

# CAMBIOS EN LA DURACIÓN DE LAS ESTACIONES SOBRE LA PENÍNSULA IBÉRICA PARA CLIMA PRESENTE Y CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO A PARTIR DE UN CONJUNTO DE MODELOS REGIONALES DE CLIMA (ENSEMBLES)

Noelia LÓPEZ DE LA FRANCA AREMA<sup>1</sup>, Enrique SÁNCHEZ SÁNCHEZ<sup>2</sup>,  
Marta DOMÍNGUEZ ALONSO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Ciencias Ambientales (ICAM), Universidad de Castilla - La Mancha, Toledo*

<sup>2</sup>*Facultad de Ciencias Ambientales y Bioquímica, Universidad de Castilla – La Mancha, Toledo*

Noelia.LopezFranca@uclm.es, E.Sanchez@uclm.es, Marta.Dominguez@uclm.es

## RESUMEN

En zonas de latitudes medias, como la Península Ibérica, la existencia de estaciones climáticas claramente definidas permite su estudio detallado a partir de datos observacionales o de resultados de modelos regionales. Trabajos realizados principalmente sobre la primavera en clima presente, revelan una tendencia hacia una mayor duración, con un inicio cada vez más temprano. Habitualmente estos estudios se basan en umbrales absolutos, lo que conlleva un cierto nivel de arbitrariedad. Para evitarlo, este trabajo plantea una definición objetiva del inicio y final de cada una de las estaciones del año, usando como umbrales los percentiles 25 y 75 de temperaturas máxima y mínima en promedio de clima presente, calculados en cada punto de la malla. Se han aplicado estos análisis a un grupo de 10 Modelos Regionales de Clima, de resolución horizontal 25 km, procedentes del proyecto ENSEMBLES, tanto para simular el clima control (1961-1990), como el clima futuro (2071-2100), bajo el escenario de emisiones A1B en la PI. Los resultados para clima futuro muestran primaveras, veranos y otoños más largos frente a inviernos más cortos, llegando incluso a desaparecer a finales del siglo XXI. El inicio de la primavera y verano se adelantan, mientras que otoño se retrasa.

**Palabras clave:** estaciones climáticas, modelos regionales, Península Ibérica, temperatura.

## ABSTRACT

In mid-high latitude areas, such as the Iberian Peninsula (IP), the existence of defined climatic seasons allows their study from observational databases or regional climate models. Studies focused on present climate springs show a general trend to a lengthening and an early start of this season. These studies are usually based on fixed thresholds which implies a certain degree of arbitrariness. To avoid it, this study propose a new definition of each season onset and end, applying 25 and 75 percentile of the daily mean minimum and maximum temperature in present conditions average as thresholds, computed at each point of the domain. This analysis has been applied to 10 Regional Climate Model simulations (25 km horizontal resolution) from ENSEMBLES European project, to simulate both control (1961-1990) and future climate conditions (2071-2100), under A1B emissions scenario over the IP. Future climate results shows longer spring, autumn and summers, compared with

shorter winters, the latest almost disappearing by the end of XXIst century. Spring and summer are advanced meanwhile autumn is delayed.

**Key words:** climatic seasons, Regional Climate Models, Iberian Peninsula, temperature.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente los estudios relacionados con el cálculo de estaciones climáticas se centran en aquellas relacionadas con el periodo de crecimiento de determinadas especies vegetales (primavera y verano) (Christidis et al., 2007; Morissette et al., 2008), debido a la relevancia que tienen en sectores económicos como la agricultura y la ganadería, entre otras, además de su efecto en los ecosistemas naturales. Estudios basados en datos observados, (Ault et al., 2011; Qian et al., 2009, 2011; Songs et al. 2010) muestran como estas estaciones tienden a darse antes y durar más durante el último siglo. Son pocos los trabajos que analizan la variación de las cuatro estaciones dentro de su ciclo anual (Jaagus et Ahas 2000, Jaagus et al., 2003), resultando también de interés en estudios de cambio climático, ya que pueden aportar información adicional, al estar cada estación está influenciada por procesos meteorológicos que afectan a sectores socioeconómicos tan relevantes como por ejemplo la administración de los recursos hídricos (Pâlus et al., 2005).

