

VARIACION ESPACIAL DE LAS TENDENCIAS DE LOS PROMEDIOS ESTACIONALES DE LAS MÁXIMAS Y DE LAS MÍNIMAS EN ESPAÑA (1951-2010)

José Carlos GONZALEZ-HIDALGO¹⁻², Dhais PEÑA-ANGULO¹⁻², Claudia SIMOLO³,
Michele BRUNETTI³, Nicola CORTESI¹⁻²

⁽¹⁾ *Departamento de Geografía, Universidad de Zaragoza, España*

⁽²⁾ *Instituto Universitario de Ciencias Ambientales, Universidad Zaragoza*

⁽³⁾ *ISAC-CNR, Bologna, Italia*

jcgh@unizar.es

RESUMEN

El análisis espacial de las tendencias de las temperaturas estacionales de la base de datos MOTEDAS, (MOnthly TEMperature DATaset of Spain) muestra un aumento significativo y generalizado de los promedios de las máximas en invierno y verano en más del 80% del territorio y en menor extensión en primavera (57%), mientras se ha detectado tendencias positivas y significativas en los promedios de las mínimas en más del 75% del territorio en verano y primavera, y en menor extensión en otoño (47% del territorio) y en invierno (30,1% del territorio). La evolución de las tasas en intervalos secuenciados de treinta años (inicio 1951-1980) indica desde el máximo periodo de calentamiento (1971-2000) que solamente el verano mantiene una evolución positiva. Se discute la posible naturaleza de la variación espacial observada en las tendencias y su posible relación con los cambios de uso del suelo.

Palabras clave: Temperatura máxima, temperatura mínima, base de datos, Mann-Kendall, pendiente de Sen, análisis estacional, España

ABSTRACT

Seasonal trend analyses of temperature dataset MOTEDAS (MOnthly TEMperature DATaset of Spain) show a significant and positive evolution of diurnal winter and summer (>80% of land) and to a lesser extend during spring (57% of land), while significant and positive trend were detected over 75% of land in summer and spring minimum, only in 47% of land in autumn and 30.1% of land in winter. Temporal analyses of rates shows only positive rates persist in summer. We discuss different explanations and suggest the eventual effects of land use changed occurred in Spain as a factor to be considered.

Key words: Maximun and Minimum Temperature, data base, Mann-Kendall, Sen's slope, seasonal analyses, Spain.

1. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas numerosas evidencias han puesto de manifiesto que el comportamiento de las temperaturas es espacialmente muy variable (Zveryaev y Gulev, 2009; Capparelli et al., 2013; Xia, 2013), y que las áreas de clima mediterráneo, particularmente la Península Ibérica, son uno de los lugares del planeta donde se ha venido detectando uno de los aumentos más notables (Brunet et al., 2007). Sorprendentemente, sin embargo, el reciente informe MedCLIVAR España (Bladé y Castro-Diez, 2010) ha indicado que en España las

investigaciones sobre la evolución de las temperaturas son muy escasas y que no abundan los estudios en que se haya analizado el calentamiento con detalle, para detectar si el proceso es generalizado, si ha afectado a todas las medidas termométricas por igual, y en qué momentos del año. En el mismo informe se señala que es difícil además comparar aquellas investigaciones por los diferentes métodos, bases de datos y periodos analizados. Una revisión de los trabajos publicados hasta el momento en España, sugeriría lo siguiente:

- La temperatura ha aumentado en España continental durante el siglo 20; esta tendencia no ha sido constante, y se han detectado tres periodos (calentamiento hasta los años cuarenta; enfriamiento hasta los setenta y desde entonces calentamiento).
- Desde 1970 la temperatura ha aumentado especialmente en verano y primavera, y en general las máximas (T_{\max}) han aumentado más que las mínimas (T_{\min}).
- Las áreas afectadas por un aumento más severo de las temperaturas se localizan en el este peninsular y especialmente la vertiente mediterránea.
- Junto a la variabilidad espacial de T_{\max} y T_{\min} existen discrepancias sobre la evolución de la amplitud térmica ($T_{\max} - T_{\min}$) y en consecuencia del comportamiento de las temperaturas diurnas y nocturnas desde 1970.

En el presente trabajo presentamos un análisis a alta resolución espacial de la evolución de las temperaturas estacionales (periodo 1951-2010) de la España peninsular empleando la base de datos MOTEDAS. Los objetivos son (1) analizar con la máxima resolución posible la evolución térmica durante los últimos sesenta años, (2) determinar si es posible la variabilidad espacial, y (3) tratar de identificar si el proceso de calentamiento es generalizado en el tiempo o está confinado a momentos específicos del año.

