

Sergio M. Vicente Serrano<sup>1</sup> y Ernesto Rodríguez Camino<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IPE-CSIC), Zaragoza, España

<sup>2</sup> Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), España

## Estado de la cuestión

Bladé y Castro-Díez (2010) proporcionaron una revisión exhaustiva sobre las tendencias climáticas en la península ibérica durante el periodo instrumental, poniendo el foco fundamentalmente en la precipitación y la temperatura del aire. De acuerdo a dicha revisión, en España se produjo un aumento general de la temperatura del aire durante el siglo XX que fue más pronunciado durante las últimas décadas del siglo. Este proceso es consistente con lo observado en otras regiones de Europa. La revisión de Bladé y Castro-Díez indicó una fuerte variabilidad espacial, estacional e interanual de la precipitación en España, con una tendencia general negativa entre 1960 y 2010. Sin embargo, dicho estudio no incluyó información sobre la variabilidad y los cambios observados en otras variables atmosféricas esenciales (por ejemplo, la humedad relativa, la velocidad del viento, la sequía y la demanda de agua por parte de la atmósfera). Vicente-Serrano *et al.* (2017) publicaron una revisión actualizada de los últimos artículos publicados en revistas internacionales, mostrando los cambios en la temperatura y la precipitación, pero también en la radiación solar, la velocidad del viento de superficie, la humedad superficial y la evapotranspiración. Esta sección presenta un resumen de dicho estudio.

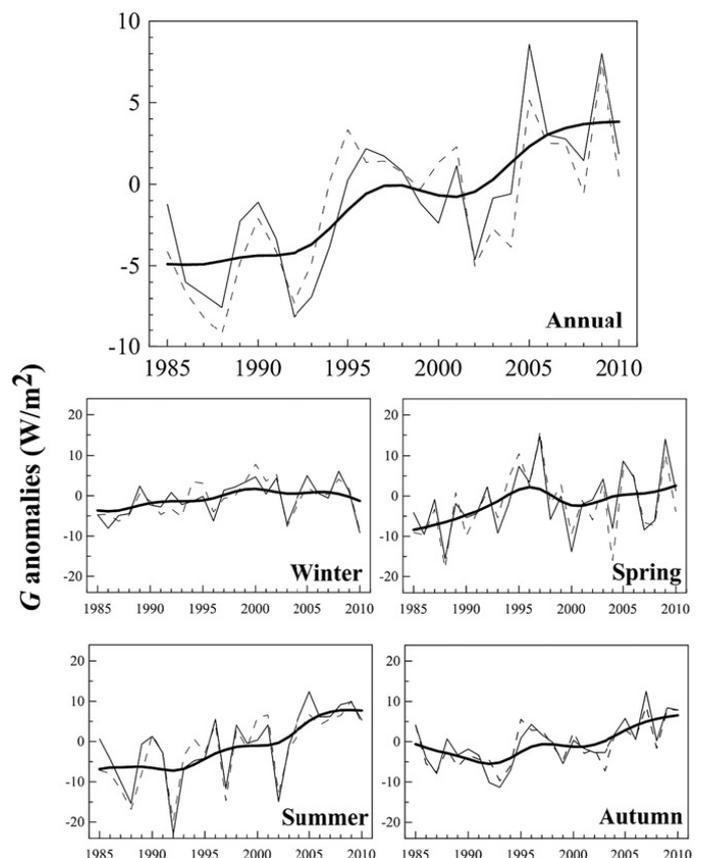
## Cambios en la radiación solar

Sánchez-Lorenzo *et al.* (2013) mostraron una tendencia ascendente significativa entre 1985 y 2010 del orden de  $3,9 \text{ W m}^{-2} \text{ década}^{-1}$ . Aumentos similares, igualmente significativos se observaron en las series estacionales medias, con la mayor tasa de aumento durante el verano ( $6,5 \text{ W m}^{-2} \text{ década}^{-1}$ ) (Figura 1). Mateos *et al.* (2014) cuantificaron la contribución de la nubosidad y de los aerosoles en el proceso, indicando que la nubosidad es el factor clave, explicando aproximadamente el 75 % de los cambios en la radiación solar.

