

# MODELIZACIÓN REGIONAL DE PERIODOS SECOS SOBRE LA PENÍNSULA IBÉRICA EN CLIMA PRESENTE Y CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO

Enrique SÁNCHEZ<sup>1</sup>, Marta DOMÍNGUEZ<sup>2</sup>, Raquel ROMERA<sup>2</sup>, Noelia LÓPEZ DE LA FRANCA<sup>2</sup>, Miguel Ángel GAERTNER<sup>1</sup>, Clemente GALLARDO<sup>2</sup>, Manuel de CASTRO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Universidad Castilla-La Mancha, Spain*

<sup>2</sup>*Instituto de Ciencias Ambientales, Universidad de Castilla-La Mancha*

e.sanchez@uclm.es, marta.dominguez@uclm.es, raquel.romera@uclm.es, noelia.lopezfranca@uclm.es, miguel.gaertner@uclm.es, clemente.gallardo@uclm.es, manuel.castro@uclm.es

## RESUMEN

La modelización climática de los procesos de precipitación es uno de los aspectos más complejos y que presentan una mayor incertidumbre en las proyecciones de cambio climático relacionadas con el incremento de gases de efecto invernadero. Además, los estudios suelen analizar los cambios en la precipitación, pero es menos frecuente enfocarse en los cambios en los periodos sin lluvia. Sin embargo, sobre la Península Ibérica, las características de los periodos secos es un aspecto muy importante en su climatología, y donde los estreses hídricos constituyen un problema de gran relevancia e interés. La modelización climática regional (RCMs) de los periodos secos para condiciones de clima observado indican como estos son capaces de reproducir los principales aspectos de estos periodos, tanto en estructura espacial (un gradiente norte/sur) como en su distribución estadística. Es interesante indicar cómo los modelos globales de clima (GCMs) presentan mucha más dificultad para obtener resultados comparables con las observaciones. Para condiciones de clima futuro, los modelos indican un incremento en la duración media de los periodos secos, una reducción en el periodo de retorno de los periodos secos más largos, y un incremento mayor en la zona sur de la Península.

**Palabras clave:** Modelos regionales de clima, periodos secos, proyecciones climáticas, cambio climático.

## ABSTRACT

Climatic modelling of precipitation processes is one of the most complex issues and with higher uncertainty when dealing with climatic change projections due to the increase of greenhouse gases. Furthermore, studies usually analyze changes in precipitation, but is less frequent to put the focus on the changes of no rain periods. Nevertheless, over the Iberian Peninsula, the characteristics of dry spells is a very relevant aspect of its climatology, where hydrological stresses is a very relevant and important problem. Regional climate modelling (RCMs) of dry spells for observed climate conditions indicate that those models are able to reproduce the main aspects both on its spatial structure (a north/south gradient) and on the statistical distribution. It is interesting to notice that global climate models (GCMs) exhibit a higher difficulty to obtain results comparable to observations. For future

climate conditions, models indicate an increase in the mean dry spell length, a reduction on the return period for the longest dry spells, and a higher increase over the southern part of the Iberian Peninsula.

**Key words:** Regional climate models, dry spells, climatic projections, climatic change.

## 1. INTRODUCCION

La descripción de los procesos de precipitación en escalas climáticas mediante la modelización numérica es uno de los aspectos más complejos de la investigación del clima. La precipitación presenta una estructura compleja tanto espacial como temporalmente, y existen numerosos esquemas de parametrización de los procesos físicos que lo describen a las diferentes escalas en los modelos numéricos. Los modelos globales de clima (GCMs) presentan deficiencias para describir diferentes tipos de procesos nubosos y de precipitación, por su limitada resolución horizontal y vertical. Es esperable que los modelos regionales de clima (RCMs) puedan mejorar estos aspectos por su mayor detalle espacial (Rowell 2006). Además, los estudios de proyecciones de cambio climático indican una mayor incertidumbre en la precipitación que sobre los valores de temperatura (Christensen y Christensen, 2007).

Por otro lado, si se analizan los procesos relacionados con eventos extremos, esta incertidumbre asociada a los mecanismos de precipitación es todavía mayor (Beniston et al., 2007). Es interesante resaltar que aunque existen numerosos estudios sobre eventos de precipitación extrema, sin embargo hay muchos menos trabajos enfocados en el análisis de la ausencia de precipitación, es decir, de los periodos secos. Desde un punto de vista general, la definición de sequía es compleja. Estos eventos pueden ser definidos a partir de aspectos meteorológicos, hidrológicos, agrícolas o socio-económicos (Keyantash y Dracup, 2002). Algunos trabajos han estudiado en escalas climáticas los periodos secos, tanto en su relación con los patrones atmosféricos de gran escala (Huth et al., 2000), pero también aspectos regionales (Blenkinsop y Fowler, 2007, Deni et al., 2008, Schmidli y Frei, 2005).

