series homogeneizadas y completadas, y aplicándoles una suavización mediante una media móvil de 5 años. La figura 3a nos muestra que la variabilidad de las temperaturas máximas ha sido muy similar en términos generales, con una tendencia al aumento cuya principal excepción consiste en el periodo de enfriamiento que tiene lugar aproximadamente en la década 1965-1974. El archipiélago Canario, por su situación alejada del resto de España y sujeto a un clima diferenciado, es el que tiene el comportamiento más discrepante, puesto que presenta una tendencia general negativa, y el citado periodo de descenso se ve acompañado por otro hacia 1980-90. Las mínimas, por su parte, muestran una evolución menos irregular, tanto

a lo largo del tiempo como en el espacio, pues las de Canarias siguen ahora la tónica general (figura 3b).

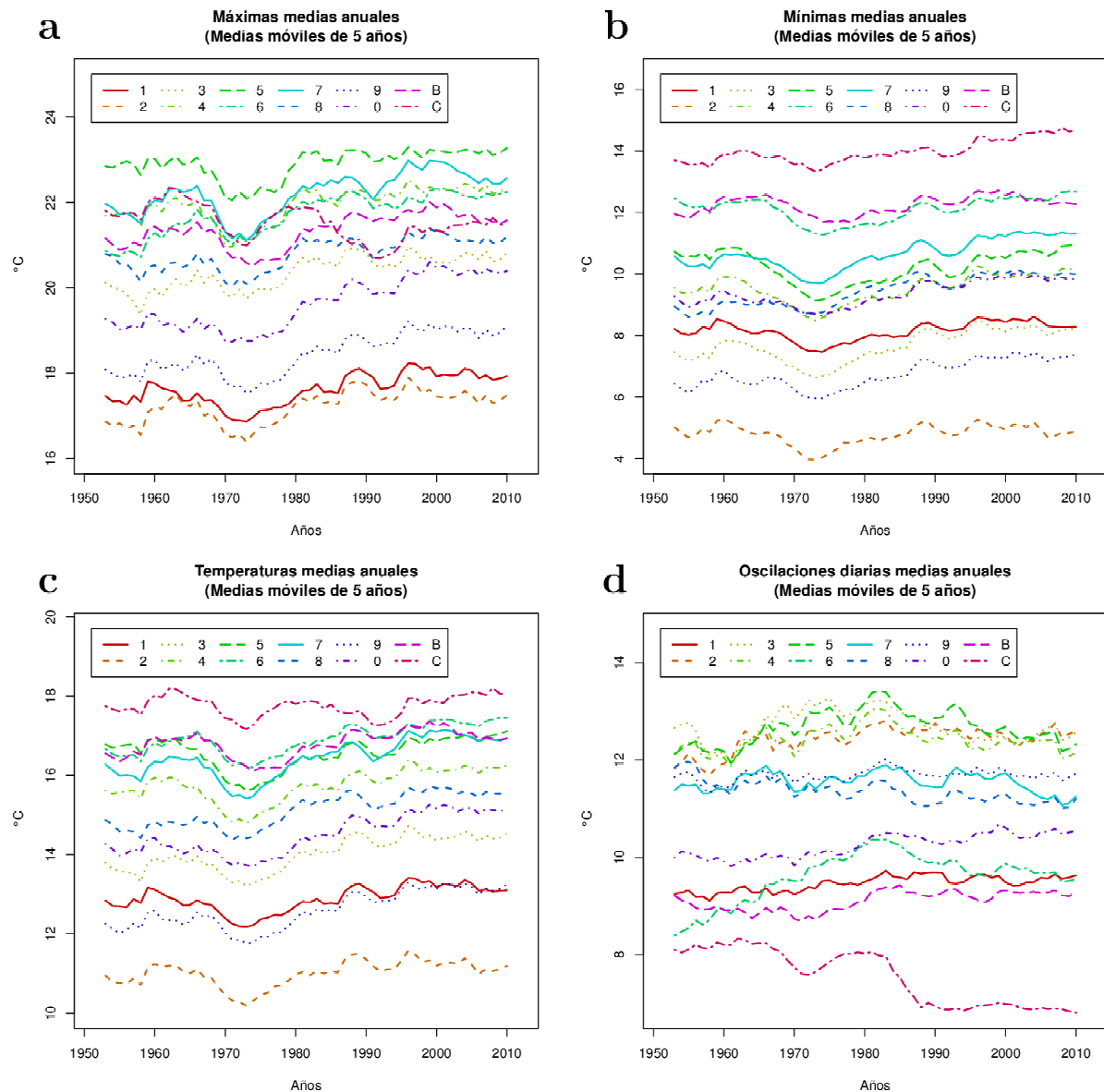


Fig. 3: Evolución temporal de las medias anuales de temperatura máxima (a), mínima (b), media (c) y oscilación termométrica (d) en cada cuenca hidrográfica.

La figura 3c presenta las variaciones de la temperatura media, que obviamente resultan intermedias entre las máximas y las mínimas, al estar calculadas como semisuma de ambas, mientras que su diferencia da como resultado el rango termométrico diario medio (DTR en siglas de la terminología inglesa), también conocido como oscilación termométrica (figura 3d), cuya evolución es la que presenta más disparidades entre las cuencas. Así, en Canarias (cuenca C) se observa una acusada disminución entre 1983 y 1988 que se refleja únicamente en algunas otras cuencas, pero mucho más amortiguada. Por otra parte, la cuenca 4 (Guadiana) presenta un aumento sostenido de la oscilación termométrica desde el inicio del periodo estudiado hasta 1982 que no aparece en las demás, cuyos comportamientos muestran tendencias muy variadas, tanto de signo positivo como negativo. Estas

