

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS TENDENCIAS DE TEMPERATURAS DIURNAS Y NOCTURNAS ENTRE ABRIL Y SEPTIEMBRE EN ESPAÑA (1981-2010)

D. PEÑA-ANGULO^{1,2}, J.C. GONZÁLEZ-HIDALGO^{1,2}, M. BRUNETTI³, N. CORTESI^{1,2,4}

¹ Departamento de Geografía, Universidad de Zaragoza. E.mail jcg@unizar.es

² IUCA, Universidad de Zaragoza

³ ISAC-CNR, Bologna, Italia

⁴ CERFACS, Toulouse, Francia

RESUMEN

Presentamos la base de datos de temperaturas máximas y mínimas promedio de la España peninsular (MOTEDAS, MOnthly TEmperture DATaset of Spain), periodo 1951-2010 creada tras un control de calidad de los archivos de AEMet. En el presente trabajo analizamos la variabilidad espacial de las tendencias de la temperatura promedio mensual diurna (Tmax, máxima) y nocturna (Tmin, mínima) de los meses cálidos (abril-septiembre) en el periodo 1981-2010. Durante este periodo la tendencia de Tmax y Tmin ha sido positiva, siendo las áreas con tendencia significativa positiva más extensas en Tmin que en Tmax. La mayor variabilidad espacial se corresponde con Tmin en la costa mediterránea y mitad sur de España, donde la correlación entre observatorios es más baja. Se sugiere que la mayor variabilidad espacial de Tmin respecto a Tmax puede estar originada por la combinación de factores generales y locales.

Palabras Clave: *Temperaturas mensuales, Máximas, Mínimas, Tendencias, Variabilidad, España*

ABSTRACT

We present the database (1951-2010) of maximum and minimum average monthly temperatures in the Spanish conterminous land (MOTEDAS, MOnthly TEmperture DATaset of Spain), created by performing a quality control of the archives from AEMet. In this study we analyze the spatial variability of the diurnal and nocturnal monthly average temperature trends (Tmax and Tmin, respectively) from the months April-September in the period of time 1981-2010. During this period, the trend in Tmax and Tmin has been positive, with significant positive trend areas being larger in Tmin than in Tmax. The highest spatial variability for Tmin is observed in the mediterranean coast and the half-south of the peninsula, where the interstation correlation evaluated by correlation distance decay (CDD) is lowest. It is suggested that the higher variability of Tmin with respect to Tmax may be caused by a combination of general and local factors.

Key Words: *Monthly Temperatures, Maximum, Minimum, Variability, Spain*

1. INTRODUCCIÓN

Existe un acuerdo generalizado de que la manera más eficaz para captar señales climáticas es analizar información con elevada densidad espacial. Con este objetivo se han confeccionado diferentes bases de datos a escala global (Lawrimore *et al.*, 2011; Hansen *et al.*, 2010; Jones *et al.*, 2012; Rohde *et al.*, 2013) y en ámbitos continentales (Klok & Klein-Tank, 2009). Las bases de datos globales comparten básicamente la misma información original (Pielke *et al.*, 2007), si bien difieren en sus controles de calidad y el modo en que los distintos observatorios se han combinado (Strangeways, 2010). Su densidad de información es mucho más baja que las de ámbito regional o nacional y sus resultados coinciden en lo esencial, opinión discutida (1) porque la selección de observatorios, periodos analizados y algoritmos empleados pueden afectar las tendencias finales (Liebmann *et al.*, 2010; Lüdecke *et al.*, 2011), (2) porque existen discrepancias entre las mediciones de temperatura en superficie y en los satélites aún no resueltas (Klotzbach *et al.*, 2009; Douglas & Christy, 2013), y (3) porque el aumento de temperaturas podría haberse detenido (Quirk, 2012).