2. METODO

La base de datos de temperaturas mensuales MOTEDAS (MOnthly TEMperature DATaset of Spain) se ha elaborado a partir de los registros de temperaturas promedio mensuales de las máximas (T_{\max}) y mínimas (T_{\min}) digitalizados y conservados en los archivos de AEMet. Del total de observatorios solamente se han analizado aquellos con más de 120 meses de registros mensuales, cuyas series fueron sometidas a un control de calidad para descartar datos anómalos e inhomogeneidades. Las series de referencia se confeccionaron combinando los criterios de distancia entre vecinos (<200 km) y comportamiento similar en sus periodos de solape (mínimo siete años), evaluado por correlaciones mensuales positivas a partir de las series de diferencias. Las series libres de datos sospechosos y homogéneas fueron reconstruidas con vecinos a distancias crecientes (1951-2010), y con un conjunto seleccionado de las mismas se elaboró una malla de alta resolución ($0.1^\circ \times 0.1^\circ$, c. 10 km^2), empleando el mismo proceso que en la base de datos de precipitaciones MOPREDAS (véase González-Hidalgo et al. 2011). El análisis de tendencias se realizó sobre la malla aplicando la prueba de Mann-Kendall ($p < 0.05$); para evaluar la tasa se empleó el estadístico de Sen. La escala temporal analizada es la estacional.

3. RESULTADOS

MOTEDAS consta de 1348 observatorios completos, y homogéneos en el periodo 1951-2010, en los que el 52,8% de los datos son originales, un 36,2% procede de vecinos a <10km y el resto de observatorios hasta 25 km. Su distribución espacial se muestra en la Figura 1.

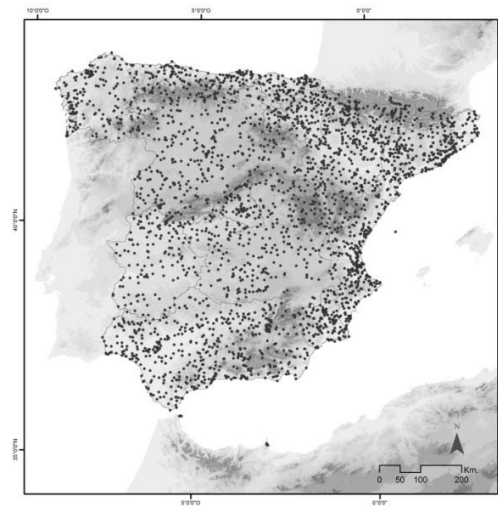


Figura 1. DISTRIBUCIÓN DE LOS OBSERVATORIOS DE MOTEDAS (1951-2010)

La densidad de observatorios difiere por altitudes; es muy elevada hasta 750 m a.s.n.m. (< 1 observatorio/350 km²), algo menos entre 750-1000 m (1 observatorio/500 km²), y decrece por encima de 1000 m. El valor promedio es de 1 observatorio/360 km².

Los resultados globales del análisis de tendencias estacionales se muestran en la Tabla 1, donde en las columnas de la izquierda se recoge el porcentaje de territorio afectado según signo de tendencia (positivo/negativo) y nivel de significación (no significativo y $p < 0.05$). Las columnas de la derecha a su vez muestran la tasa de cambio en °C/década también según signo de la tendencia y probabilidad de significación.

En términos generales T_{\max} ha aumentado significativamente en invierno y verano en prácticamente toda la España peninsular (respectivamente 89.9 y 99.9% del territorio) y en menor medida durante la primavera (57%), mientras en otoño se detecta una tendencia mayoritariamente positiva pero no significativa. Por su parte, las temperaturas nocturnas (T_{\min}) aumentaron significativamente en todo el territorio en verano (99.4%), y en menor grado pero de manera generalizada también en primavera (79.3%), mientras que el porcentaje de territorio con aumentos significativos en otoño se redujo a menos del 50%, y en invierno fue 1/3 del territorio. En general, durante el invierno se observa un ligero gradiente oeste-este, que pasa a ser este-oeste en primavera y verano. Los promedios estacionales de las temperaturas medias (T_{med}) aumentaron significativamente en más del 80% del territorio a excepción del otoño, sin patrones espaciales detectables.

