

EVALUACIÓN DE DATOS INTERPOLADOS PARA LA DETECCIÓN DE ÍNDICES DE EXTREMOS TÉRMICOS

Ascensión HERNÁNDEZ ENCINAS¹, Araceli QUEIRUGA DIOS¹, Concepción RODRÍGUEZ PUEBLA²

¹*Depto. de Matemática Aplicada. Universidad de Salamanca*

²*Depto. de Física General y de la Atmósfera. Universidad de Salamanca*

ascen@usal, queirugadios@usal, concha@usal.es

RESUMEN

En este trabajo realizamos una comparación de índices climáticos extremos observados e interpolados. En las investigaciones sobre las consecuencias del cambio climático en eventos extremos, se utilizan simulaciones de los índices de extremos que se obtienen en una malla regular. Para evaluar las simulaciones es preciso interpolar los datos observados a la correspondiente malla regular. Uno de los problemas que plantea la interpolación es el efecto de suavizamiento, ya que produce atenuación de las variaciones y puede dar lugar a pérdida de identificación de los eventos extremos. Por lo tanto, es interesante desarrollar este estudio para comprobar la utilidad de los datos interpolados en estudios de impacto. Por una parte, se realizan comparaciones espaciales y temporales de los datos de temperaturas máximas y mínimas diarias y, por otra parte, los índices extremos derivados: días de verano y días de helada. Las fuentes de datos son los de una malla regular E-OBS desarrollados en el marco del proyecto Europeo ENSEMBLES, los datos observados en lugares de la península Ibérica han sido proporcionados por la AEMeT para España y completados con los datos *European Climate Assessment & Dataset* (ECA&D) para Portugal. La comparación propuesta considera el control de calidad de los datos diarios. Los resultados son consistentes con las consecuencias de aumento de gases efecto invernadero, dando lugar a un aumento de días de verano y disminución de días de helada. Las tendencias y variaciones interanuales obtenidas muestran buena relación entre ambos tipos de datos pero se han obtenido sesgos en los valores medios para zonas de alta montaña. Estos resultados deben tenerse en cuenta en las proyecciones de extremos en climas futuros.

Palabras clave: Variabilidad climática, índices de extremos, península Ibérica, tendencias climáticas.

ABSTRACT

In this study we perform a comparison of extreme indices from observed and interpolated dataset. In evaluation studies on simulated data is required to have grid datasets. However, observed data are irregularly distributed and the interpolation procedure may cause some smoothing on datasets mainly in the extreme indices. Therefore, it is interesting to learn about the effect of interpolation on extreme indices to assess their applicability for impact studies. Spatial and temporal analyses were applied to daily maximum and minimum temperatures and also to the derived extremes, summer and frost days. The dataset used are E-OBS from the ENSEMBLES European Project and observations from the Spanish Meteorological Agency (AEMeT), completed with European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) observations from Portugal. Before making the comparison, a control analysis was applied. The results are consistent with the increase greenhouse gases causing more summer days and fewer

frost days. The trend and inter-annual variability show good agreement between both dataset. Nevertheless, biases of the mean values are obtained in higher elevation places. These results have to be considered in future climate extreme projections.

Key words: Climate variability, extreme indices, Iberian Peninsula, climatic trends.

1. INTRODUCCIÓN

La caracterización de la evolución de los índices de extremos climáticos en escenarios climáticos más cálidos tiene gran interés debido a que las consecuencias derivadas de los valores extremos es más perjudicial que los cambios de los valores medios (Hegerl et al. 2011) y además pueden informar sobre posibles rupturas del equilibrio climático (Barriopedro et al. 2011; Jimenez et al. 2011). Las consecuencias del calentamiento climático en eventos extremos varían dependiendo de las regiones y de los índices climáticos objeto de estudio, hídricos o térmicos (Buntgen et al. 2011). Un evento se considera extremo si la variable sobrepasa los límites de variabilidad natural. Philip Sura, en (Sura 2011) presenta un estudio teórico de eventos extremos y los problemas asociados a su análisis.

Los estudios con observaciones atribuyen, de forma contundente, el aumento de temperatura al forzamiento antropogénico (IPCC2011; Trenberth, 2012). Para comprobar si las variaciones de los extremos son naturales o por efecto antropogénico se utilizan simulaciones (Hegerl et al. 2004; Solomon et al. 2011). A partir de estas simulaciones se pueden determinar los índices de extremos de varias formas, o bien directamente, utilizando los datos diarios de temperatura y precipitación dados por los modelos (Frias *et al.*, 2012), o bien mediante los datos de circulación y los métodos de regionalización dinámica o estadística. En ambos casos se obtendrían resultados en una malla regular que deben ser validados, previamente, con las observaciones.