En el planeta se ha observado un aumento del calentamiento a partir de la década de los años setenta del pasado siglo (Foster & Rahmstorf, 2011). Los estudios globales han detectado variaciones espaciales de las temperaturas (Rohde *et al.*, 2013), pero es en la escala regional donde se han identificado las variaciones más fuertes: en Europa (Zveryaev & Gulev, 2009), EEUU (Capparelli *et al.*, 2013), China (Xuchao *et al.*, 2011), España (Brunet *et al.*, 2007), Italia (Brunetti *et al.*, 2006), etc. En España el aumento térmico se ha

asociado a la primavera y verano, tanto en Tmax como Tmin, (Bermejo & Ancell 2009; Brunet *et al.*, 2007; del Río *et al.*, 2012; Llorente 2012; Guijarro 2013), pero estos cambios no han sido uniformes ni en el espacio ni tiempo.

En el presente trabajo analizamos la variabilidad de las temperaturas mensuales promedio de la Tmax y la Tmin en la España continental durante el periodo de incremento térmico 1981-2010, y en los meses de abril a septiembre que comprenden el verano y primavera. El estudio se realiza con una nueva base de datos de temperaturas promedio mensual de alta resolución.

2. MÉTODOS

2.1. Base de datos

El presente estudio emplea la nueva base de datos de temperaturas medias mensuales de España, MOTEDAS (MOnthly TEMperature DATaset of Spain) desarrollada en el Departamento de Geografía de la Universidad de Zaragoza (proyecto HIDROCAES). La base de datos ha sido creada a partir de las series de promedios mensuales de Tmax y Tmin, digitalizadas en los archivos de AEMet, tras un control de calidad y reconstrucción. Un total de 1358 series completas de Tmax y Tmin, fueron seleccionadas tras el control de calidad para elaborar una malla de alta resolución (10 km²) en el periodo 1951-2010. La malla se calculó considerando el número de observatorios incluidos en cada celda, su distancia al centro de la misma, así como los observatorios cercanos en celdas adyacentes, así como su distribución por orientaciones para evitar sesgos espaciales. Más detalles pueden consultarse en Peña *et al.* (2013 a y b).

2.2. Análisis de datos

El estudio de la variabilidad se desarrolló con dos enfoques. En primer lugar se analizaron en la malla las tendencias mensuales de abril a septiembre de las series de Tmax y Tmin. El signo y la significación de su tendencia se estimaron con la prueba de Mann-Kendall (Mann, 1945), y su intensidad se evaluó con la prueba de Sen (Sen, 1968). En segundo lugar se analizó la variación espacial de la correlación entre observatorios, por medio del denominado CDD (Correlation Distance Decay). El CDD se define como (Pannekoucke *et al.*, 2008),

$$r = e^{-\left(\frac{x}{x_0}\right)}$$

con r la correlación entre vecinos, x la distancia, y x_0 la distancia a la cual el valor r cae bajo un umbral definido, que representaría la distancia a la que la correlación entre observatorios dejaría de ser significativa. Valores elevados de CDD indican que la variabilidad espacial del elemento analizado es baja y viceversa (Osborn & Hulme, 1997; Briffa & Jones, 1993).

El análisis de CDD se realizó con los observatorios originales antes del relleno e información completa por década en el periodo 1981-2010. El total de observatorios de Tmax fue de 459, y 454 en Tmin. Los valores de CDD de cada observatorio se calcularon por medio de matrices de correlaciones en cada década empleando las anomalías mensuales. En cada observatorio y mes se calculó la varianza común r^2 ; la relación entre r^2 y la distancia entre observatorios fue modelada según

$$(1) \quad (\log(r_{ij}^2)) = b * \sqrt{d_{ij}}$$

siendo $\log(r_{ij}^2)$ la varianza común entre

cada observatorio (i) y las series de vecinos (j), d_{ij} la distancia entre ellos, y b la pendiente del modelo de regresión por mínimos cuadrados. Este desarrollo es semejante a anteriores (Jones *et al.*, 1997; Caesar *et al.*, 2006). El umbral seleccionado para definir el CDD fue de $r=0.70$, equivalente a una varianza común del 50% (véase detalles en Cortesi *et al.*, 2013). Finalmente los valores mensuales fueron interpolados con un Kriging ordinario y variograma esférico, convirtiendo los resultados a una malla regular de 10 km².