Las tasas asociadas a estas tendencias indican que donde la tendencia resultó ser significativa, los aumentos principales de T_{\max} entre 1951-2010 se han producido durante el verano (0.303°C/década), la primavera (0.250°C/década), y el invierno (0.248°C/década). Distinto ha sido el incremento térmico en T_{\min} ; donde su aumento fue significativo la tasa superior corresponde al verano (0.293°C/década), seguida del invierno (0.210°C/década) y primavera (0.194°C/década). En ambos casos los aumentos en el otoño fueron no significativos (T_{\max}), o de menor intensidad (T_{\min}). Para una correcta evaluación de estas tasas debemos considerar el área afectada con tendencia significativa; así el valor de la tasa invernal de T_{\max} procede de una gran extensión, mientras que las altas tasas de invierno de T_{\min} proceden solamente de 1/3 del territorio, y viceversa en primavera. Por último, las tasas de los promedios estacionales fueron superiores en verano (0.293°C/década) y semejantes en invierno y primavera

(respectivamente 0.210 y 0.207°C/década), resultando irrelevantes los valores de otoño por la escasa extensión de tendencias significativas en el territorio.

	p	Porcentaje de territorio					Tasa (°C/década)					
		Inv	Prim	Ver	Ot	Año	Inv	Prim	Ver	Ot	Año	
T_{max}	(+)	<0,05	89,9	57,0	99,8	6,4	99,5	0,248	0,250	0,303	0,187	0,197
		n.s	100,0	100,0	100,0	92,2	100,0	0,238	0,222	0,303	0,081	0,197
								0,238	0,222	0,303	0,073	0,197
T_{min}	(-)	n.s	0,0	0,0	0,0	7,8	0,0				-0,017	
		<0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
T_{min}	(+)	<0,05	30,1	79,3	99,4	46,9	97,7	0,210	0,194	0,293	0,168	0,195
		n.s	100,0	100,0	100,0	99,9	100,0	0,170	0,175	0,292	0,129	0,193
								0,170	0,175	0,292	0,129	0,193
Amplitud	(-)	n.s	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0				-0,009	
		<0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
Amplitud	(+)	<0,05	1,7	7,1	23,1	0,1	15,0	0,161	0,148	0,148	0,138	0,096
		n.s	85,4	80,9	58,0	16,1	56,7	0,077	0,072	0,095	0,038	0,056
								0,060	0,045	0,016	-0,075	0,005
Amplitud	(-)	n.s	14,6	19,1	42,0	83,9	43,3	-0,037	-0,067	-0,092	-0,097	-0,060
		<0,05	0,6	3,2	17,2	18,0	8,7	-0,132	-0,161	-0,154	-0,185	-0,134
T_{med}	(+)	<0,05	91	80	100	17	100	0,210	0,207	0,293	0,145	0,196
		n.s	100	100	100	100	100	0,205	0,195	0,293	0,104	0,196
								0,205	0,195	0,293	0,104	0,196
T_{med}	(-)	n.s	0	0	0	0	0					
		<0,05	0	0	0	0	0					

Tabla 1. PORCENTAJE DE TERRITORIO AFECTADO SEGÚN TENDENCIAS Y SIGNIFICACIÓN, Y TASAS CORRESPONDIENTES (°C/DÉCADA), DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DE LAS MÁXIMAS (T_{max}), MINIMAS (T_{min}) y DE LA AMPLITUD ESTACIONAL, Y DE LOS PROMEDIOS (T_{med}). VALORES ESTACIONALES Y ANUALES (1951-2010).

La tendencia de la amplitud estacional de invierno y primavera ha sido predominantemente positiva aunque con baja significación. Mientras tanto en verano se han detectado tendencias significativas de signo positivo y negativo en el 23.1% y 17.2% del territorio respectivamente, y negativas y significativas en otoño en el 18%. La tendencia de la amplitud anual con significación estadística resultó ser negativa en el 15% del territorio. En general se detectan claras diferencias latitudinales, localizándose las tendencias positivas en la mitad norte y las negativas en la sur, especialmente durante el verano (Figura 2).

En el tiempo las tasas varían entre estaciones, periodos y medida termométrica. En la Figura 3 se muestra la evolución de la tasa de los promedios anuales de T_{max} , T_{min} y de la amplitud anual en periodos móviles de 30 años desde 1951-1980 hasta 1981-2010. La Figura permite observar que en torno al periodo 1971-2000 se alcanzó el máximo valor, pero inmediatamente promedios anuales de máximas y mínimas decrecen siendo el descenso de T_{max} mucho más marcado que el de T_{min} , por lo que la amplitud anual resultó negativa. La Figura 4 muestra la evolución de los promedios estacionales también en periodos móviles de 30 años y permite

apreciar que, salvo en verano, las tasas de las temperaturas promedio estacionales desde 1970 descienden.