variaciones espaciales de la DTR merecerán estudios posteriores para evaluar sus posibles causas, entre las que se pueden encontrar variaciones de la nubosidad, la humedad relativa, el viento y la urbanización del entorno de las estaciones de medida (Karl et al., 1993).

	Cuenca	Nº de estaciones	Temp. máximas		Temp. mínimas	
			Datos anómalos	Nº de cortes	Datos anómalos	Nº de cortes
1	Norte	323	150	602	145	603
2	Duero	279	250	727	224	667
3	Tajo	232	146	552	131	513
4	Guadiana	271	225	658	184	645
5	Guadalquivir	264	221	548	209	556
6	Sur	104	55	214	82	262
7	Sureste	175	149	504	165	549
8	Levante	255	120	723	119	705
9	Ebro	588	414	1237	328	1323
0	Pirineo Oriental	174	109	284	140	378
B	Baleares	48	13	84	26	100
C	Canarias	143	45	248	62	307
	TOTAL	2856	1897	6381	1815	6608

Tabla 1: Nº de estaciones, datos rechazados y cortes efectuados en las series, por cuencas hidrográficas.

La variabilidad que presentan las temperaturas a lo largo del tiempo hace que las tendencias observadas dependan de los años usados para su cómputo, puesto que pueden coincidir con fases de ascenso o descenso de oscilaciones de largo periodo que sesgarán los resultados. En los 62 años estudiados aquí se incluyen tanto la fase de descenso termométrico como el aumento posterior que pueden estar asociados con las disminución y recuperación de la radiación solar incidente observadas en las series (Sánchez-Lorenzo et al., 2007), aunque en comparación con la evolución de la radiación solar, la de la temperatura presenta un retraso temporal de una década. En cualquier caso, al quedar incluidas ambas fases de descenso y ascenso en el periodo 1951-2012, serán estos 62 años sobre los que calcularemos las tendencias, que presumiblemente estarán menos sesgadas que si se adoptase algún otro subperiodo como referencia para su determinación.