Los métodos empleados a la hora de definir las estaciones son muy variados, pudiéndose clasificar en tres grandes grupos según el criterio empleado: fenológicos (Zhu et al., 2012), climáticos (Linderholm et al., 2008; Wallace & Obsorn, 2002) o la combinación de ambos (Ault et al., 2011). Algunos autores como Qian et al., 2011, señalan que el uso de criterios climáticos pueden resultar más objetivo que los fenológicos, debido principalmente a que las bases de datos existentes son más largas y consistentes. La mayoría de los trabajos que emplean criterios climáticos, usan umbrales fijos aplicándolos en grandes áreas pertenecientes a latitudes medio-altas con un tipo de clima definido (Cayan et al., 2009; Song et al., 2010). En regiones donde se dan distintos tipos de climas en un área relativamente pequeña, el uso de este tipo de umbrales no resulta del todo adecuado (Jaagus & Ahas, 2000), como es el caso de la Península Ibérica, donde encontramos clima fríos, templado y áridos (Castro et al., 2007).

En este trabajo se plantean dos objetivos principales. El primero de ellos consiste en la definición de las estaciones climáticas en la España Peninsular (EP) e Islas Baleares (IB) a partir de la aplicación de umbrales dinámicos de temperatura. El segundo es el uso de Modelos Regionales Climáticos (RCMs) de alta resolución espacial (25 km x 25 km horizontales) forzados por distintos Modelos Globales Climáticos (GCMs), para analizar el inicio de las estaciones tanto en periodo presente (1961-1990) como bajo condiciones de cambio climático (2071-2100).

## 2. DATOS Y MÉTODOS

### 2.1. Datos

La región de estudio es EP e IB. Como variables climáticas utilizamos las temperaturas mínimas y máxima diarias de cada punto del dominio. Vamos a usar la base de datos observados en rejilla, Spain02 (Herrera et al., 2012) ya que es la más actualizada y completa para la zona de estudio con una resolución de 20 x 20 km horizontales en clima observado (1961-2000). Se han elegido 10 RCMs (25 x 25 de resolución horizontal) procedentes del proyecto europeo ENSEMBLES (2004-2009, Van

der Linden et Mitchell, 2009) para el periodo presente (1961-1990) y futuro bajo el escenario de emisiones A1B.

## 2.2. Metodología

Hemos definido el inicio de las cuatro estaciones en cada punto del dominio a partir de dos umbrales dinámicos basados en la media climática de los percentiles 25 y 75 de las temperaturas mínimas (Tmin) y máximas (Tmax) diarias, respectivamente. Para la primavera y el invierno se ha aplicado el percentil 25 de la Tmin; mientras que para el verano y el otoño se ha usado el percentil 75 de la Tmax.

Primeramente se ha aplicado la definición de las estaciones en la base de datos observacionales Spain02, con el fin de comprobar que las estaciones climáticas calculadas corresponden aproximadamente con las astronómicas en clima observado (1961-2000). Posteriormente y para analizar la capacidad de los RCMs, se han comparado los resultados obtenidos a partir de los datos observados con la simulación de la media de los 10 RCMs forzados con el reanálisis ERA-40 (Uppala et al., 2005). para el mismo periodo (1961-2000).

Por último, se ha estudiado el cambio en el inicio y duración de las estaciones climáticas, simulando las condiciones de clima presente (1961-1990) frente a las condiciones de futuro (2071-2100) bajo el escenario de emisión A1B (López de la Franca et al., 2012)

Para evaluar la independencia estadística entre los resultados obtenidos para clima presente y futuro, se ha realizado un test T-Student con un grado de confianza de  $\alpha=95\%$ .

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Clima observado (1961-2000)

La figura 1 muestra el calculo de inicio las estaciones comparando la base de datos observados Spain02 y la media de los 10 RCMs forzados con el reanálisis ERA-40.

Vemos que las estaciones calculadas a partir de la base de datos observacional se asemejan bastante al patrón que siguen las estaciones astronómicas. La primavera comienza entre principios y finales de Marzo (días 70 – 80). El verano aparece a finales de Junio (días 172 – 175), el otoño a finales de Septiembre (días 265 – 270) y el invierno a finales de Diciembre (días 340 – 360). Especialmente, las estaciones calculadas con la Tmin (Primavera y Verano) muestran más heterogeneidad que el verano y el otoño, probablemente debido a que la temperatura mínima suele estar asociada a procesos atmosféricos locales; mientras que la temperatura máxima está más relacionada con procesos radiativos a gran escala.