Para llevar a cabo estos estudios comparativos es preciso asimilar las observaciones irregulares a una malla regular y este análisis puede originar pérdida de amplitud de la variación de los valores, además de precisión para identificar los índices de extremos, ya que los extremos se encuentran en las colas de distribución de los datos. Ésta es una de las razones para plantear este estudio comparativo de extremos entre datos observados e interpolados.

Los eventos extremos se han convertido en un tema de especial interés en los estudios de cambio climático (Della-Marta et al. 2007; Karl; Easterling 1999). Durante el s. XX varios autores mostraron que las temperaturas mínimas crecieron más que las máximas, con lo que el rango de temperatura diaria también disminuyó (Karl et al. 1996), pero este comportamiento no es generalizado para todo el planeta. En relación a los días de helada, también se encuentran discrepancias, ya que en algunos lugares se ha comprobado una disminución, mientras en otros no se ha obtenido ninguna tendencia significativa. El interés por el estudio de las temperaturas extremas ha aumentado en los últimos años en España (Brunet et al. 2002; Brunet et al. 2007; Furio; Meneu 2011; Fernández-Montes y Rodrigo 2011), puesto que éste es uno de los países en los que se espera que el cambio climático tenga aspectos diferentes respecto a otros países Europeos, por la proximidad a latitudes subtropicales y la influencia de desplazamientos de la circulación de Hadley.

En estudios previos con observaciones en la península Ibérica (Rodríguez-Puebla et al. 2010), se comprobaron que las tendencias de los índices de extremos días cálidos y noches frías siguen la tónica que corresponde al calentamiento global, así, por ejemplo el número de noches frías disminuye y el de días cálidos aumenta. Sin embargo, la velocidad del cambio en esta zona del planeta es

diferente de la considerada a nivel global. Una de las preguntas que se plantea es si las diferencias regionales que se detectan en los índices de extremos climáticos con datos observados se van a mantener con los datos interpolados. Para analizar esta diferencia entre datos interpolados y observados, se deben evaluar los primeros respecto a los segundos, con la finalidad de informar si dichos datos interpolados pueden ser adecuados para caracterizar los índices de extremos o bien qué diferencias habría que considerar a la hora de proyectar los modelos para obtener los extremos en climas futuros.

El trabajo que se presenta se ha realizado con datos observados en 55 lugares distribuidos en la península Ibérica y los datos interpolados en el marco del proyecto ENSEMBLES E-OBS (Haylock et al. 2008; Hofstra et al. 2009; van den Besselaar et al. 2011). Para este trabajo se restringe el estudio a la temperatura máxima, temperatura mínima y los índices de extremos derivados de estas variables, como son los días de verano (SU) y los días de helada (FD).

Se han seleccionado estos índices por ser representativos de los más extremos dentro de la gama de índices térmicos definidos por el grupo de expertos sobre índices y detección del cambio climático (ETCCDI, <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI>) (Moberg et al. 2006) y por su impacto en producciones agrícolas (Lobell et al. 2011; Lobell et al. 2012) y consecuencias para la salud. Tal como mencionan (Prieto et al. 2004), las temperaturas extremas tienen un efecto inmediato en el comportamiento humano, estos autores desarrollan un análisis de temperaturas extremas utilizando los datos de temperatura mínima diaria de 45 observatorios distribuidos en la España peninsular. De hecho, algunos de los estudios realizados muestran que la mortalidad asociada a las temperaturas extremas puede ser mayor que la de inundaciones, tornados o huracanes (Diaz et al. 2006; Garcia-Herrera et al. 2005; Gomez-Acebo et al. 2010; Schar; Jendritzky 2004; Schar et al. 2004).

Los días de verano se definen como el número de días para los que la temperatura máxima supera los 25°C y los días de helada como el número de días para los que la temperatura mínima no supera los 0 °C.

La literatura científica proporciona diferentes trabajos relacionados con extremos climáticos, usando observaciones, datos interpolados (Aguilar et al. 2009; Alexander et al. 2006; You et al. 2008) y extremos simulados (Cattiaux et al. 2012; Fennessy; Kinter 2011). También encontramos estudios que analizan conjuntamente datos observados e interpolados (Herrera et al. 2012). Sin embargo, los estudios comparativos entre índices de extremos interpolados con observados, como el que aquí se presenta, son menos frecuentes (Hofstra et al. 2010).

2. DATOS Y MÉTODOS

Los datos de partida para este estudio son las observaciones de temperatura máxima y temperatura mínima diarias para el periodo 1950 a 2011 en la península Ibérica (PI).