3. RESULTADOS

La distribución espacial de las tendencias de abril a septiembre de Tmax y Tmin en el periodo 1981-2010 se muestra en la Figura 1. En la Tabla 1 se expone el porcentaje de territorio según signo de tendencia (+/-), así como el porcentaje de territorio según tendencia y significación de la misma. Entre 1981-2010 las Tmax han aumentado mayoritariamente, pero solamente se ha detectado aumentos significativos en pequeñas áreas que nunca superan mensualmente el 20,9%; incluso en septiembre se detecta tendencias significativas negativas (13,5%). Por el contrario, el aumento generalizado de Tmin de abril a agosto resultó ser significativo en un área que supera el 25% del territorio, afectando a más del 75% en mayo y junio. En septiembre se detectaron tendencias negativas en 1/3 del territorio aunque no significativas ($p>0,05$). Espacialmente la distribución de las tendencias de Tmax y Tmin sugiere un gradiente global desde máxima significación al este y sureste hacia sectores con tendencia no significativa al oeste-noroeste; el área con valores más elevados de significación es la costa mediterránea y el cuadrante sudoriental.

Tabla 1. Porcentaje de área afectada según tendencia y significación

			Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Tmax	+	<0,05	6,3	12,1	20,9	3,2	3,9	0,0
Tmax	+	No sig.	99,8	99,8	99,8	72,7	95,3	5,8
Tmax	-	No sig.	0,2	0,2	0,2	27,3	4,7	94,2
Tmax	-	<0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,5
Tmin	+	<0,05	48,9	76,7	95,1	28,6	39,5	0,0
Tmin	+	No sig.	100,0	100,0	100,0	83,0	99,5	35,2
Tmin	-	No sig.	0,0	0,0	0,0	17,0	0,5	64,8
Tmin	-	<0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

En la Figura 1 se muestra la distribución espacial de los valores del CDD mensuales. En general los valores más bajos de CDD de Tmax y Tmin se encuentran en la costa mediterránea, y los más elevados en el interior. A su vez, los valores de CDD son más bajos en Tmin que en Tmax, es decir entre 1981 y 2010 las temperaturas nocturnas de abril a septiembre han sido espacialmente más variables que las temperaturas diurnas.

La distribución de la variabilidad de Tmax muestra un patrón en bandas paralelas mucho más claro que en el caso de Tmin; solamente los meses de julio y agosto desaparece este patrón y los valores de CDD adoptan una configuración norte-sur con menores diferencias espaciales; los valores de CDD de Tmax logran alcanzar varios centenares de km en amplias extensiones del interior peninsular. La variabilidad espacial de Tmin es mayor, con un gradiente más generalizado en sentido norte-sur, y extensas áreas en las que los valores de CDD son inferiores a 200 km. En