La media de los RCMs forzados con ERA-40 exhibe un comportamiento muy similar al de la base de datos observados, aunque espacialmente tiene valores más homogéneos, sobre todo en primavera e invierno. En verano y otoño apenas existen diferencias con respecto a Spain02.

### 3.2. Cambio Climático: (2071-2100) – (1961-1990)

La figura 2 describe el ciclo medio anual promediado para toda la EP e IB, comparando la base de datos observacionales Spain02 (1961-1990) frente a la media de la simulación de los 10 RCMs forzados con diferentes GCMs, en periodo presente (1961-1990) y futuro (2071-2100) bajo el escenario de emisiones A1B.

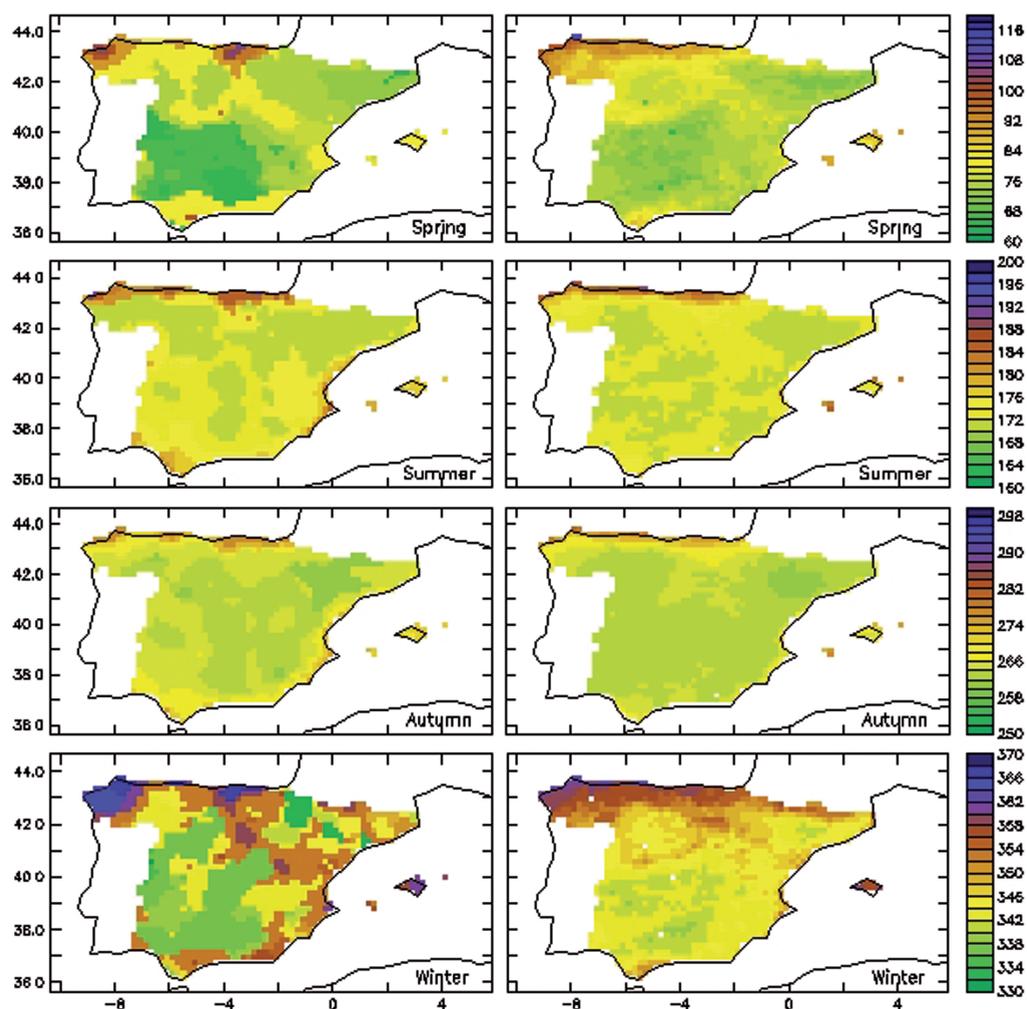


FIG. 1: Distribución espacial del inicio de las estaciones (día del año) para condiciones de clima observado (1961-2000). La columna de la izquierda corresponde a la base de datos observados Spain02 y la columna de la derecha representa la media de los 10 RCMs forzados con el reanálisis ERA-40.