Actualmente existen grupos dedicados a preparar datos climáticos dentro del marco de proyectos de investigación, dejando los datos al servicio de la comunidad científica (Herrera et al. 2012; van den Besselaar et al. 2011). En este trabajo se han utilizado los datos interpolados en malla regular del proyecto ENSEMBLES (E-OBS v6) (<http://eca.knmi.nl/download/ensembles/download.php>). Así como los datos observados distribuidos irregularmente, se seleccionaron 55 lugares de la PI, que cumplieran los requisitos de calidad de datos diarios y que no tuviesen más del 10% de datos perdidos (Free et al. 2002). Estos datos son archivados por centros meteorológicos como la Agencia Estatal de Meteorología (AEMeT) y en el marco de servicios climáticos Europeos, el *European Climate Assessment & Dataset* (ECA&D) (<http://eca.knmi.nl/>). La disponibilidad de este tipo de datos para

estudios climáticos, en particular de variabilidad climática, es muy valorada, tanto es así que los numerosos trabajos publicados referencian su calidad. Ahora bien, pueden darse inconsistencias en los valores de temperaturas máximas o temperaturas mínimas, como por ejemplo, que la temperatura máxima sea inferior a la mínima en las mismas coordenadas y para el mismo momento de observación. Ello es debido a que para la interpolación se considera la topografía y, en casos aislados, si la zona no tiene suficiente cobertura de datos, pueden presentarse estos errores. Este tipo de situación se presenta en la PI, pero se corrigieron oportunamente estas inconsistencias. Este hecho ha sido puesto en conocimiento del grupo ECA&D.

Para demostrar la congruencia de la variabilidad de los datos interpolados con las medidas en los lugares, se presenta en la figura 1 la distribución promedio de los datos diarios de temperatura máxima (T_x) y temperatura mínima (T_n) para todo el periodo considerado junto con los valores de los coeficientes de correlación entre los datos observados directamente (OBS) y los resultados obtenidos de la interpolación (E-OBS). La configuración espacial de las temperaturas utilizando los datos E-OBS es similar a la proporcionada en el Atlas Climático Ibérico (2011), lo cual se confirma mediante los altos valores de los coeficientes de correlación entre E-OBS y OBS.

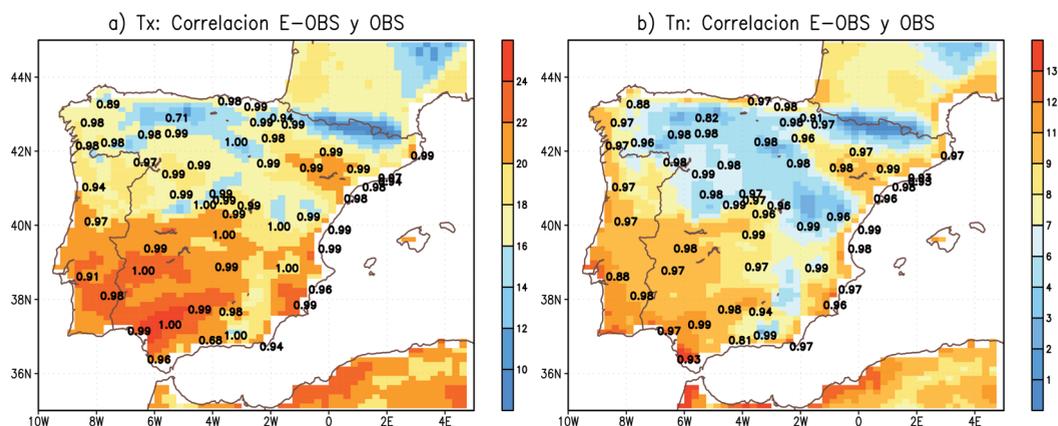


FIG. 1: Distribución de temperaturas: a) máxima (T_x), b) mínima (T_n). Los números indican la correlación entre los datos observados en los lugares (OBS) y los correspondientes interpolados (E-OBS).

Teniendo como base estos resultados, se lleva a cabo posteriormente la evaluación de los índices extremos SU y FD. Estos índices fueron calculados con el software *Climate Data Operator* (CDO, <https://code.zmaw.de/projects/cdo>). Para obtener los índices extremos, se separaron los datos diarios por meses y se realizó el recuento de días respecto a los límites indicados para cada mes de todos los años. En este trabajo se presentan los resultados para el conjunto de los meses de verano (junio, julio y agosto) en el caso de SU y el conjunto de los meses de invierno (diciembre, enero y febrero) para FD.