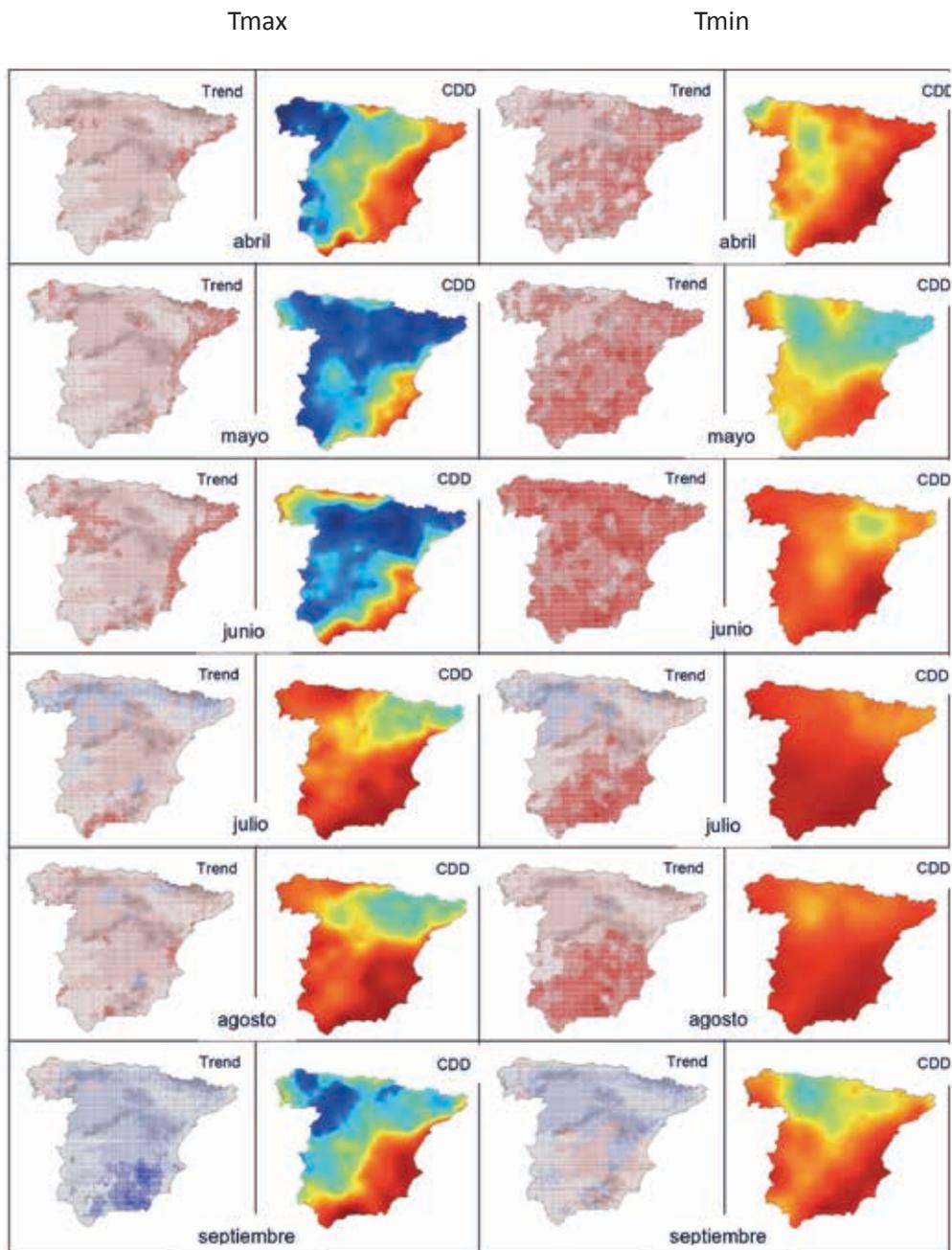
general los contrastes entre meses son superiores en Tmax que Tmin (independientemente de que la variabilidad es superior en Tmin que en Tmax).

4. DISCUSIÓN

El análisis de las tendencias de las temperaturas diurnas y nocturnas promedio mensuales en España nos han permitido apreciar diferencias espaciales notables en el periodo comprendido entre abril y septiembre durante los años 1981-2010, un periodo en el que se indica que se ha producido un aumento de la intensidad del calentamiento global. Esta variabilidad ya fue identificada en estudios previos (Brunet *et al.*, 2007; del Río *et al.*, 2012; Bermejo & Ancell, 2009), que MOTEDAS permite delinear con precisión.

En general, las áreas con tendencia significativa de Tmin son más extensas que las de Tmax, y se localizan a lo largo de la costa mediterránea y mitad sur península, en sintonía con trabajos precedentes (Miró *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2010).

Figura 1. Distribución espacial de las tendencias mensuales (trend) y los valores de CDD de Tmax y Tmin.



Para comprender el comportamiento de las tendencias de los valores de las T_{max} y T_{min} hay dos cuestiones capitales. Está demostrado que la calidad de las bases de datos afecta al análisis de las tendencias (Fall *et al.*, 2011). En este sentido, MOTEDAS es un nuevo esfuerzo por contar con una base de datos de la mejor calidad, siendo conscientes los autores de que no está libre de errores, pero también que la coherencia espacial del análisis de tendencias sugiere que no contiene sesgos generalizados que sean significativos; por tales razones, y por la elevada densidad de observatorios empleados, el análisis de tendencias presentado parece ser una buena aproximación a la evolución de las temperaturas en el periodo 1981-2010 en España.