En regiones en torno a la cuenca mediterránea los estreses hídricos son muy importantes y diversos estudios de los procesos relacionados con los periodos secos se han llevado a cabo (Anagnostopoulou et al., 2003; Mavromatis, 2010). La Península Ibérica (PI) presenta una gran dispersión en la precipitación, desde regiones de elevados valores, por encima de 1000 mm/año, a zonas con valores muy bajos, sobre una región relativamente pequeña (Rodríguez-Puebla et al. 1998; Martín-Vide 2004). Se han llevado a cabo diversos estudios observacionales a partir de medidas de estaciones, analizando diferentes aspectos de los periodos secos (Martín-Vide y Gómez, 1999, Abaurrea y Cebrián, 2004, Cebrián y Abaurrea, 2006, Lana et al., 2006, Vicente-Serrano, 2006, Vicente-Serrano y Cuadrat-Prats, 2007). En relación con los estudios basados en la modelización climática y las proyecciones de clima futuro, se han llevado a cabo tanto mediante GCMs (Trigo y Palutikof, 2001) o RCMs (Herrera et al., 2010). Sin embargo, en la mayoría de los estudios, la PI es sólo una de las regiones de análisis dentro de toda Europa (Christensen y Christensen 2007; Tapiador et al. 2007; Boberg et al. 2010). Las proyecciones de clima futuro para finales del siglo XXI apuntan hacia un incremento del riesgo de condiciones semiáridas en la mayor parte de la PI (Castro et al., 2007, Gao y Giorgi, 2008), con un incremento de los periodos secos más largos a partir de RCMs modelizando toda la cuenca mediterránea (Gao et al., 2006, Beniston et al., 2007).

El objetivo de este trabajo es analizar la distribución estadística de periodos secos sobre la Península Ibérica para condiciones de clima presente y futuro a partir de los resultados de un GCM

y la regionalización dinámica mediante un RCM del mismo, a dos resoluciones. El clima presente es validado frente a una base de datos observacional sobre la región, y posteriormente se estudian las proyecciones de clima futuro.

## 2. METODOLOGÍA

Para este estudio se ha empleado el modelo global de clima HadAM3h (Pope et al., 2000), que sirve para forzar los contornos del modelo regional de clima PROMES (Sánchez et al., 2004). Los periodos de simulación son clima presente (1961-1990) y clima futuro (2071-2100), bajo el escenario de emisiones A2, donde se proyectan importantes incrementos de gases de efecto invernadero (Nakicenovic y Swart, 2000). El modelo regional PROMES ha sido comparado exitosamente frente a otros modelos regionales para las simulaciones empleadas en este trabajo, en el marco del proyecto europeo PRUDENCE (Christensen y Christensen, 2007). El GCM tiene una resolución espacial de  $1.875 \times 1.25^\circ$ , mientras que el RCM simula el clima a 50 y 25km, usando una proyección Lambert. Para comparar el periodo de clima presente, se emplearán las bases de datos observacionales de precipitación diaria interpoladas a una malla regular Spain02 (Herrera et al., 2012) y ECA (Haylock et al., 2008). ECA posee un cantidad pequeña de estaciones sobre la PI, aunque cubre toda Europa, mientras que Spain02 tiene una densidad mucho más alta de datos, pero no cubre Portugal.

Respecto al análisis estadístico, la distribución de periodos secos se propone que se ajuste a una distribución Weibull, como fue mostrado en Lana et al. (2008), aplicado a 40 estaciones de medición sobre la PI. Se define un episodio seco como aquel en el que durante al menos 1 día no llueve (definido cuando la precipitación es menor que 1 mm/día). La bondad del ajuste de la distribución se lleva a cabo mediante un test de Kolmogorov-Smirnov (Von Storch y Zwiers, 1999). Más detalles del método elegido pueden verse en Sánchez et al. (2011). La distribución Weibull es la siguiente:

donde la longitud del episodio seco es  $x$ , siendo  $k$ ,  $u$  los dos parámetros de la distribución ( $u$  el de escala y  $k$  de forma). Es interesante comentar que, a partir de esta función de distribución, se puede obtener, por ejemplo, la longitud del periodo seco máximo ( $x_T$ ) asociado a un periodo de retorno dado ( $T_T$ ) mediante la expresión

donde  $b$  es el número promedio de periodos secos por año, de forma que  $x_T$  es la longitud del periodo seco que es excedida o igualada  $b \times T_T$  veces en un periodo de retorno de  $T_T$  años.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Periodo clima presente (1961-1990)