Una vez calculados los índices, para obtener la tendencia se ha aplicado un método no paramétrico, ya que los datos no verifican, en todos los casos, los requisitos de normalidad, tal como se puede observar en la Tabla 1, con los parámetros de curtosis y asimetría (Wilks 2006) para algunas estaciones. El método utilizado, test de Sen (Sen 1968), proporciona el cambio de la variable analizada para un periodo de tiempo que se obtiene de la mediana de las pendientes de datos sucesivos. Este test fue aplicado a los datos E-OBS y OBS. También se proporciona el test de significación de la tendencia Z de Mann-Kendall para las series temporales mostradas en la Tabla 1.

		Navacerrada (1890m) 40.46N, 4W		Salamanca (790m.) 40.57N, 5.40W		Sevilla (31m.) 37.23N, 5.59W		Zaragoza (240m.) 41.39N, 0.52W	
		E-OBS	OBS	E-OBS	OBS	E-OBS	OBS	E-OBS	OBS
SU	Media	14	4	23	23	29	29	27	26
	Curtosis	2.8	3.2	5.4	5.3	5.1	5.1	3.1	28
	Simetría	0.0	0.8	-1.0	-1.0	-1.7	-6.8	-0.6	-4.3
	Std	4.1	2.8	3.1	2.9	1.0	3.9	2.4	4.1
	Z-Kendall	4	5.1	2.8	2.7	2.7	2.5	3.5	3.8
	Sen test	8	6	3	3	0	0	4	4
	Correlación	0.85		0.99		0.92		0.97	
FD	Media	19	24	16	16	1	1.5	7	7
	Curtosis	2.1	2.8	2.6	2.7	7	7.6	2.5	2.5
	Simetría	-0.02	0.09	-0.16	-0.16	2	2.1	0.46	0.17
	Std	3.9	2.5	5	4.8	1.9	2.1	3.6	3.5
	Z-Kendall	-3.7	-2.7	-0.24	0.24	-2.3	-3.1	-1.2	-1.11
	Sen test	-6	-3	0	1	-1	-2	-2	-2
	Correlación	0.71		0.98		0.97		0.97	

TABLA 1: Datos de localización y métricas estadísticas de las series temporales representadas en las figuras 4 y 5 correspondientes a los índices *su* y *fd*, de datos *e-obs* y *obs*.

3. RESULTADOS

En la figura 2 se muestra la distribución promedio de SU en verano y de FD en invierno utilizando los datos E-OBS, con valores mayores en la mitad sur peninsular y en la cuenca del Ebro y menor número en la cornisa Cantábrica, Galicia y la zona de los Pirineos. Los números en ambas figuras indican la relación de estos datos con los valores de estos índices de extremos obtenidos a partir de los datos OBS. Las correlaciones entre datos OBS y E-OBS son significativas, los valores más bajos se obtienen para lugares elevados y costeros.

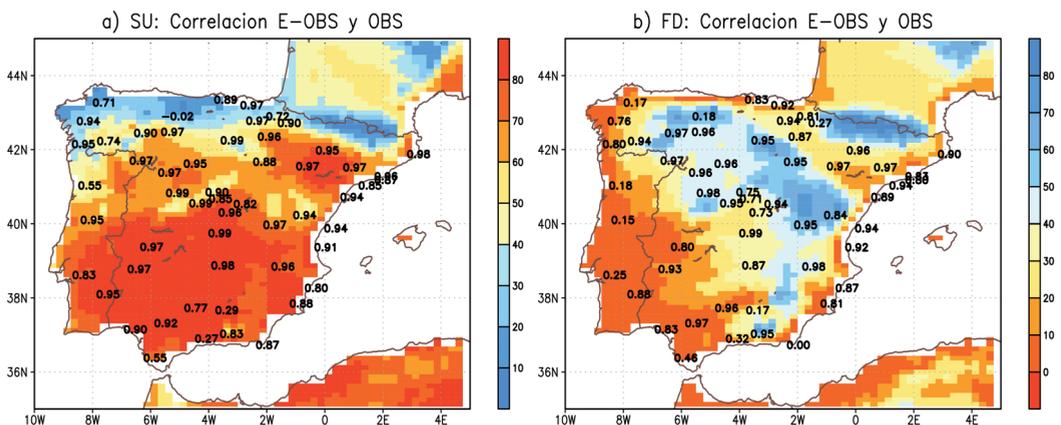


FIG. 2: Distribución promedio de días: a) de verano (SU); b) de helada (FD) con datos E-OBS. Los números indican la correlación entre estos índices extremos para datos OBS y E-OBS.