## Cambio en la temperatura del aire

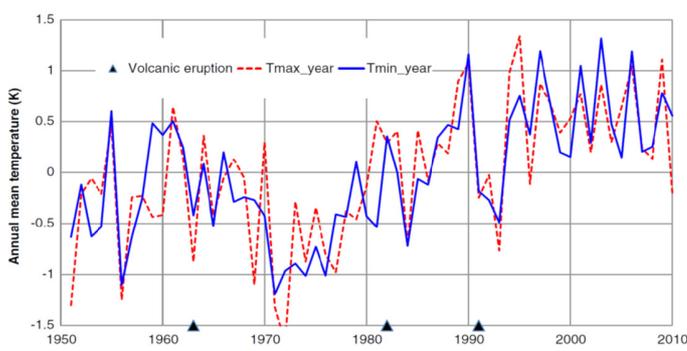
Del Río *et al.* (2011) analizaron la evolución de la temperatura media del aire utilizando 473 estaciones meteorológicas entre 1961 y 2006. Estos autores mostraron tendencias positivas dominantes, principalmente en los meses de primavera y verano, sugiriendo un aumento anual entre  $0,1$  y  $0,2 \text{ °C década}^{-1}$ , estadísticamente significativo en toda la España peninsular. Del Río *et al.* (2012) analizaron la evolución de las temperaturas máximas y mínimas para el mismo periodo y encontraron una tasa de aumento idéntica ( $0,3 \text{ °C década}^{-1}$ ), particularmente en los meses de verano y primavera. El promedio de aumento en la temperatura

máxima fue de  $0,37 \text{ °C}$  y  $0,43 \text{ °C década}^{-1}$  durante el verano y la primavera, respectivamente. Para la temperatura mínima, la tasa de calentamiento fue de  $0,34 \text{ °C}$  (verano) y  $0,41 \text{ °C década}^{-1}$  (primavera). González-Hidalgo *et al.* (2015a y 2015b) mostraron que la temperatura máxima ha aumentado a finales de invierno y principio de primavera y verano, mientras que la temperatura mínima ha aumentado en verano, primavera y otoño, especialmente en las regiones del sur de España. Además, mostraron que las tendencias en el rango de temperatura diaria tenían un claro gradiente norte-sur durante el verano, con tendencias positivas en el



**Figura 1.** Series medias estacionales y anuales de radiación solar global (línea fina) entre 1985 y 2010. La línea gruesa muestra un filtro gaussiano de 13 años. Las series se expresan en forma de anomalías respecto a la media de 1991-2010. Las líneas discontinuas muestran la radiación media en las cinco series que miden radiación difusa en España. (Fuente: Sánchez-Lorenzo *et al.*, 2013).

norte y tendencias negativas en el sur. La señal general en la temperatura máxima mostró una tendencia positiva en más del 75 % de la superficie peninsular, y la señal más fuerte se detectó en junio, mes en el que el 87 % de la superficie exhibió una tendencia positiva estadísticamente significativa (Figura 2).



**Figura 2.** Media anual de las temperaturas máximas y mínimas (1951-2010). Los valores se expresan en anomalías respecto al periodo 1950-2010. (Fuente: González-Hidalgo *et al.*, 2015b).