### 3.2 Tendencias de la temperatura en los últimos 62 años

Una vez decidido el periodo base para el cálculo de las tendencias se ha procedido a obtenerlas mediante regresión lineal ajustada por mínimos cuadrados con la variable temporal, por meses y por promedios anuales, a partir de las series homogeneizadas, para lo que se ha usado la función de post-proceso que incorpora el propio paquete

Climatol. La figura 4 presenta las tendencias mensuales del periodo 1951-2012 promediadas por cuencas, expresadas en °C por siglo. Lo primero que llama la atención en las tendencias de las temperaturas máximas medias (figura 4a) es la línea correspondiente a Canarias, que es la única con valores negativos en todos los meses con excepción de diciembre. Las tendencias más negativas, inferiores a  $-2^{\circ}\text{C}/\text{siglo}$ , se dan los meses de septiembre y octubre, seguidas por las de mayo.

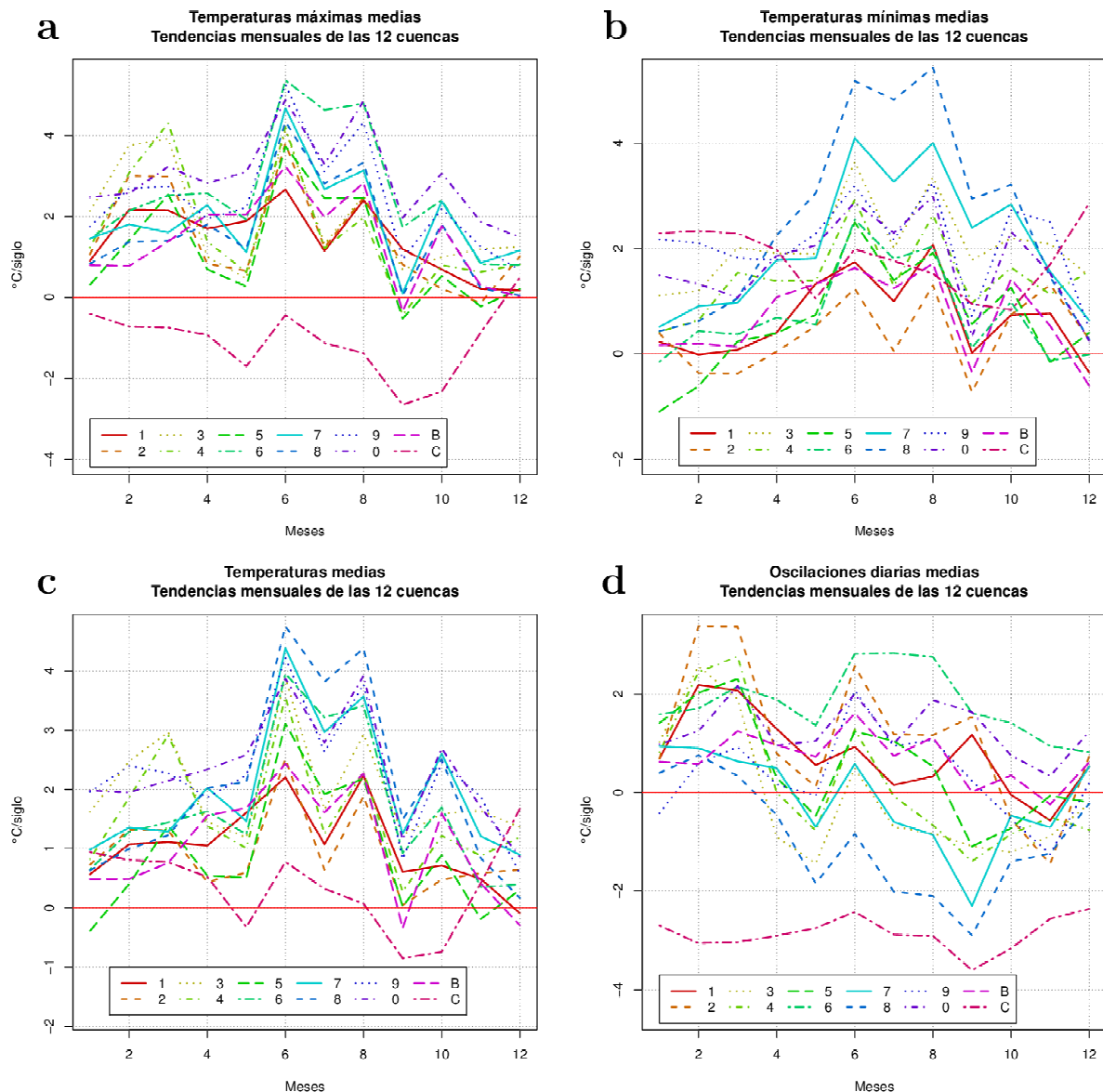


Fig. 4: Tendencias mensuales de la temperatura máxima (a), mínima (b), media (c) y oscilación termométrica (d) en cada cuenca hidrográfica durante 1951-2012.