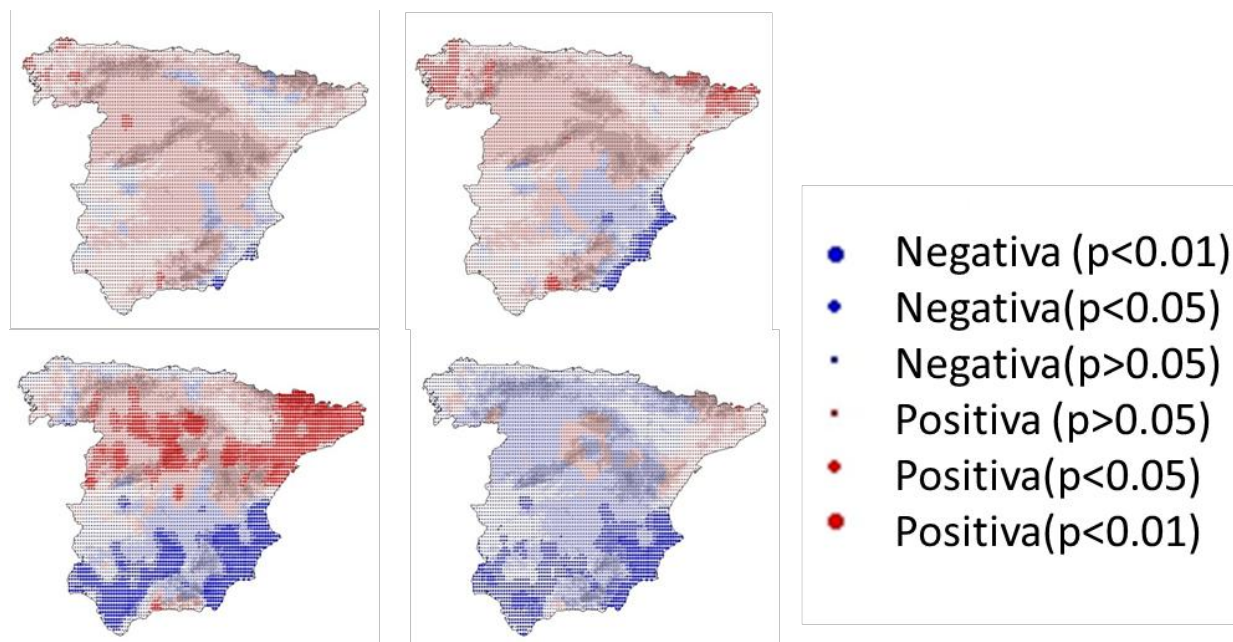


Figura 2. TENDENCIA DE LAS AMPLITUDES ESTACIONALES (°C/DECADA).

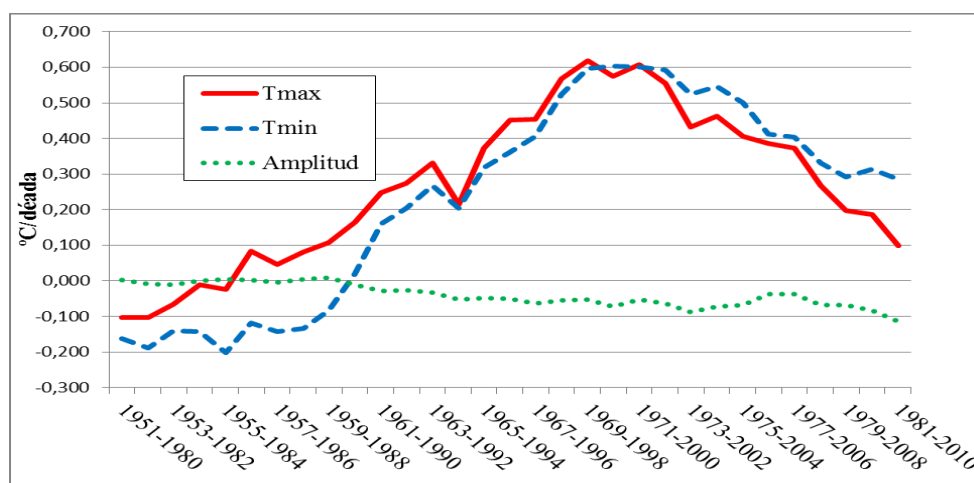


Figura 3. VARIACIONES DE LAS TASAS DE LOS PROMEDIOS ANUALES DE T_{max} , T_{min} Y AMPLITUD EN PERIODOS DE 30 AÑOS (METODO DE SEN, °C/DECADA).

4. DISCUSION

La base de datos de temperaturas mensuales promedio de España peninsular MOTEDAS ha permitido conocer la evolución de las temperaturas durante el periodo 1951-2010 con una resolución detallada. MOTEDAS lógicamente no está libre de errores y es susceptible de mejoras en el futuro, si bien la coherencia de la distribución espacial de sus resultados sugiere

que se ha alcanzado una calidad razonable que avala las principales conclusiones del análisis de sus tendencias.