El segundo aspecto importante es el diferente comportamiento de la temperatura durante el día y la noche (i.e. T_{max} y T_{min}) observado en MOTEDAS, que sugiere considerar los efectos que diferentes factores locales pueden ejercer sobre ambas, y consecuentemente la información que aportan ambas mediciones. Se acepta que la temperatura diurna está controlada principalmente por la radiación y por ello la medida de T_{max} es un buen indicador de las ganancias de calor en la columna de aire, en la que los procesos adiabáticos están redistribuyendo permanentemente en vertical la energía adquirida. Sin embargo las opiniones sobre la temperatura nocturna (T_{min}) no son tan uniformes y se ha planteado si registran en realidad ganancias de calor o si por el contrario solamente representan el comportamiento térmico de la capa de la atmósfera en contacto con el suelo (Chirsty *et al.*, 2006, 2009; McNider *et al.*, 2010). Klotzbach *et al.* (2009) sostiene esta hipótesis debido a

las discrepancias entre las tendencias de las temperaturas medidas con sensores remotos y las medidas superficiales. La consecuencia de esta hipótesis implicaría que las temperaturas nocturnas estarían mucho más afectadas que las diurnas por factores locales.

Se ha sugerido que a nivel mundial la variabilidad espacial de las temperaturas, expresada por el CDD, oscila entre varias centenas y miles de km, y que los valores anuales superan a los mensuales y estacionales (Hansen & Lebedeff 1987; Briffa & Jones, 1993; Osborn & Hulme 1997; Jones *et al.*, 1997; Caesar *et al.*, 2006). Como valor global, Mitchell y Jones (2005) han emplearon el umbral de 1200 km siguiendo recomendaciones de New *et al.* (2000) en la preparación de mallas mundiales de temperatura. Mayor variabilidad espacial de las temperaturas se ha identificado en estudios regionales, y en Europa se ha señalado valores de CDD para varianzas comunes del 50% en varios centenares de km (Auer *et al.*, 2005; Brunetti *et al.*, 2006). En la España continental la correlación entre estaciones decrece más rápidamente durante los meses más cálidos del año que en cualquier otra estación y en el periodo 1981-2010 fue superior en la temperatura nocturna que en la diurna, coincidiendo con estudios previos (Hopkinson *et al.*, 2012; Brunetti *et al.*, 2006). Este hecho sugiere que los factores que rigen la variabilidad de las temperaturas diurnas son más generales que los que controlan las variaciones espaciales de las temperaturas nocturnas.

Son numerosos los factores que se han identificado como causantes de variaciones locales en las temperaturas, y por lo general se acepta que afectan más a T_{min} que T_{max} (Dai *et al.*, 1999; Hale *et*

al., 2008; Klotzbach *et al.*, 2009). Entre aquellos se citan el relieve y altitud (Gallo, 2005; Lüdecke *et al.*, 2011), los cambios de uso del suelo incluyendo la urbanización, los regadíos y la industrialización (de Laat & Maurellis, 2006; Christy *et al.*, 2006; Wu & Yang, 2013), y la nubosidad y emisiones industriales entre otras causas (Dai *et al.*, 1999; Klotzbach *et al.*, 2009). Estos estudios resultan de sumo interés porque debaten sobre la naturaleza del aumento térmico observado y su variabilidad espacial y temporal en las escalas regionales (Zveryaev & Gullet, 2009; Cordero *et al.*, 2011), pero el efecto de factores locales es difícil de asignar a un área pese a que diferentes estudios parecen confirmar que ellos pueden ser causantes de la variabilidad de las tendencias especialmente de T_{min} (Fall *et al.*, 2011).

Numerosos trabajos han informado de que el aumento de T_{min} ha sido superior a T_{max} hasta la década de los setenta del siglo pasado (Karl *et al.*, 1993; Easterling *et al.*, 1997; Kalnay & Cai, 2003), con un cambio de tendencia desde los años ochenta bien por tendencias semejantes en T_{max} y T_{min} o por mayor incremento de T_{max} con el resultado de una tendencia positiva de la amplitud mensual y diaria (Rohde *et al.*, 2013). Otros estudios regionales mantienen que la tendencia de la amplitud sigue siendo negativa (Cohen *et al.*, 2013), por un mayor aumento de T_{min} respecto a T_{max} , en áreas tan dispares como África del Este (Christy *et al.*, 2009), EEUU (Fall *et al.*, 2011; Cordero *et al.*, 2011; Tang *et al.*, 2013), Canadá (Vincent *et al.*, 2012), China (Wu & Yang, 2013). No es objeto de este trabajo analizar la tendencia de la amplitud mensual, si se puede deducir que se ha mantenido negativa en extensas áreas.