En el resto de las cuencas las tendencias son casi siempre positivas, exceptuando algunos valores poco significativos en septiembre, noviembre y diciembre, mientras que las máximas tendencias se dan en verano y primavera, destacando las de los meses de junio y agosto (más de  $4^{\circ}\text{C}/\text{siglo}$  en algunas cuencas), seguidas por las de marzo, febrero y julio. En las cuencas atlánticas (5-Guadalquivir, 3-Tajo, 2-Duero y 4-Guadiana) las tendencias de abril y mayo son casi tan bajas como las de los meses

comprendidos entre septiembre y enero, mientras que en las demás cuencas son similares a las de febrero y marzo.

En lo que respecta a las tendencias de las temperaturas mínimas (figura 4b), los patrones tienen cierta semejanza con los de las máximas, con una mayoría de tendencias positivas, máximos en junio y agosto, y valores poco significativos en septiembre, noviembre y diciembre, pero estos patrones son más diferentes de unas cuencas a otras de lo que lo eran en el caso de las temperaturas máximas. La línea correspondiente a las islas Canarias es muy similar a la de sus máximas, sólo que unos 3°C/siglo mayores que éstas, y por tanto todos los valores mensuales presentan ahora tendencias positivas. Las cuencas orientales, principalmente las de Levante (8) y Sureste (7), tienen las tendencias más altas en los meses de verano, mientras que en diciembre y enero descienden hasta valores poco significativos. En cambio en otras cuencas no hay tanta diferencia entre las tendencias de verano y las del resto del año.

Nuevamente resulta innecesario comentar las tendencias de las temperaturas medias (figura 4c), al ser intermedias entre las de las máximas y las mínimas, por lo que pasaremos a discutir las tendencias de la oscilación diaria de temperaturas (figura 4d), que en general muestran las tendencias más positivas en febrero, marzo y junio. Las de Canarias son negativas todo el año, con diferencia respecto al resto de cuencas, y sin mostrar grandes variaciones de unos meses a otros. Exceptuando estas islas, las tendencias de la DTR en las demás cuencas son bastante similares los meses de noviembre a enero, mientras que entre junio y septiembre es donde presentan más disparidades, con valores máximos positivos en las cuencas Sur (6), Pirineo Oriental (0) y Duero (2), y mínimos (la mayoría negativos, sobre todo en septiembre) en las de Levante (8), Sureste (7) y Tajo (3).

Martín et al. (2012) también encuentran una tendencia a la disminución de la DTR en la isla de Tenerife, calculada sobre un periodo de 67 años (1944-2010), si bien en las zonas más elevadas esa tendencia no era significativa. En la tabla 2 se presentan las tendencias de las temperaturas máximas y mínimas medias anuales de cada cuenca y se analiza su dependencia con la altitud. Todas las tendencias anuales son positivas excepto las máximas de Canarias. Además, las tendencias de las máximas son todas significativas a niveles de al menos 0,01, mientras que la significación de las tendencias de las temperaturas mínimas es más variada, desde altamente significativas en siete de las cuencas hasta no significativas en las del Duero y Guadalquivir. En las islas Canarias es donde la correlación de estas tendencias con la altitud es más elevada, y de signo contrario para las tendencias de las máximas (que disminuyen con la altura) y de las mínimas (aumentando con ella), lo que indica un aumento de la tendencia de la DTR con la altitud (al contrario de lo obtenido por Martín et al., 2012, para la isla de Tenerife). Sin embargo el caso de Canarias es singular, como lo es su ubicación geográfica alejada de la península Ibérica, y en casi todas las demás cuencas las tendencias de las máximas aumentan con la altitud (se exceptúan el Duero y el Ebro), mientras que las tendencias de las mínimas presentan una dependencia muy variada con la altura, con igual número de valores positivos que negativos.