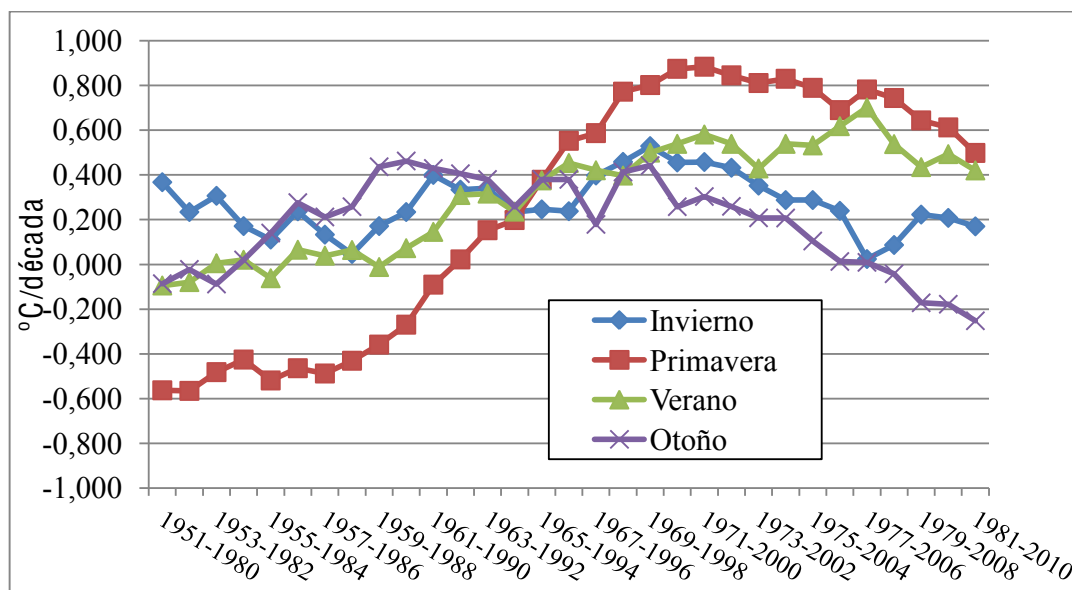


Figura 4. VARIACIONES DE LAS TASAS DE LOS PROMEDIOS ESTACIONALES (T_{Med}) EN PERIODOS DE 30 AÑOS (METODO DE SEN, °C/DECADA).

Tanto las temperaturas diurnas como las nocturnas han aumentado en España de manera significativa y generalizada durante el periodo 1951-2010, durante el verano, invierno y primavera en los valores diurnos, y en verano, primavera, otoño e invierno en los valores nocturnos (por este orden). Los resultados corroboran grosso modo las investigaciones precedentes si bien MOTEDAS permite detectar variaciones espaciales, particularmente visibles en la tendencia de la amplitud estacional, que sugieren que el calentamiento puede estar sometido a variaciones espaciales y temporales. Se ha sugerido que durante el siglo 20 el invierno y la primavera han sido las estaciones con mayores aumentos térmicos (Caesar et al., 2006), mientras en la Península Ibérica se ha indicado que el máximo aumento térmico de las décadas recientes se ha dado en primavera-verano (Ríos et al., 2012; Guijarro, 2013). Estos resultados sugieren que el calentamiento podría haber dependido de la escala espacial y temporal considerada, como han sugerido en Europa Zveryaev y Gulev (2009) y en la Península Ibérica Brunet et al. (2007).

Los resultados presentados en este trabajo demuestran que la variabilidad espacial y temporal del calentamiento en la Península Ibérica es un hecho, aún más evidente en el análisis mensual (no presentado en este estudio). Así por ejemplo estacionalmente se ha detectado que el aumento de temperatura, salvo en verano, solamente se produce de modo significativo en algunos meses de invierno y primavera, con distribuciones espaciales distintas y con diferencias notables entre las temperaturas nocturnas y diurnas. Tales resultados sugieren que el calentamiento en la España continental dependiera según áreas de los valores de temperatura diurna (T_{max}), o nocturna (T_{min}). El presente estudio estacional permite sugerir estas conclusiones especialmente durante el verano, cuando en el sur y este peninsular la amplitud presenta una tendencia negativa y significativa, mientras en la mitad norte se han identificado tendencias significativas y de signo positivo. Del mismo modo, la diferente superficie afectada por tendencias significativas en invierno y primavera (signo positivo) en las máximas y mínimas, sugieren que el calentamiento ha dependido más de las temperaturas

diurnas en el primer caso, y de las nocturnas en el segundo. Por último, y a tenor de su distribución espacial, las temperaturas diurnas parecieran afectar en mayor medida el calentamiento en la mitad norte, mientras en la mitad sur y costa mediterránea dependería en mayor medida del comportamiento de las temperaturas nocturnas.