La figura 2b muestra la configuración de días de helada, se observa menor número de días de helada en la vertiente Atlántica y suroeste peninsular y mayor número en las zonas montañosas: los Pirineos, Sistema Ibérico, Picos de Europa, sierra Nevada y Sistema Central. Como en el caso anterior, zonas costeras y elevadas proporcionan menores correlaciones entre datos E-OBS y OBS.

El análisis de tendencia nos proporciona información sobre la evolución de los extremos. En la figura 3, se muestra la distribución de los resultados de la tendencia de los días calientes y días de helada, calculados con el test Sen, representando en sombreado los valores para los datos E-OBS y con números el cambio en determinados lugares utilizando los datos OBS.

Zonas con mayor aumento de días de verano se producen hacia el nordeste peninsular y en Galicia (Figura 3a), veranos más cálidos también han sido identificados en Estados Unidos por (Duffy; Tebaldi 2012). Mayor disminución de días de helada corresponden a las zonas elevadas de los Pirineos, Sierra Nevada y hacia el sureste peninsular (Figura 3b), este resultado es consistente con el trabajo de López-Moreno (Lopez-Moreno et al. 2011) sobre la disminución de frecuencia en la intensidad de nevadas por efecto del cambio climático en los Pirineos. Algunas zonas como Galicia, en la que se observa el aumento de días de verano, también presentan un aumento en los días de helada, siendo este un ejemplo de intensificación de los extremos. Para los días de verano (SU) se obtienen discrepancias acusadas entre E-OBS y OBS para Coimbra y Oporto, que se justifican porque estos lugares tienen mayor número de datos faltantes.

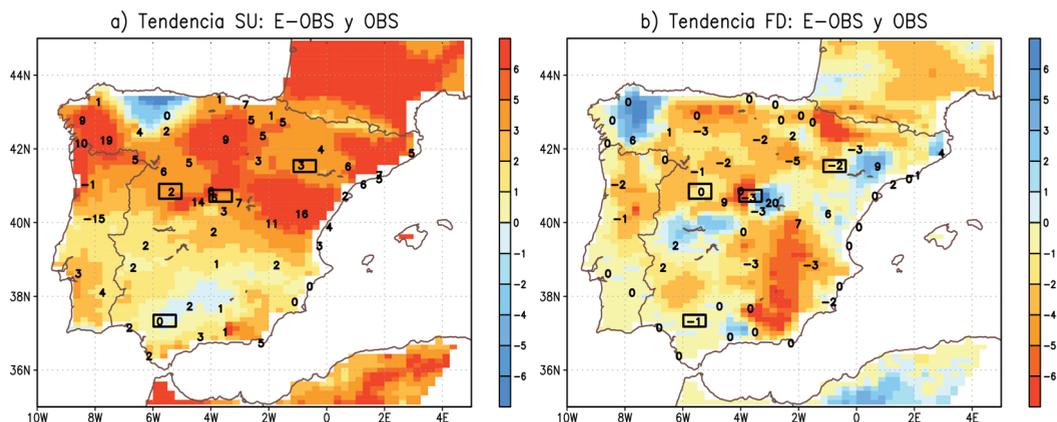


FIG. 3: Cambio de número de días en un periodo de 62 años: a) días de verano (SU); b) días de helada. El sombreado corresponde a datos E-OBS y los números a datos OBS.

Complementariamente a este estudio, se han seleccionado lugares representativos de diferentes regiones peninsulares para, de esta forma, visualizar y comparar la evolución de los índices extremos derivados de los datos interpolados y de los observados directamente. Los lugares seleccionados han sido: Navacerrada, Salamanca, Sevilla y Zaragoza, marcados con un recuadro en la figura 3. En la figura 4 se presentan las evoluciones para SU y en la figura 5 para FD para estos lugares. El color negro representa las series temporales de E-OBS y el rojo las OBS.

En el caso de SU se observa una tendencia creciente en los cuatro lugares, más significativa para Navacerrada y con una buena relación entre datos E-OBS y OBS, como así lo refleja el coeficiente de correlación, R , que aparece en ambas figuras. Merece destacar el desplazamiento

que se produce entre el valor medio de SU en Navacerrada, siendo mayor para datos E-OBS que OBS.

En el caso de FD (figura 5), observamos la tendencia de disminución en los cuatro lugares y la discrepancia de valor medio en Navacerrada, siendo más bajo para E-OBS que para OBS.