Los resultados de la modelización de clima presente muestran un comportamiento bastante similar a los ofrecidos por los datos observados. La primavera comienza a finales de Marzo, el verano a finales de Junio, el otoño a finales de Septiembre y el invierno a finales de Diciembre.

Bajo condiciones de cambio climático, el resultado más notable es la desaparición del invierno tal y como lo hemos definido en clima presente. Estudios anteriores (Jaagus et al., 2000; Jaagus et al., 2003) muestran que el invierno es la estación que más ha variado en el último siglo, tendiendo a durar menos. Respecto al resto de estaciones, la primavera y el verano se adelantan y alargan, (Frich et al., 2002; Roberson et al., 2004; Schwartz et al., 2006). El otoño en cambio aunque también presenta una mayor duración, su inicio se retrasa respecto a clima presente (Jaagus et al., 2000; Zhu et al., 2012).

La diferencias entre los periodos presente y futuro para cada punto del dominio de cada RCM, son estadísticamente distintas según el test T aplicado con un intervalo de confianza del  $\alpha=95\%$ .

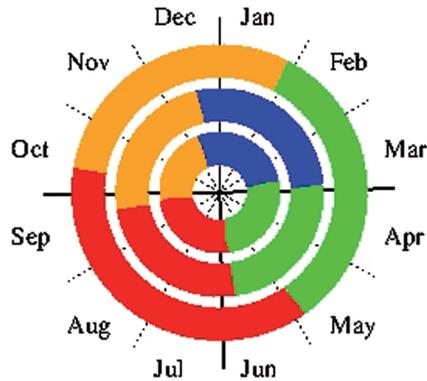


FIG. 2: Simulación del cambio del ciclo anual de las estaciones climáticas. El anillo interior corresponde a la base de datos observacional Spain02 (1960-1990). Los anillos intermedio y exterior muestran la media de 10 RCMs para clima presente (1960-1990) y futuro (2070-2100) bajo el escenario de emisiones A1B, respectivamente. Cada color representa una estación: primavera (verde), verano (rojo), otoño (naranja) e invierno (azul).

#### 4. CONCLUSIONES

El método propuesto para el cálculo de las estaciones climáticas a partir de umbrales dinámicos de temperatura (percentil 25 de la temperaturas mínima y percentil 75 de la máxima diaria) reproduce el comportamiento de las estaciones astronómicas a lo largo del año en clima observado (1961-2000) para cualquier punto de EP e IB, independientemente de su orografía o tipo de clima. Los RCMs han demostrado ser capaces de reproducir adecuadamente las estaciones para el clima presente, tanto en su duración como inicio y final, además de mostrar diferencias regionales para el dominio de estudio. Todo ello permite confiar en los resultados proyectados para clima futuro y el cambio obtenido.

A finales de siglo XXI, los resultados muestran una alteración de la distribución de las estaciones a lo largo del año respecto al clima presente, motivado en gran parte por la práctica desaparición del invierno. El resto de estaciones se alargan, adelantándose la primavera y el verano y atrasándose el otoño.

Se espera aplicar este método sobre otras regiones diversas con distintos tipos de clima, así como para otros modelos regionales, escenarios de emisiones y periodos temporales.

#### Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto regional CLIMANCHA (2010-2013, POII100255-8836, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha). Los datos de los RCMs pertenecen al proyecto europeo ENSEMBLES (2004-2009, 6th EU Framework Programme, GOCE-CT-2003-505539) y la base de datos observacionales Spain02 al proyecto nacional ESCENA (2008-2011, Secretaría de Estado de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, ref.200800050084365).

#### BIBLIOGRAFÍA

- Ault, T., Macalady, A., Pederson, G., Betancourt, J., y Schwartz, M. (2011) "Northern Hemisphere Modes of Variability y the Timing of Spring in Western North America". *Journal of climate*, 24, 4003-4014, doi:10.1175/2011JCLI4069.1.
- Castro, M., Gallardo, C., Jylhä, K., y Tuomenvirta, H. (2007) "The use of a climate-type classification for assessing climate change effects in Europe from an ensemble of nine regional climate models". *Climate Change*, 81 (S1), 329-341.