Desde los años setenta del pasado siglo se ha sugerido una aceleración de las tasas de calentamiento en España (Brunet et al., 2005, 2007), si bien el análisis de MOTEDAS parece sugerir que la treintena 1970-2000 es el periodo de máximo ascenso térmico, y que desde el propio inicio de la misma las temperaturas han comenzado a disminuir excepto en verano, siendo el descenso más acusado en las máximas que las mínimas.

Durante el siglo XX hasta la década de los años ochenta numerosos estudios han informado de que los aumentos de T_{\min} han sido superiores a los observados en T_{\max} (Karl et al., 1993; Easterling et al., 1997) así como de la reversión de este proceso desde 1980 (Rohde et al., 2013). Pero igualmente se han detectado tendencias de la amplitud negativas incluso hasta bien entrado el siglo XXI (Cohen et al., 2013), incluyendo Africa oriental (Christy et al., 2009), EEUU (Misra y Michael, 2013), Canadá (Vincent et al., 2012), China (véase revisión en Wu and Yang, 2013). En España los resultados publicados difieren, con valores de tendencia positivos en escala nacional (Brunet et al., 2007; Bermejo and Ancell, 2002; del Rio et al., 2012; Rios et al., 2012; Guijarro, 2013), y regional (del Río et al., 2007; Galán et al., 2001), mientras tendencias negativas de la amplitud han sido sugeridas en el conjunto nacional por Staudt et al. (2005), y en diferentes análisis regionales (El-Kenawwy et al., 2012; Martínez et al., 2010; Ramos et al., 2012; Miró et al., 2006). La comparación de estos resultados es difícil por proceder de bases de datos distintas en su densidad espacial y no coincidir sus periodos, aunque los resultados obtenidos en MOTEDAS parecen concordar con ambos, en el sentido de que los estudios regionales en general han sugerido aumentos de la amplitud en la mitad norte y descensos en la mitad sur y litoral mediterráneo.

Se acepta que los factores locales pueden modificar en mayor medida las temperaturas nocturnas que diurnas, entre los que se citan los cambios de usos del suelo, el regadío y la industrialización, la nubosidad, los aerosoles, la humedad del suelo y atmosférica etc (Ren et al., 2008; Klotzbach et al. 2009). La razón es que durante el día la temperatura está controlada por la radiación solar, y los valores registrados en los termómetros son buenos indicadores del calor distribuido a lo largo de la columna de aire por procesos adiabáticos, mientras en la noche se ha sugerido que los termómetros reflejan solamente el calor de una capa muy delgada de aire, de modo que sus registros indicarían la redistribución de calor en la columna atmosférica en vez de ganancias de calor (Christy et al., 2009; McNider et al., 2010). Esta hipótesis se ha planteado ante las discrepancias observadas entre las observaciones de superficie y de los satélites, y han llevado a pensar que los factores locales son los responsables del comportamiento de las temperaturas nocturnas.

Durante la segunda mitad del siglo XX en España se han producido importantes transformaciones en los usos del suelo. Algunas cifras informan de estos cambios: en 2009 la superficie irrigada ocupaba 34.000 km² representando el 7% del territorio peninsular español, localizándose especialmente en La Mancha (14.3% del total), Andalucía (28.6%, ídem), Valencia (9.6% ídem) y Cataluña (7%, ídem), es decir más de 20.000 km². El estudio de las superficies por CCAA, o provincias permite incluso detallar que en Murcia el 16.5% de su territorio está ocupado por regadíos (Ministerio de Agricultura, 2009), áreas en donde se ha detectado una tendencia negativa de la amplitud. Estos resultados concuerdan con los experimentos realizados en Almería por Campra et al. (2008) en los que se demostró un

descenso de T_{\min} entre 1983-2006 ($-0,3^{\circ}\text{C}/\text{decade}$) por efecto de los invernaderos, y concuerdan con quienes han sugerido que los cambios de usos del suelo (agricultura y riego) modifican los flujos de calor sensible y latente.

Pero no solo el regadío ha modificado las condiciones de la superficie en la Península Ibérica. En el año 2000 las áreas urbanizadas ocupaban más de $6,000 \text{ km}^2$, que incluyendo el hábitat disperso aumentaba a más de $13,000 \text{ km}^2$ (Moliní y Salgado, 2010), de nuevo localizándose en su gran mayoría en la mitad sur y la fachada este peninsular. Por último los incendios forestales han afectado entre 1981-2010 una extensa superficie de más de $50,000 \text{ km}^2$, (Enríquez y del Moral, 2012), localizándose en gran proporción de nuevo en la vertiente mediterránea.