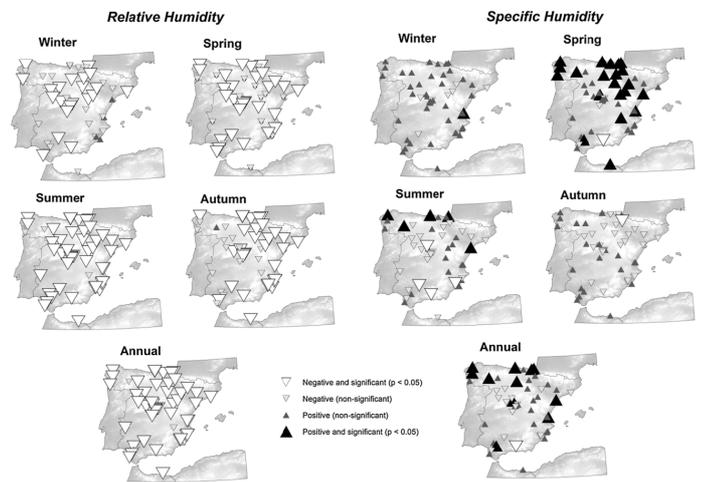
En cuanto a los cambios en las temperaturas diarias, Rodríguez-Puebla *et al.* (2010) analizaron los cambios en la frecuencia de días cálidos y noches frías, indicando que los días cálidos aumentaron en promedio un 1,1 % década<sup>-1</sup>, mientras que las noches frías exhibieron una disminución del orden de 1,3 % década<sup>-1</sup>. El aumento en la frecuencia de días con temperaturas cálidas extremas ha sido continuo durante las últimas dos décadas. Sánchez-Lorenzo *et al.* (2012) confirmaron que la frecuencia promedio de noches tropicales mostró un aumento continuo desde el comienzo de la década de 1970, registrándose los valores más extremos durante la década de 2000.

### Cambios en los vientos de superficie

Azorín-Molina *et al.* (2014) mostraron una tendencia ligeramente descendente en la velocidad del viento durante el periodo 1961-2011 ( $-0,016 \text{ m s}^{-1} \text{ década}^{-1}$ ). Sin embargo, encontraron diferencias estacionales, con una tendencia decreciente en invierno y primavera y una tendencia creciente en verano y otoño. En España, el descenso en la velocidad del viento afectó a casi el 77,8 % de las estaciones meteorológicas analizadas en invierno y al 66,7 % en primavera. No obstante, aproximadamente el 40 % de las tendencias negativas fueron estadísticamente significativas. Por el contrario, la tendencia creciente se observó en el 51,9 % de las estaciones en verano y en el 57,4 % en otoño.

### Cambios en la humedad atmosférica

Vicente-Serrano *et al.* (2014) mostraron una notable disminución de la humedad relativa en la España continental desde 1961 hasta 2011, más pronunciada en primavera y verano ( $-1,02 \%$  y  $-1,56 \%$  década<sup>-1</sup>, respectivamente). En promedio, la disminución fue del orden de  $-5,1 \%$  a escala anual entre 1961 y 2011. Por el contrario, no se registraron cambios generales en la humedad específica durante el mismo periodo, excepto en primavera (Figura 3).



**Figura 3.** Distribución espacial en las tendencias estacionales y anuales de la humedad relativa y específica (1961-2011). (Fuente: Vicente-Serrano *et al.*, 2014).

### Cambios en la precipitación

González-Hidalgo *et al.* (2011) mostraron una alta variabilidad mensual en las tendencias de precipitación, con patrones coherentes en marzo y junio (ambos meses con una tendencia negativa generalizada y estadísticamente significativa) y octubre (tendencias positivas generalizadas). También se señalaron patrones de tendencia más localizados espacialmente en julio, febrero y abril. Del Río *et al.* (2011b) indicaron una disminución de las precipitaciones en más del 28 % del territorio español durante el verano y el invierno entre 1961 y 2006. Aunque los patrones regionales de cambios en las precipitaciones son complejos, las series regionales en toda España mostraron una disminución de la precipitación en invierno y a escala anual (Rodríguez-Puebla y Nieto, 2010; Vicente-Serrano *et al.*, 2014). Gallego *et al.* (2011) analizaron las tendencias en los índices de frecuencia de precipitación diaria durante el último siglo (1903-2003), utilizando datos de 27 estaciones en Portugal y España. Estos autores mostraron que la frecuencia en el número total de días que registraron una precipitación escasa aumentó en muchos observatorios de la península ibérica durante todas las estaciones del año.