Cu	Altitudes (m)			Temp. máximas				Temp. mínimas			
	Mín.	Máx.	Dif.	Tend.	Sig.	r	Sig.	Tend.	Sig.	r	Sig.
1	1	1500	1499	1,44	***	0,53	***	0,67	*	0,04	-
2	116	1890	1774	1,49	**	-0,17	**	0,37	-	-0,08	-
3	220	1500	1280	1,94	***	0,50	***	2,06	***	-0,14	*
4	2	1020	1018	1,65	***	0,66	***	1,46	***	0,47	***
5	1	1592	1591	1,15	**	0,17	**	0,63	-	0,52	***
6	2	1800	1798	2,59	***	0,69	***	0,77	*	0,45	***
7	0	1350	1350	1,94	***	0,33	***	2,06	***	-0,61	***
8	2	1730	1728	1,60	***	0,64	***	2,56	***	0,14	*
9	4	2263	2259	2,42	***	-0,12	**	2,10	***	-0,55	***
0	0	1967	1967	2,96	***	0,23	**	1,70	***	-0,34	***
B	2	1030	1028	1,39	***	0,34	*	0,71	*	-0,26	+
C	3	2367	2364	-1,07	**	-0,81	***	1,80	***	0,81	***

Tabla 2: Altitudes de las estaciones de cada cuenca, tendencias de las temperaturas máximas y mínimas medias anuales (en °C/siglo), y coeficientes de correlación (r) con la altitud. Niveles de Significación: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '+ ' 0,1 '-' 1.

Es de destacar que, individualmente, las tendencias anuales de las temperaturas máximas y mínimas son positivas en todas las estaciones de la península Ibérica y Baleares, así como también son positivas todas las tendencias de las temperaturas mínimas de Canarias, donde las tendencias de las máximas son, por el contrario, negativas, también en todos los observatorios. Su distribución espacial se muestra en la figura 5, representando con círculos las tendencias positivas y triángulos invertidos las negativas, con tamaños proporcionales al valor absoluto de las tendencias en ambos casos. En Canarias las tendencias de las temperaturas máximas son más negativas en las islas occidentales, mientras que las mínimas son más positivas también cuanto más hacia el oeste. En ambos casos se observa también la influencia de la altitud en el aumento del valor absoluto de las tendencias, como se ha comentado anteriormente.

Las tendencias en la península Ibérica, tanto de las máximas como de las mínimas, son mayores en el tercio oriental y la cuenca del Tajo. También son elevadas las tendencias de las máximas en la cuenca Sur, pero en las islas Baleares presentan valores pequeños en ambos casos. No obstante, las fuertes discontinuidades de las tendencias de unas cuencas a otras (más visibles en las mínimas) no parecen estar justificadas por las divisorias montañosas de las mismas, de modo que en futuros trabajos será conveniente no realizar la homogeneización y relleno de lagunas a nivel de cuenca, sino conjuntamente para todo el territorio peninsular.

#### 4. CONCLUSIONES

La evolución de las temperaturas de los últimos 62 años muestra una tendencia al alza, si bien durante un periodo de unos 10 años alrededor de 1970 se produjo una fase de enfriamiento. En conjunto todas las temperaturas máximas tienen tendencias



positivas excepto en Canarias, donde son de signo negativo. Las tendencias de las temperaturas mínimas son todas positivas, sin excepciones, aunque en algunas cuencas son poco significativas.