En España ha habido espectaculares cambios en los últimos treinta años en los usos del suelo. En 2009, se regaban 3.500.000 ha preferentemente localizadas en áreas del centro-sur peninsular y costa mediterránea; entre 1987-2000 las áreas urbanizadas aumentaron de 579.000 ha a 660.000 ha (14%), con una fuerte concentración en las provincias costeras mediterráneas. Tales coincidencias no suponen una confirmación, pero sí concuerdan con las áreas donde se ha identificado tendencias significativas generalizadas de T_{min} . Un ejemplo paradigmático lo ofrece Campa *et al.* (2008) en su estudio del Campo de las Dalías (Almería), el área de invernaderos continua más extensa del planeta (26.000 ha en 2007), en donde incluso se registraron tendencias significativas negativas de la temperatura nocturna ($-0,3^{\circ}\text{C}$ /década) en el periodo 1983-2006.

En resumen, la evolución de la temperatura diurna y nocturna en España parece variar en diferentes escalas espaciales y temporales, de modo que el calentamiento pudiera estar controlado por factores globales y locales. Futuros estudios con MOTEDAS quizá permitan avanzar en la comprensión de la realidad descrita, y determinar si la variabilidad espacial de las tendencias de T_{max} y T_{min} , pudiera determinar diferencias en los factores que rigen el comportamiento de las temperaturas diurnas y nocturnas.

5. AGRADECIMIENTOS

Gobierno de España-FSE, Proyecto CGL2011-27574-C02-01, y 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 estudiantes de doctorado del programa FPI del Gobierno de España.

6. REFERENCIAS

- Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., *et al.* (2005): A new instrumental precipitation dataset for greater Alpine region for the period 1800–2002. *Int. Jr. Clim.*, 25: 139–166.
- Bermejo, M. & Ancell, R. (2009): Observed changes in extreme temperatures over Spain during 1957–2002, using Weather Types. *Revista de Climatología*, 9: 45–61.
- Briffa, K.R. & Jones, P.D. (1993): Global surface air temperature variations over the twentieth century. Part 2: implication for large scale paleoclimatic studies of the Holocene. *Holocene*, 3: 77–88.
- Brunet, M., Jones, P., Sigro, J., *et al.* (2007): Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850–2005. *JGR*, 112: D12117.
- Brunetti, M., Maugeri, M., Monti, F. & Nanni, T. (2006): Temperature and precipitation variability in Italy the last two centuries from homogenized instrumental time series. *Int. Jr. Clim.*, 26: 345–381.
- 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. *JGR*, 111: D05101.
- 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. *JGR-Atmospheres*, 113: 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. *JGR- Atmospheres*, 118: 7427–7434.
- Christy, J.R., Norris, W., Redmond, K. & Gallo, K.P. (2006): Methodology and results of calculating central California surface temperature trends: evidence of human-induced climate change? *Journal of Climate*, 10: 548–563.
- Christy, J.R., Norris, W.B. & McNider, R.T. (2009): Surface Temperature Variations in East Africa and Possible Causes. *Journal of Climate*, 22: 3342–3356.
- Cohen JL, Furtado JC, Barlow M. *et al.* (2013): Asymmetric seasonal temperature trends. *Geophysical Research Letter*, 39: L04705, doi: 10.1029/2011GL050582.
- Cordero, E.C., Kessomkiat, W & Abatzoglou, J. (2011): The identification of distinct patterns in California temperature trends. *Climatic Change*, 108: 357–382, doi: 10.1007/s10584-011-0023-y.
- Cortesi, N., Gonzalez-Hidalgo, J.C., Brunetti, M. & de Luis, M. (2013): Spatial variability of precipitation in Spain. *Regional Environmental Change*. doi: 10.1007/s10113-012-0402-6.
- Dai, A., Trenberth, K. E., Karl, T. (1999): Effects of clouds, soil moisture, precipitation, and water vapor on diurnal temperature range. *Journal of Climate*, 12: 2451–2473.
- 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.
- De Laat, A.T.J. & Maurellis, A. (2006): Evidence for influence of anthropogenic surface processes on lower tropospheric and surface temperature records. *Int. Jr. Clim.*, 26: 897–913.
- Douglas, D.H. & Christy, J.R. (2013): Reconciling observations of global temperature change: 2013. *Energy and Environment*, 24 (3–4): 415–419.
- Easterling, D.R., Horton, B., Jones, J.P., *et al.* (1997): Maximum and Minimum Temperature Trends for the Globe. *Science*, 277: 364–367.
- Fall, S., Watts, A., Nielsen-Gammon, J., *et al.* (2011): Analysis of the impacts of station exposure on the US Historical Climatology Network temperatures. *JGR-Atmospheres*, 116: D14120, doi: 10.1029/2010JD015146.
- Foster, G. & Rahmstorf, S. (2011): Global temperature evolution 1979–2010. *Environmental Research Letter*, 6: 044022, 8pp, doi: 10.1088/1748-9327/6/4/044022.