Acero *et al.* (2011) utilizaron un enfoque diferente, analizando la frecuencia de valores sobre un determinado umbral, y mostrando que para un periodo de retorno de 2 años se observa una gran proporción de tendencias negativas para las diferentes estaciones del año: 58 % en invierno, 63 % en primavera y 69 % en otoño. Sin embargo, el enfoque paramétrico también reveló un aumento en el área con tendencias positivas correspondientes a un periodo de retorno de 20 años. Estos resultados podrían indicar un cierto aumento en la frecuencia de eventos de precipitación intensa. Por el contrario, Rodrigo (2010) mostró que la tendencia en la probabilidad de ocurrencia de eventos de precipitación diaria inferiores al percentil 5 es positiva. Por el contrario, la probabilidad de una precipitación diaria superior al percentil 95 es negativa, lo que sugiere una disminución de la intensidad de la lluvia durante este periodo.

## La demanda de agua por parte de la atmósfera

Vicente-Serrano *et al.* (2014b) mostraron un fuerte aumento (24,4 mm década<sup>-1</sup>) en la magnitud de la demanda de agua atmosférica a escala anual, principalmente durante el verano (12 mm década<sup>-1</sup>). Este aumento se explica principalmente por la disminución en la humedad relativa y el aumento de la temperatura máxima.

## Observaciones finales

Aunque las tendencias climáticas recientes observadas en España están determinadas por los datos utilizados y principalmente por los periodos seleccionados en los análisis, es posible extraer algunas observaciones generales para las diferentes variables:

- 1) Existe un fuerte aumento de la radiación solar desde la década de 1980;
- 2) la temperatura mostró un fuerte aumento (alrededor de +0,3 °C década<sup>-1</sup>) desde la década de 1960, más fuerte en los meses de verano;
- 3) no hay cambios notables en la velocidad del viento de superficie; se ha registrado una ligera tendencia descendente pero no es estadísticamente significativa;
- 4) se registra una fuerte disminución de la humedad relativa (-5 % entre 1961 y 2011); por el contrario, no se identifican cambios notables en la humedad específica;
- 5) existe una fuerte variabilidad espacial y estacional en las tendencias de precipitación, aunque la precipitación media anual en España mostró una disminución moderada en las últimas cinco décadas;
- 6) la demanda evaporativa aumentó en las últimas cinco décadas (+24,4 mm década<sup>-1</sup>), principalmente en los meses de verano; en general, las recientes tendencias climáticas observadas en España sugieren claramente un escenario más cálido y seco en comparación con décadas pasadas; este hallazgo es compatible con las observaciones en otras áreas del Mediterráneo, donde se registra una tendencia hacia un escenario climático caracterizado por una menor disponibilidad de agua (García-Ruiz *et al.*, 2011).

## Referencias

Acero, F. J., García, J. A., Gallego, M. C., 2011: Peaks-over-threshold study of trends in extreme rainfall over the Iberian Peninsula. *Journal of Climate*, 24, 1089-1105. doi: 10.1175/2010JCLI3627.1.

Azorín-Molina, C., Vicente-Serrano, S. M., Mcvicar, T. R., Jerez, S., Sánchez-Lorenzo, A., López-Moreno, J.-I., Revuelto, J., Trigo, R. M., Lopez-Bustins, J. A., Espírito-Santo, F., 2014: Homogenization and assessment of observed near-surface wind speed trends over Spain and Portugal, 1961-2011. *Journal of Climate*, 27, 3692-3712. doi: 10.1175/JCLI-D-13-00652.1.

Bladé I., Castro Díez, Y., 2010: Tendencias atmosféricas en la Península Ibérica durante el periodo instrumental en el contexto de la variabilidad natural. En: Clima en España: pasado, presente y futuro (Pérez F. Fiz y Boscolo Roberta, eds.), 25-42 pp.

Del Río, S., Herrero, L., Pinto-Gomes, C., Penas, A., 2011: Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961-2006. *Global and Planetary Change*, 78, 65-75. doi: 10.1016/j.gloplacha.2011.05.012.

Del Río, S., Herrero, L., Fraile, R., Penas, A., 2011b: Spatial distribution of recent rainfall trends in Spain (1961-2006). *International Journal of Climatology*, 31, 656-667. doi: 10.1002/joc.2111.