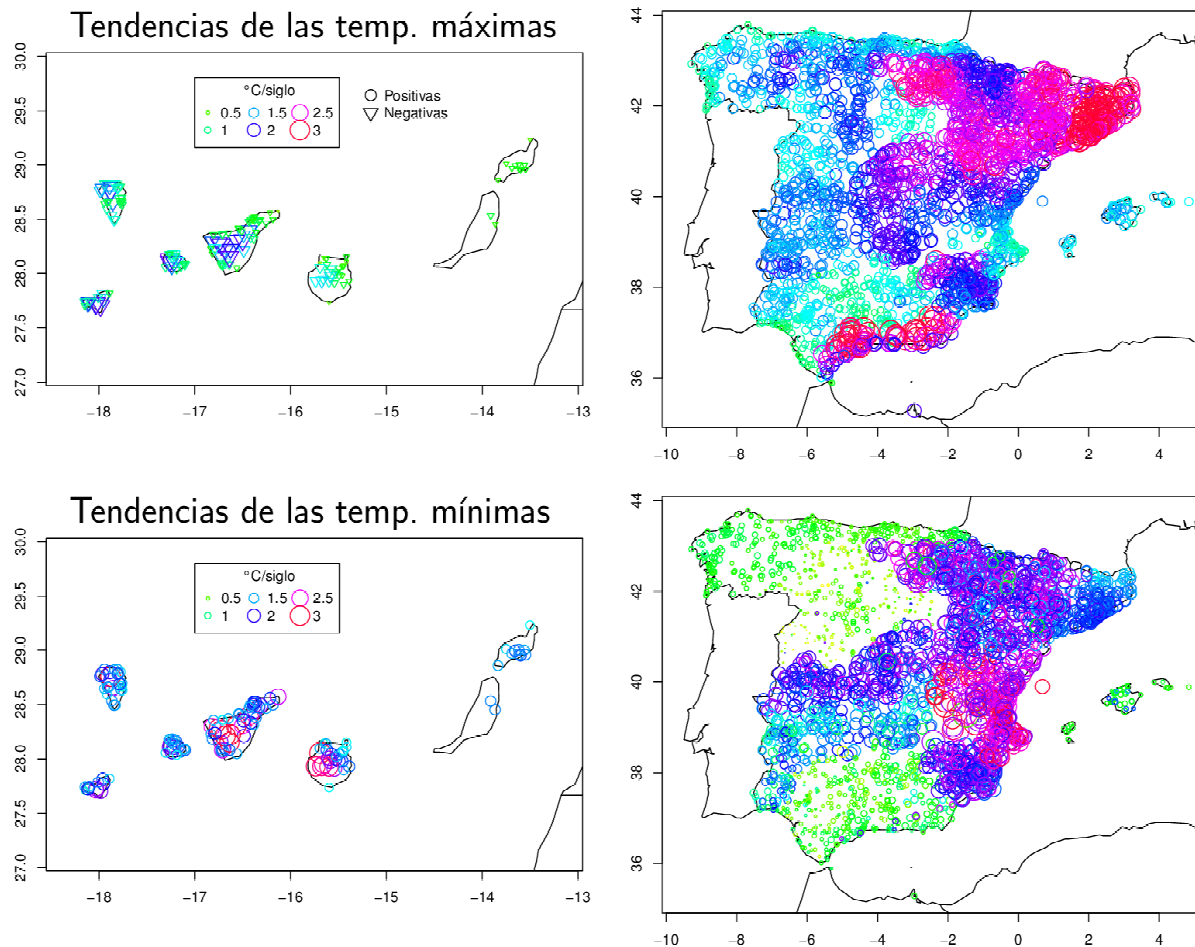


Fig. 5: Tendencias anuales de las temperaturas máximas (arriba) y mínimas (abajo) medias durante el periodo 1951-2012, expresadas en °C/siglo.

Las tendencias de las temperaturas máximas medias son especialmente altas en verano y primavera, superándose en algunas cuencas los 4°/siglo en junio y agosto. En cambio las de Canarias son negativas en casi todos los meses.

Las temperaturas mínimas, con notables variaciones de unas cuencas a otras, también presentan tendencias positivas especialmente significativas en junio y agosto. En Canarias son positivas todo el año, con los valores más altos concentrados desde diciembre hasta marzo.

El patrón estacional de las tendencias de las oscilaciones diarias de la temperatura es muy diverso en las cuencas estudiadas, destacando los valores negativos durante todo el año en Canarias.