- Gallo, K.P. (2005): Evaluation of temperature differences for paired stations of the US climate reference network. *Journal of Climate*, 18: 1629-1636.
- Guijarro, J.A. (2013): Tendencias de la Temperatura. En: *Fenómenos meteorológicos adversos en España*. García-Lega C y Valero F (eds.). WCRP, AMV ediciones, Madrid; pp. 313-323, Madrid.
- Hale, R.C., Gallo, K.P. & Loveland, T. R. (2008): Influences of specific land use/land cover conversions on climatological normals of near-surface temperature. *JGR*, 113: D14113.
- Hansen, J. & Lebedeff, S. (1987): Global trends of measured surface air temperature. *JGR*, 92: 13345-13372.
- Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M. & Lo, K. (2010): Global surface temperature change. *Review of Geophysics*, 48: RG4004, 29 pp.
- Hopkinson, R.F., Hutchinson, M.F., McKenney, D.W., Milewska, E.J. & Papadopol, P. (2012): Optimizing input data for gridding climate normal for Canada. *Jr. of Applied Meteorology and Climatology*, 51: 1508-1518.
- Jones, P.D., Osborn, T.J. & Briffa, R.K. (1997): Estimating sampling errors in large-scale temperature averages. *Journal of Climate*, 10: 2548-2568.
- Jones, P.D., Lister, D., Osborn, T. J., Harpham, C., Salmon, M. & Morice, C. P. (2012): Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. *JGR-Atmospheres*, 117. D05127, doi: 10.1029/2011JD017139.
- Kalnay, E. & Cai, M. (2003): Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423: 528-531.
- Karl, T.R., Jones, P.D., Knight, R.W., et al (1993): Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *BAMS*, 74: 1007-1023.
- Klok, E.J. & Klein-Tank, A.M.G. (2009): Updated and extended European dataset of daily climate observations. *Int. Jr. Clim.*, 29: 1182-1191.
- Klotzbach, P.J., Pielke, R.A. Sr., Pielke, R.A. Jr., Christy, J.R., McNidrr, R.T. (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.
- Lawrimore, J.H., Menne, M.J., Gleason, B.E., Williams, C.N., Wuertz, D.B., Vose, R.S., & Rennie, J. (2011): An overview of the Global Historical Climatology Network monthly mean temperature data set, version 3. *JGR-Atmospheres*, 116: D19121, doi: 10.1029/2011jd016187.
- Liebmann, B., Dole, R.M., Jones, C., et al. (2010): Influence of choice of time on global surface temperature trend estimated. *BAMS*, 91: 1485-U71, doi: 10.1175/2010BAMS3030.1.
- Llorente, M., (2012): *Tendencias españolas de variables agrometeorológicas en los últimos 30 años*. Proyecto Departamento de Producción Vegetal, Universidad Politécnica de Madrid, ETSIA, 99 pp., Madrid.
- Lüdecke, H.J., Link, R. & Ewert, F.K., (2011): How natural is the recent centennial warming? An Analysis of 2249 surface temperature records. *Journal of Modern Physics*, 22, doi: 10.1142/SO1291831111016798.
- Mann, H.B. (1945): Non parametric test against trend. *Econometrica*, 13: 245-259.
- 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. *Int. Jr. Clim.*, 30: 267-290.
- McNider, R.T., Christy, J.R. & Biazar, A. (2010): *A Stable Boundary Layer Perspective on Global Temperature Trends*. In: International Conference on Planetary Boundary Layer and Climate Change, Cape Town, SA 13, Number: 012003, doi: 10.1088/1755-1315/13/1/012003.
- Miro, J.J., Estrela, M.J. & Millan, M. (2006): Summer temperature trends in a Mediterranean area (Valencia, Spain). *Int. Jr. Clim.*, 26: 1051-1073.
- Mitchell, T.D. & Jones, P.D. (2005): An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Int. Jr. Clim.*, 25: 693-712.