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. doi: 10.1007/s00704-012-0593-2.

Gallego, M. C., Trigo, R. M., Vaquero, J. M., Brunet, M., García, J. A., Sigró, J., Valente, M. A., 2011: Trends in frequency indices of daily precipitation over the Iberian Peninsula during the last century. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 116, D02109, 28. doi: 10.1029/2010JD014255.

García-Ruiz, J. M., López-Moreno, J. I., Vicente-Serrano, S. M., Lasanta, T., Beguería, S., 2011: Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth Sciences Review*, 105, 121-139. doi: 10.1016/j.earscirev.2011.01.006.

González-Hidalgo, J. C., 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. doi: 10.1002/joc.2115.

González-Hidalgo, J. C., Peña-Angulo, D., Brunetti, M., Cortesi, N., 2015: MOTEDAS: a new monthly temperature database of Spanish continental land and the temperature trend between 1951-2010. *International Journal of Climatology*, 35, 4444-4463. doi: 10.1002/joc.4298.

González-Hidalgo, J. C., Peña-Angulo, D., Brunetti, M., Cortesi, N., 2015b: Recent trend in temperature evolution in Spanish mainland (1951-2010): from warming to hiatus. *Int. J. Climatol.* doi: 10.1002/joc.4519.

Mateos, D., Sánchez-Lorenzo, A., Antón, M., Cachorro, V. E., Calbó, J., Costa, M. J., Torres, B., Wild, M., 2014: Quantifying the respective roles of aerosols and clouds in the strong brightening since the early 2000s over the Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 119, 10382-10393. doi: 10.1002/2014JD022076.

Rodrigo, F. S., 2010: Changes in the probability of extreme daily precipitation observed from 1951 to 2002 in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 30, 1512-1525. doi: 10.1002/joc.1987.

Rodríguez-Puebla, C., Encinas, A. H., García-Casado, L. A., Nieto, S., 2010: Trends in warm days and cold nights over the Iberian Peninsula: Relationships to large-scale variables. *Climatic Change*, 100, 667-684. doi: 10.1007/s10584-009-9721-0.

Rodríguez-Puebla, C., Nieto, S., 2010: Trends of precipitation over the Iberian Peninsula and the North Atlantic Oscillation under climate change conditions. *International Journal of Climatology*, 30, 1807-1815. doi: 10.1002/joc.2035.

Sánchez-Lorenzo, A., Pereira, P., Lopez-Bustins, J. A., Lolis, C. J., 2012: Summer night-time temperature trends on the Iberian Peninsula and their connection with large-scale atmospheric circulation patterns. *International Journal of Climatology*, 32, 1326-1335. doi: 10.1002/joc.2354.

Sánchez-Lorenzo, A., Calbó, J., Wild, M., 2013. Global and diffuse solar radiation in Spain: Building a homogeneous dataset and assessing their trends. *Global and Planetary Change*, 100, 343-352. doi: 10.1016/j.gloplacha.2012.11.010.

Vicente-Serrano, S. M., Azorín-Molina, C., Sánchez-Lorenzo, A., Morán-Tejeda, E., Lorenzo-Lacruz, J., Revuelto, J., López-Moreno, J. I., Espejo, F., 2014: Temporal evolution of surface humidity in Spain: recent trends and possible physical

mechanisms. *Climate Dynamics*, 42, 2655-2674. doi: 10.1007/s00382-013-1885-7.

Vicente-Serrano, S. M., Azorín-Molina, C., Sánchez-Lorenzo, A., Revuelto, J., López-Moreno, J. I., González-Hidalgo, J. C., Morán-Tejeda, E., Espejo, F. 2014b: Reference evapotranspiration variability and trends in Spain, 1961-2011. *Global and Planetary Change*, 121, 26-40. doi: 10.1016/j.gloplacha.2014.06.005.

Vicente-Serrano, S. M., Rodríguez-Camino, E., Domínguez-Castro, F., El Kenawy, A., Azorín-Molina, C., 2017: An updated review on recent trends in observational surface atmospheric variables and their extremes over Spain. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 49, 209-232.