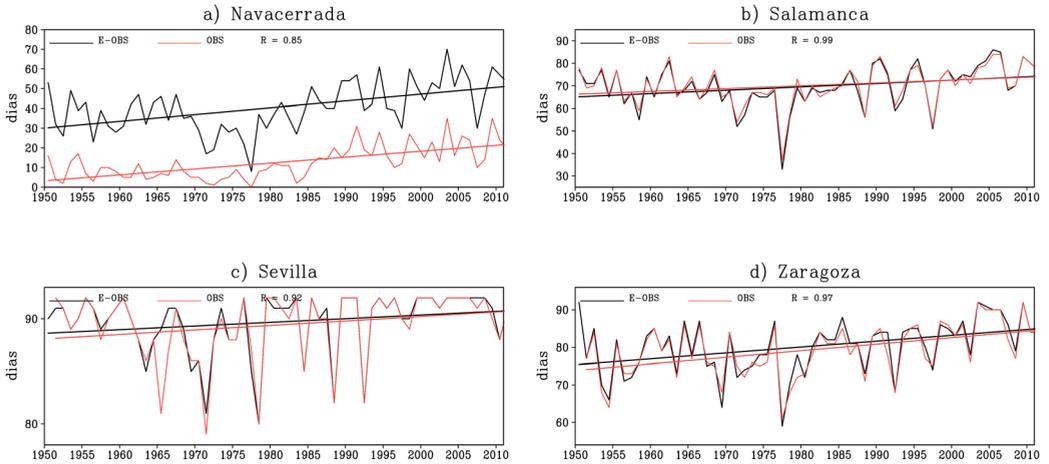


FIG. 4: Días de verano para: a) Navacerrada; b) Salamanca; c) Sevilla; d) Zaragoza. En negro para datos E-OBS en rojo para datos OBS. R es el coeficiente de correlación entre los datos E-OBS y OBS.

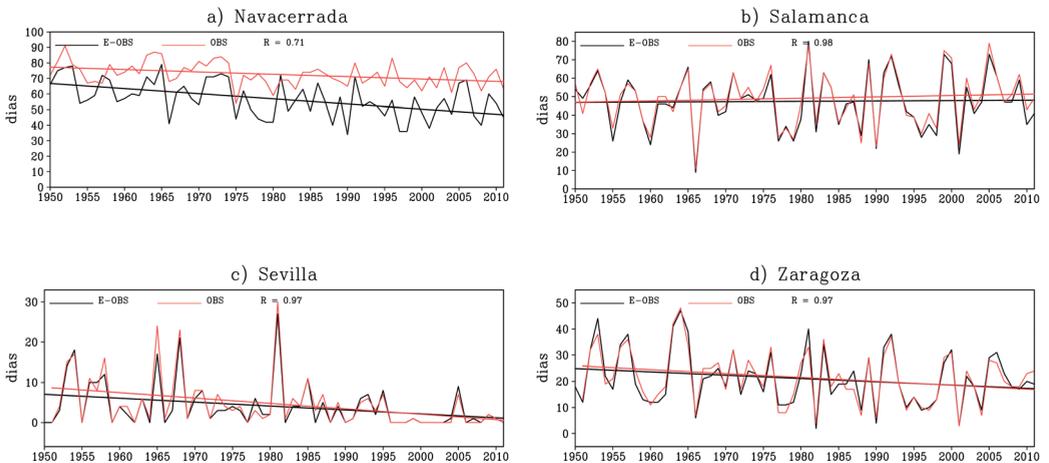


FIG. 5: Días de helada para: a) Navacerrada; b) Salamanca; c) Sevilla; d) Zaragoza. En negro para datos E-OBS y en rojo para datos OBS. R es el coeficiente de correlación entre los datos E-OBS y OBS.

La Tabla 1 recoge los estadísticos de las series temporales de SU y FD utilizando ambas series de datos. En general, los datos de la tabla confirman la similitud en tendencia y variabilidad de datos E-OBS respecto a OBS. El sesgo del valor medio en Navacerrada sobreestima los días de verano e infraestima los días de helada. La curtosis está fuera del comportamiento normal en Sevilla y Zaragoza en el caso de datos OBS. La tendencia de aumento de días de verano es significativa en

Navacerrada, Salamanca y Zaragoza. La tendencia de disminución de días de helada es significativa en Navacerrada y Sevilla.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado la adecuación de los datos interpolados, obtenidos en el marco del proyecto ENSEMBLES E-OBS respecto a los datos observados en 55 lugares distribuidos de forma no uniforme sobre la península Ibérica (OBS) para el periodo 1950 a 2011. La comparación se ha realizado para las variables directas de temperatura máxima (Tx) y temperatura mínima (Tn) diarias y para los índices extremos derivados, días de verano (SU) y días de helada (FD).