La figura 1 muestra el resultado directo del cálculo del número medio de episodios secos para clima presente. En primer lugar, ambas bases de datos observacionales (Spain02 y ECA) muestran el mismo gradiente norte-sur (mínimo-máximo), con un máximo relativo en la zona sureste costera. Los valores oscilan entre los 3-4 días del Cantábrico y los más de 15 en Andalucía. Entre ambas bases de datos se puede apreciar el efecto de la diferencia en el número de estaciones empleadas, que hace que el campo de ECA sea mucho más suavizado que el de Spain02. Es posible incluso que la estructura espacial de Spain02 sea excesivamente ruidosa, aunque se aprecian con claridad algunos efectos orográficos, como el valle del Ebro o las dos mesetas.

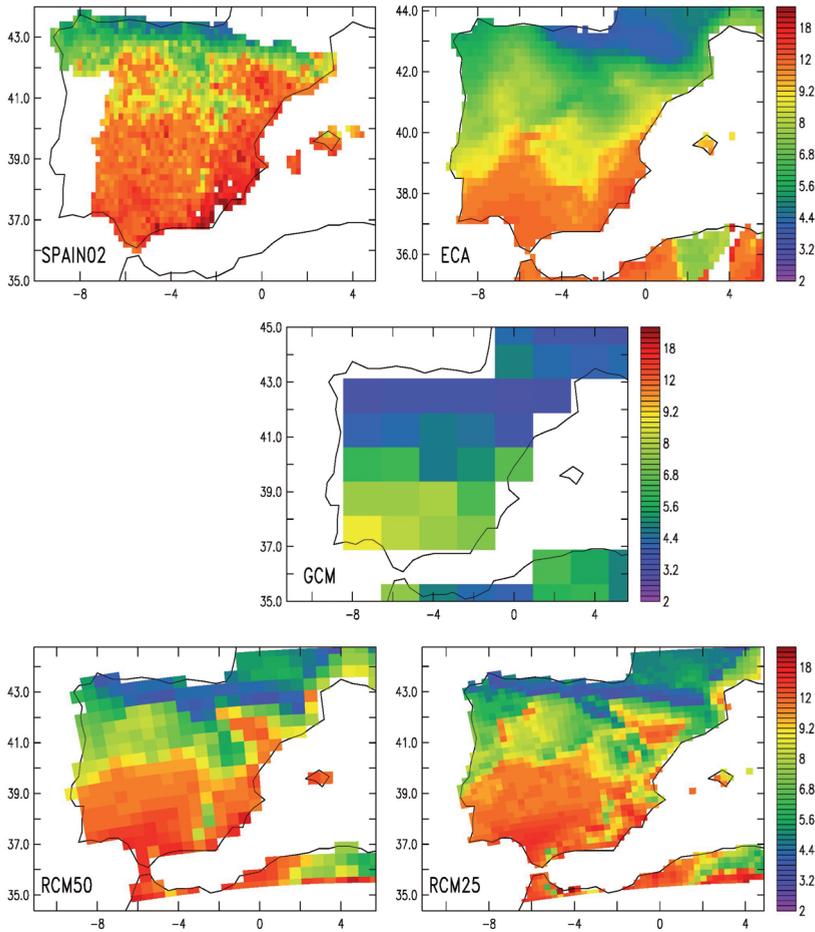


FIG. 1: *Distribución espacial de la duración media de episodios secos (días) para clima presente (1961-1990).*

Cuando se analizan los resultados de las simulaciones numéricas, se pueden ver claramente las diferencias en los resultados entre el GCM y los RCMs. El modelo global, aunque muestra también el gradiente norte/sur, claramente subestima los valores de estos episodios, y especialmente en la mitad sur de la PI. Sin embargo, el modelo regional a ambas resoluciones claramente obtiene resultados mucho más parecidos a las observaciones, tanto en los valores, como en la distribución espacial. El modelo a 25km es capaz de mostrar más detalles regionales en zonas de costa, valles o zonas montañosas. Es interesante mencionar como en la costa Mediterránea, donde suceden complejos procesos de precipitación y periodos secos, los modelos regionales muestran un cierto gradiente costero, aunque subestimando lo mostrado por las observaciones, que también muestra diferencias entre las diferentes bases de datos.