- New, M., Hulme, M. & Jones, P.D. (2000): Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: development of 1901-1996 monthly grids of terrestrial surface climate. *Journal of Climate*, 13: 2217-2238.
- Osborn, T.J. & Hulme, M. (1997): Development of a relationship between station and grid-box rain day frequencies for climate model evaluation. *Journal of Climate*, 10: 1885-1908.
- Pannekoucke, O., Berre, L. & Desroziers, G. (2008): Background error correlation length-scale estimates and their sampling statistics. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 134: 497-511.
- Peña, D., Cortesi, N., Simolo, C., Brunetti, M. & Gonzalez-Hidalgo, J. C. (2013a): *MOTEDAS: MOnthly TEmpérature Database of Spain 1951-2010*. (1) Quality Control. In: EUMETNET 9th Data Management Workshop, El Escorial.
- Peña, D., Cortesi, N., Simolo, C., Brunetti, M. & Gonzalez-Hidalgo, J. C. (2013b): *MOTEDAS: MOnthly TEmpérature Database of Spain 1951-2010*. (3) Reconstruction of max and min monthly temperature series in mainland of Spain. In: EUMETNET 9th Data Management Workshop, El Escorial.
- Pielke, R. A., Davey, C. A., Niyogi, D., et al. (2007): Unresolved issues with the assessment of multidecadal global land surface temperature trends. *JGR*, 112: D24S08, doi: 10.1029/2006JDD008229.
- Quirk, T. (2012): Did the global temperature trend change at the end of the 1990s? Asia-Pacific. *Journal of Atmospheric Sciences*, 48: 339-344, doi: 10.1007/s13143-012-0032-4.
- Rohde, R., Muller, R.A., Jacobsen, R., Muller, E., et al. (2013): *A New Estimate of the Average Earth Surface Land Temperature Spanning 1753 to 2011*. Geoinfor Geostat: An Overview, 1:1, <http://dx.doi.org/10.4172/2327-4581.1000101>.
- Sen, P.K. (1968): Estimates of the regression coefficient base on Kendall's tau. *American Statistical Association Journal*, 63:1379-1389.
- Strangeways, I. (2010): *Global measuring temperatures*. Cambridge University Press, 233 pp., Cambridge.
- Tang, G. & Arnone, J.A. III (2013) Trends in surface air temperature and temperature extremes in the Great Basin during the 20th century from ground-based observations. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 118: 3579-3589, doi: 10.1002/jgrd.50360.
- Vincent, L.A., Wang, X.L. & Milewska, E. (2012): A second generation of homogenized Canadian monthly surface air temperature for climate trend analysis. *JGR-Atmospheres*, 117: D18110, doi: 10.1029/2012JD017859.
- Wu, K. & Yang, X. (2013): *Urbanization and heterogeneous surface warming in eastern China*. Chin. Sc. Bull, 12: 1363-1373, doi: 10.1007/s11434-012-5627-8.
- Xuchao, Y., Yiling, H. & Baode, C. (2011): Observed surface warming induced by urbanization in east China. *JGR-Atmospheres*, 116: D14113, doi: 10.1029/2010JD015452.
- Zveryaev, II. & Gulev, S.K. (2009): Seasonality in secular changes and interannual variability of European air temperature during the twentieth century. *JGR*, 111: DO2110.