La correspondencia entre los datos Tx y Tn es muy buena espacialmente, como se aprecia al comparar los datos con los que proporciona el Atlas Climático Ibérico. La variabilidad temporal guarda buen acuerdo, obteniendo en la mayoría de los lugares una correlación superior al 95%.

En cuanto a los índices de extremos, ambos tipos de datos proporcionan tendencia generalizada a aumentar los días de verano y a disminuir los días de helada, pero con menos significación. El aumento de días de verano es más acentuado hacia el nordeste peninsular y en Galicia. La disminución de días de helada es más significativa en regiones montañosas. Algunas zonas como Galicia, en las que se obtiene aumento de días de verano también presentan aumento de días de helada.

Los datos SU y FD de E-OBS y OBS mantienen congruencia en relación a la variabilidad interanual con correlaciones, en general superiores al 90%, siendo mayor para los días de verano que para los de helada. Por el contrario, se obtiene sesgos para los valores medios de E-OBS respecto a OBS en zonas montañosas hacia valores mayores para los días de verano y menores para los de helada. Este resultado refleja el que los datos interpolados atenúan efectos puntuales de altura. También se obtienen discrepancias entre ambos tipos de datos para los días de verano en Coimbra y en Oporto, probablemente porque estos lugares tienen mayor número de datos faltantes.

Agradecimientos

Agradecemos a los proveedores de datos E-OBS del EU-FP6 project ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com>) y del proyecto ECA&D (<http://eca.knmi.nl>).

Agradecemos a los desarrolladores de los programas informáticos CDO (<https://code.zmaw.de/projects/cdo>) y GrADS (<http://www.iges.org/grads/>).

Agradecemos las subvenciones de los proyectos CGL2011-23209 del Ministerio de Economía y Competitividad y SA222A11-2 de la Junta de Castilla y León.

REFERENCIAS

- Aguilar, E., and Coauthors, 2009: Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955-2006. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **114**.
- Alexander, L. V., and Coauthors, 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **111D05109**, doi:10.1029/2005JD006290.
- Atlas Climático Ibérico. (2011) Editado por la Agencia Estatal de Meteorología y el Instituto de Meteorología de Portugal ISBN: 978-84-7837-079-5
- Barriopedro, D., E. M. Fischer, J. Luterbacher, R. Trigo, and R. Garcia-Herrera, 2011: The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe. *Science*, **332**, 220-224.
- Brunet, M., E. Aguilar, O. Saladie, J. Sigro, D. Lopez, and Ams, 2002: Warming phases in long-term Spanish temperature change. *13th Symposium on Global Change and Climate Variations*, 30-32.

- Brunet, M., and Coauthors, 2007: Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **112D12117**, doi:10.1029/2006JD008249.
- Buntgen, U., and Coauthors, 2011: 2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility. *Science*, **331**, 578-582.
- Cattiaux, J., P. Yiou, and R. Vautard, 2012: Dynamics of future seasonal temperature trends and extremes in Europe: a multi-model analysis from CMIP3. *Climate Dynamics*, **38**, 1949-1964.
- Della-Marta, P. M., J. Luterbacher, H. von Weissenfluh, E. Xoplaki, M. Brunet, and H. Wanner, 2007: Summer heat waves over western Europe 1880-2003, their relationship to large-scale forcings and predictability. *Climate Dynamics*, **29**, 251-275.
- Díaz, J., C. Linares, and A. Tobias, 2006: Impact of extreme temperatures on daily mortality in Madrid (Spain) among the 45-64 age-group. *International Journal of Biometeorology*, **50**, 342-348.
- Duffy, P. B., and C. Tebaldi, 2012: Increasing prevalence of extreme summer temperatures in the U.S. *Climatic Change*, **111**, 487-495.
- Fennessy, M. J., and J. L. Kinter, 2011: Climatic Feedbacks during the 2003 European Heat Wave. *Journal of Climate*, **24**, 5953-5967.
- Fernández-Montes S. y Rodrigo F. S. (2011). Trends in seasonal indices of daily temperature extremes in the Iberian Peninsula, 1929-2005. *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.3399
- Free, M., and Coauthors, 2002: Creating climate reference datasets - CARDS Workshop on Adjusting Radiosonde Temperature Data for Climate Monitoring. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **83**, 891-899.
- Furio, D., and V. Meneu, 2011: Analysis of extreme temperatures for four sites across Peninsular Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, **104**, 83-99.
- García-Herrera, R., J. Díaz, R. M. Trigo, and E. Hernández, 2005: Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions. *Annales Geophysicae*, **23**, 239-251.
- Gómez-Acebo, I., T. Dierssen-Sotos, and J. Llorca, 2010: Effect of cold temperatures on mortality in Cantabria (Northern Spain): A case-crossover study. *Public Health*, **124**, 398-403.
- Haylock, M. R., N. Hofstra, A. Tank, E. J. Klok, P. D. Jones, and M. New, 2008: A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **113**.
- Hegerl, G. C., H. Hanlon, and C. Beierkuhnlein, 2011: CLIMATE SCIENCE Elusive extremes. *Nature Geoscience*, **4**, 142-143.
- Hegerl, G. C., F. W. Zwiers, P. A. Stott, and V. V. Kharin, 2004: Detectability of anthropogenic changes in annual temperature and precipitation extremes. *Journal of Climate*, **17**, 3683-3700.
- Herrera, S., J. M. Gutiérrez, R. Ansell, M. R. Pons, M. D. Frias, and J. Fernandez, 2012: Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02). *International Journal of Climatology*, **32**, 74-85.
- Hofstra, N., M. New, and C. McSweeney, 2010: The influence of interpolation and station network density on the distributions and trends of climate variables in gridded daily data. *Climate Dynamics*, **35**, 841-858.
- Hofstra, N., M. Haylock, M. New, and P. D. Jones, 2009: Testing E-OBS European high-resolution gridded data set of daily precipitation and surface temperature. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **114**.
- IPCC, (2011). Summary for Policymakers. In: Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.[Field, C. B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K. J., Plattner, G.-K., Allen, S., Tignor, M. and P. M. Midgley (eds.)]. Technical Report.
- Jiménez, P. A., J. V. G. de Arellano, J. F. González-Rouco, J. Navarro, J. P. Montavez, E. García-Bustamante, and J. Dudhia, 2011: The Effect of Heat Waves and Drought on Surface Wind Circulations in the Northeast of the Iberian Peninsula during the Summer of 2003. *Journal of Climate*, **24**, 5416-5422.
- Karl, T. R., and D. R. Easterling, 1999: Climate extremes: Selected review and future research directions. *Climatic Change*, **42**, 309-325.