5. CONCLUSIONES

El análisis de las tendencias de las temperaturas estacionales en la España peninsular (1951-2010) con la base de datos MOTEDAS indica que tanto las temperaturas nocturnas como diurnas han aumentado durante el periodo analizado, con un máximo detectado en torno al periodo 1971-2000, si bien excepto el verano las tasas parecen tender a atenuarse desde entonces. En este periodo los máximos valores de aumento térmico se han detectado en verano, invierno y primavera en las temperaturas diurnas, y en verano y primavera en las nocturnas. Como consecuencia la amplitud térmica presenta una tendencia negativa, y sugiere que el calentamiento puede deberse en gran medida al comportamiento nocturno de las temperaturas, especialmente en la vertiente mediterránea y mitad sur. La dependencia de las temperaturas nocturnas de los factores locales, junto a las transformaciones recientes de los usos del suelo en grandes extensiones coincidentes con las áreas donde la amplitud térmica es negativa, sugieren que el calentamiento en España además de depender de factores generales puede deberse en una parte substancial a factores locales.

5. AGRADECIMIENTOS

AEMet (disponibilidad de datos), financiación: Gobierno de España-FSE, Proyecto CGL2011-27574-C02-01, Gobierno Regional de Aragón DGA-FSE, Grupo de Investigación Consolidado "Clima, Agua, Cambio Global y Sistemas Naturales" (BOA 69, 11-06-2007). Nicola Cortesi y Dhais Peña son becarios del Programa FPI, Gobierno de España.

6. REFERENCIAS

- Bermejo M and Ancell R (2009) Observed changes in extreme temperatures over Spain during 1957-2002, using Weather Types. *Revista de Climatología* 9:45-61.
- Bladé I, Castro-Díez Y (2010) Tendencias atmosféricas en la Península ibérica durante el periodo instrumental en el contexto de la variabilidad climática. En Perez F y Boscolo R, *Clima en España: pasado, presente y futuro*, pp. 25-42. MedCLIVAR,
- Brunet M, Sigro J, Saladie O, Aguilar E, Jones P, Moberg A, Walther A, Lopez D (2005) Spatial patterns of long-term spanish temperature change. *Gophysical Research Abstract*, 7: 04007.
- Brunet M, Jones P, Sigro J, Saladie O, Aguilar E, Moberg A, Della-Marta PM, Lister D, Walther A, Lopez D (2007) Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005. *Journal of Gophysical Research* 112, D12117.

- Caesar J, Alexander L, Vose R (2006) Large-scale changes in observed daily maximum and minimum temperatures: creation and analysis of a new gridded data set. *Journal of Geophysical Research* 111, D055101.
- Campra P, Garcia M, Canton Y et al. 2008 Surface temperature cooling trends and negative radiative forcing due to land use change toward greenhouse farming in southeastern Spain *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 113, Article Number: D18109 DOI: 10.1029/2008JD009912
- Capparelli, V.; Franzke, C.; Vecchio, A.; et al. 2013 A spatiotemporal analysis of US station temperature trends over the last century. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 118: 7427-7434 DOI: 10.1002/jgrd.50551
- Christy JR, Norris WB, McNider RT (2009) Surface Temperature Variations in East Africa and Possible Causes. *Journal of Climate*, 22, 3342-3356.
- Cohen JL, Furtado JC, Barlow M, Alexeev VA, Cherry JE 2013 Asymmetric seasonal temperature trends *Geophysical Research Letter* 39: L04705, DOI: 10.1029/2011GL050582.
- del Río S, Fraile R, Herrero L, Penas A (2007) Analysis of recent trends in mean maximum and minimum temperatures in a region of the NW of Spain (Castilla y León). *Theoretical and Applied Climatology* 90- 1-12. DOI: 10.1007/s00704-012-0593-2.
- del Río S, Cano-Ortiz A, Herrero L, Penas A (2012) Recent trends in mean maximum and minimum air temperatures over Spain (1961–2006). *Theoretical and Applied Climatology*, 109, 605–626.
- Easterling DR, Horton B, Jones JP, Peterson T, Karl TR, Parker DE, Salinger MJ, Razuvayev V, Plummer N, Jamason P, Folland K (1997) Maximum and Minimum Temperature Trends for the Globe *Science* 277: 364-367
- El Kenawy A, Lopez-Moreno JI, Vicente S (2012) Trend and variability of surface air temperature in northeastern Spain (1920–2006): Linkage to atmospheric circulation. *Atmospheric Research* 106: 159–180.
- Enríquez E, Del Moral L (2012) Los Incendios Forestales en España. Decenio 2001-2010. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.
- Galán E, Cañada R, Fernández F, Cervera B (2001) Annual temperature evolution in the Southern Plateau from the construction of regional climatic time series. In: Brunet M, López D (eds) *Detecting and modelling regional climatic change*. Springer, Heidelberg, pp 119–131.
- González-Hidalgo JC, Brunetti M, de Luis M, (2011) A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (Monthly precipitation trends December 1945-November 2005). *International Journal of Climatology* 31: 715-731.
- Guijarro JA (2013) Tendencias de la Temperatura. En García-Lega C y Valero F (eds) *Fenómenos meteorológicos adversos en España*. WCRP, AMV ediciones, Madrid, pp. 313-323.
- Karl TR, Jones PD, Knight RW, Kukla G, Plummer N, Razuvayev V, Gallo KP, Lindsey J, Charlson RJ, Peterson TC (1993) Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bulletin American Meteorological Society* 74: 1007-1023.
- Klotzbach PJ, Pielke RA Sr, Pielke RA Jr, Christy JR, McNider RT (2009) An alternative explanation for differential temperature trends at the surface and the lower troposphere. *Journal of Geophysical Research* 114, D21102, doi:10.1029/2009JD011841.
- Martínez, M.D., Serra, C., Burgueño, A., Lana, X., 2010. Time trends of daily maximum and minimum temperatures in Catalonia (NE Spain) for the period 1975–2004. *International Journal of Climatology* 30, 267–290.