- Cayan, D., Kammerdiener, S., Dettinger, M., Caprio, J., y Peterson, D. (2001) "Changes in the onset of spring in the western United States". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82, 399-416.
- Christidis, N., Stoot, P.A., Brown, S., J.Karoly, D., y Caesar, J. (2007) "Human Contribution to the Lengthening of the Growing Season during 1950-99". *Journal of Climate*, 20, 5441-5454, doi:10.1175/2007JCLI1568.1.
- D'Odorico, P., Yoo, J., y Jaeger, S. (2002) "Changing Seasons: An Effect of the North Atlantic Oscillation?". *Journal of Climate*, 15, 435-445.
- Frich, P., Alexander, L.V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A.M., y Peterson, T. (2002) "Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century". *Climate Research*, 19, 193-212, doi:10.3354/cr019193.
- Herrera, S., Gutiérrez, J.M., Ancell, R., Pons, M.R., Frias, M.D., y Fernández, J. (2012) "Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02)". *International Journal of Climatology*, 32, 74-85, doi:10.1002/joc.2256.
- Jaagus, J., y Ahas, R. (2000) "Space-time variations of climatic seasons and their correlation with the phenological development of nature in Estonia". *Climate Research*, 15, 207-219,
- Jaagus, J., Truu, J., Ahas, R., y Aasa, A. (2003) "Spatial and temporal variability of climatic seasons on the East European Plain in relation to large-scale atmospheric circulation". *Climate Research*, 23, 111-129, doi:10.3354/cr023111.
- Linderholm, H., Walther, A., y Chen, D. (2008) "Twentieth-century trends in the thermal growing season in the Greater Baltic Area". *Climate Change*, 87, 405-419, oi: 10.1007/s10584-007-9327-3.
- López de la Franca, N., Sánchez, E. y Domínguez, M. (2012) "Changes in the onset and length of seasons from an ensembles of regional climate models over the Iberian Peninsula for future climate conditions". *Atmospheric Science Letters* (Submitted)
- Morisette, J., Richardson, A., Knapp, A., Fisher, J., Graham, E., Abatzoglou, J., Wilson, B., Breshears, D., Henebry, G., Hanes, J., and Liang, L. (2008) "Tracking the rhythm of the seasons in the face of global change: phenological research in the 21st century". *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7, 253-260, doi: 10.1890/070217.
- Nakicenovic, N., y Swart, R. (Ed.), (2000) *Emissions Scenarios. A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Paluš, M., Novotná, D., y Tichavský, P. (2005) "Shifts of seasons at the European mid-latitudes: Natural fluctuations correlated with the North Atlantic Oscillation". *Geophysical Research Letters*, 32, L12805, doi:10.1029/2005GL022838.
- Qian, C., Fu, C., Wu, Z., y Yan, Z. (2009) "On the secular change of spring onset at Stockholm." *Geophysical Research Letters*, 36, L12706, doi:10.1029/2009GL38617,2009.
- Qian, C., Fu, C., Wu, Z., y Yan, Z. (2011) "The role of changes in the annual cycle in earlier onset of climatic spring in northern China". *Advances in Atmospheric Sciences*, 28, 284-296, doi: 10.1007/s00376-010-9221-1.
- Robeson, S. (2004) "Trends in time-varying percentiles of daily minimum and maximum temperature over North America". *Geophysical Research Letters*, 31, L04203, doi: 10.1029/2003GL019019.
- Schwartz, M., Ahas, R., y Aasa, A. (2006) "Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere". *Global Change Biology*, 12, 343-351, doi:10.1111/j.1365- 2486.2005.01097.x.
- Song, Y., Linderholm, H., Chen, D., y Walther, A. (2010) "Trends of the thermal growing season in China, 1951-2007". *International Journal of Climatology*, 30, 33-43. doi:10.1002/joc.1868.
- Wallace, C., y T. Osborn (2002) "Recent and future modulation of the annual cycle" *Climate Research*, 22 (1), 1-11, doi: 10.3354/cr022001.