- Karl, T. R., R. W. Knight, D. R. Easterling, and R. G. Quayle, 1996: Indices of climate change for the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **77**, 279-292.
- Lobell, D. B., W. Schlenker, and J. Costa-Roberts, 2011: Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. *Science*, **333**, 616-620.
- Lobell, D. B., A. Sibley, and J. I. Ortiz-Monasterio, 2012: Extreme heat effects on wheat senescence in India. *Nature Climate Change*, **2**, 186-189.
- López-Moreno, J. I., S. Goyette, S. M. Vicente-Serrano, and M. Beniston, 2011: Effects of climate change on the intensity and frequency of heavy snowfall events in the Pyrenees. *Climatic Change*, **105**, 489-508.
- Moberg, A., and Coauthors, 2006: Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901-2000. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **111D22106**, doi:10.1029/2006JD007103.
- Prieto, L., R. G. Herrera, J. Diaz, E. Hernandez, and T. del Teso, 2004: Minimum extreme temperatures over Peninsular Spain. *Global and Planetary Change*, **44**, 59-71.
- Rodríguez-Puebla, C., A. H. Encinas, L. A. Garcia-Casado, and S. Nieto, 2010: Trends in warm days and cold nights over the Iberian Peninsula: relationships to large-scale variables. *Climatic Change*, **100**, 667-684.
- Schar, C., and G. Jendritzky, 2004: Climate change: Hot news from summer 2003. *Nature*, **432**, 559-560.
- Schar, C., P. L. Vidale, D. Luthi, C. Frei, C. Haberli, M. A. Liniger, and C. Appenzeller, 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, **427**, 332-336.
- Sen, P. K., 1968: ESTIMATES OF REGRESSION COEFFICIENT BASED ON KENDALLS TAU. *Journal of the American Statistical Association*, **63**, 1379-1389.
- Solomon, A., and Coauthors, 2011: DISTINGUISHING THE ROLES OF NATURAL AND ANTHROPOGENICALLY FORCED DECADEAL CLIMATE VARIABILITY Implications for Prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **92**, 141-+.
- Sura, P., 2011: A general perspective of extreme events in weather and climate. *Atmospheric Research*, **101**, 1-21.
- van den Besselaar, E. J. M., M. R. Haylock, G. van der Schrier, and A. Tank, 2011: A European daily high-resolution observational gridded data set of sea level pressure. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **116**.
- Wilks, D. S., 2006: *Statistical methods in the atmospheric sciences*. 2 ed. Academic Press, 627 pp.
- You, Q. L., S. C. Kang, E. Aguilar, and Y. P. Yan, 2008: Changes in daily climate extremes in the eastern and central Tibetan Plateau during 1961-2005. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **113**.