Las tendencias de las máximas medias anuales están positivamente correlacionadas con la altitud en todas las cuencas excepto en Canarias, Duero y Ebro, donde la

relación es inversa. La relación de las tendencias de las mínimas con la altitud es mucho más variada, predominando las correlaciones positivas en las cuencas atlánticas y las negativas en las mediterráneas.

En futuros trabajos será aconsejable realizar la homogeneización de las series de modo conjunto en lugar de por cuencas, para suavizar las fuertes discontinuidades observadas en las divisorias de las mismas.

## **5. BIBLIOGRAFÍA**

Brunet, M., Jones, P.D., Sigró, J., Saladié, O., Aguilar, E., Moberg, A., Della-Marta, P.M., Lister, D., Walther, A. and López, D. (2007). "Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005". *J. Geophys. Res.*, 112, D12117, doi: 10.1029/2006JD008249.

Del Río, S., Penas, A. and Fraile, R. (2005). "Analysis of recent climatic variations in Castile and León (Spain)". *Atm. Res.*, 73, pp. 69-85.

Del Río, S., Fraile, R., Herrero, L. and Penas, A. (2007). "Analysis of recent trends in mean maximum and minimum temperatures in a region of the NW of Spain (Castilla y León)". *Theor. App. Climatol.*, 90, pp. 1-12.

Del Río, S., Herrero, L., Pinto-Gomes, C. and Penas, A. (2011). "Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961-2006". *Glob. Planet. Change*, 78, pp. 65-75.

Del Río, S., Cano-Ortiz, A., Herrero, L. and Penas, A. (2012). "Recent trends in mean maximum and minimum air temperatures over Spain (1921-2006)". *Theor. Appl. Climatol.*, DOI: 10.1007/s00704-012-0593-2.

Guijarro, J.A. (2013). User's guide to climatol. An R contributed package for homogenization of climatological series. Disponible en <http://www.climatol.eu/climatol-guide.pdf>

Homar, V., Ramis, C., Romero, R. and Alonso, S. (2010). "Recent trends in temperature and precipitation over the Balearic Islands (Spain)". *Clim. Change*, 98, pp. 199-211.

Karl, T.R., Jones, P.D., Knight, R.W., Kukla, G., Plummer, N., Razuvayev, V., Gallo, K.P., Lindsey, J., Charlson, R.J. and Peterson, T.C. (1993). "Asymmetric Trends of Daily Maximum and Minimum Temperature". *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 74, pp. 1007-1023.

Martín, J.L., Bethencourt, J. and Cuevas-Agulló, E. (2012). "Assessment of global warming on the island of Tenerife, Canary Islands (Spain). Trends in minimum, maximum and mean temperatures since 1944". *Climatic Change*, 114, pp. 343-355.

Martínez, M.D., Serra, C., Burgueño, A. and Lana, X. (2010). "Time trends of daily maximum and minimum temperatures in Catalonia (ne Spain) for the period 1975-2004". *Int. J. Climatol.*, 30, pp. 267-290.

Morales, C.G., Ortega, M.T., Labajo, J.L. and Piorno, A. (2005). "Recent trends and temporal behavior of thermal variables in the region of Castilla-León (Spain)". *Atmósfera*, 18, pp. 71-90.

Moratiel, R., Snyder, R.L., Durán, J.M. and Tarquis, A.M. (2011). "Trends in climatic variables and future reference evapotranspiration in Duero Valley (Spain)". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, pp. 1-11.

Piñol, J., Terradas, J. and Lloret, F. (1998). "Climate warming, wildfire hazard and wildfire occurrence in coastal Eastern Spain". *Clim. Change*, 38, pp. 345-357.

Sánchez-Lorenzo A, Brunetti M, Calbó J and Martín-Vide J. (2007). "Recent spatial and temporal variability and trends of sunshine duration over the Iberian Peninsula from a homogenized data set". *J. Geophys. Res.*, 112, D20115, 18 pp.

Serra, C., Burgueño, A. and Lana, X. (2001). "Analysis of maximum and minimum daily temperatures recorded at Fabra Observatory (Barcelona, NE Spain) in the period 1917-1998". *Int. J. Climatol.*, 21(5), pp. 617-636.