- McNider, R. T.; Christy, J. R.; Biazar, A (2010) A Stable Boundary Layer Perspective on Global Temperature Trends. International Conference on Planetary Boundary Layer and Climate Change, Cape Town, SA 13, Number: 012003 DOI: 10.1088/1755-1315/13/1/012003.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2009) Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Informe sobre regadíos en España. Publicaciones de la Secretaría General Técnica, Subdirección General de Estadística, Madrid.
- Miro JJ, Estrela MJ, Millan M (2006) Summer temperature trends in a mediterranean area (Valencia, Spain). *International Journal of Climatology* 26: 1051-1073.
- Misra V, Michael JP 2013 Varied Diagnosis of the Observed Surface Temperature Trends in the Southeast United States *Journal of Climate* 26: 1467-1472 DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00241.
- Moliní F, Salgado M (2010) Superficie artificial y viviendas unifamiliares en España, dentro del debate entre ciudad compacta y dispersa. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 54: 125-147.
- Ramos MC, Balasch JC, Martínez-Casasnovas JA (2012) Seasonal temperature and precipitation variability during the last 60 years in a Mediterranean climate area of Northeastern Spain: a multivariate analysis. *Theoretical and Applied Climatology* 110: 35-53.
- Ren G, Zhou Y, Chu Z, Zhou J, Zhang A, Guo J, Liu X (2008) Urbanization effects on observed surface air temperature trends in north China. *Journal of Climate* 21: 1333-1348.
- Rios D, Penas D, del Río S (2012) Comparative analysis of mean temperature trends in continental Spain over the period 1961-2010. *International Journal of Geobotanical Research* 2, 41-55.
- Rohde, R., Muller RA, Jacobsen R, Muller E, Perimutter S, Rosenfeld A, Wurtele J, Groom D, Wickham C 2013: A New Estimate of the Average Earth Surface Land Temperature Spanning 1753 to 2011. *Geoinfor Geostat: An Overview*, 1.
- Staudt M, Esteban-Parra MJ, Castro-díez Y (2005) Evolution and changes in Spanish monthly maximum and minimum temperatures with homogenized data. *Geophysical Research Abstract*, vol 7, 06754, Sred-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-96754.
- Vincent, LA.; Wang, Xiaolan L.; Milewska, E (2012) A second generation of homogenized Canadian monthly surface air temperature for climate trend analysis a J.; et al. *Journal of Geophysical research Letter-Atmospheres* 117, D18110 DOI: 10.1029/2012JD017859.
- Wu K, Yang X (2013) Urbanization and heterogeneous surface warming in eastern China. *Chin. Sc. Bull.* Doi: 10.1007/s
- Xia, X 2013 Variability and trend of diurnal temperature range in China their relationship to total cloud cover and sunshine duration *Annales Geophysicae* 31: 795-804 DOI: 10.5194/angeo-31-795-2013
- Zveryaev II and Gulev SK (2009) Seasonality in secular changes and interannual variability of European air temperature during the twentieth century. *Journal of Geophysical Research* 111, D02110.