La figura 2 muestra los episodios secos más largos para un periodo de retorno de 2 años, a partir del ajuste Weibull. Mediante el test de Kolmogorov-Smirnov, se ha comprobado previamente que todos los puntos presentan un ajuste a la distribución con un 99% de intervalo de confianza. Los resultados son consistentes con lo obtenido para el episodio medio. El modelo global claramente

obtiene episodios secos extremos más cortos que los RCMs, más lejanos de lo obtenido por las bases de datos observacionales.

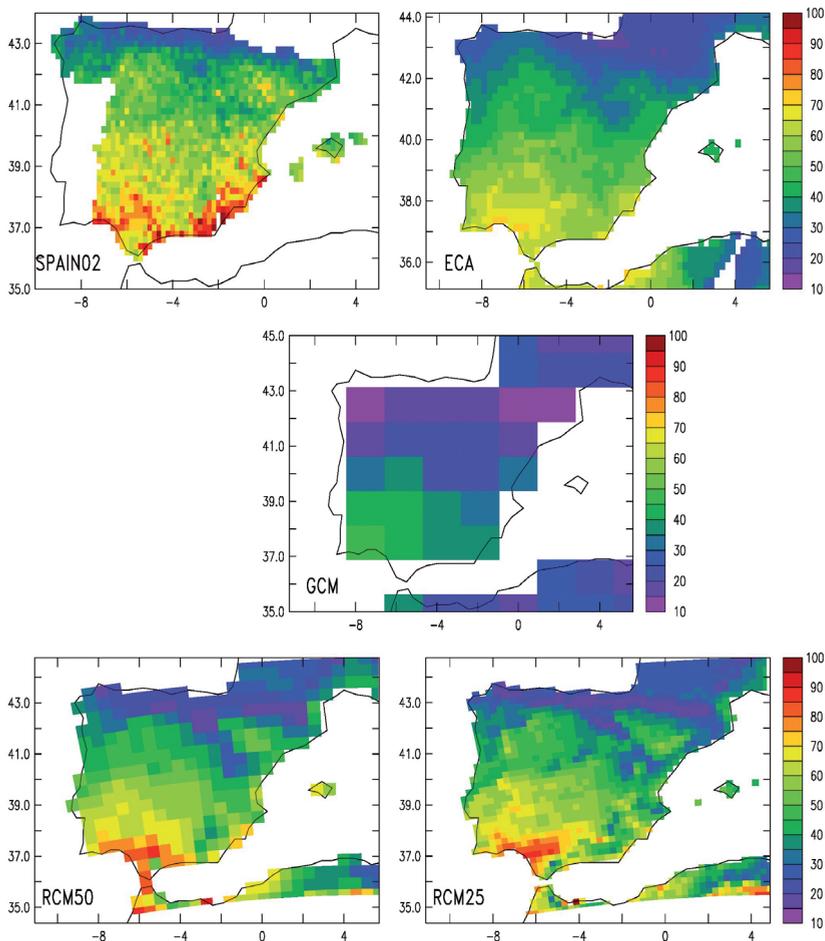


FIG. 2: Distribución espacial del episodio seco más largo (días) para un periodo de retorno de 2 años para el periodo (1961-1990) a partir del ajuste Weibull.

### 3.2. Clima futuro (2071-2100)

La figura 3 muestra los resultados de la diferencia (cuya significación estadística ha sido comprobada con un test de Montecarlo basado en bootstrapping, Sánchez et al., 2011) para clima futuro del modelo global y los modelos regionales respecto a clima presente, comprobando que se ajustan también a una distribución Weibull, mediante el mismo test que en clima actual. El patrón de cambio tanto en el modelo global como en las simulaciones del modelo regional indican un resultado similar, tendiendo a aumentar los episodios medios y los más largos en buena parte del dominio. En la zona costera cantábrica el cambio es pequeño mientras que según se va hacia el sur, el aumento es mayor. Por tanto, el gradiente norte-sur se verá incrementado según estas proyecciones de cambio climático. Este aumento de los episodios secos más largos es consistente con otros trabajos previos, como se comentó en la introducción.

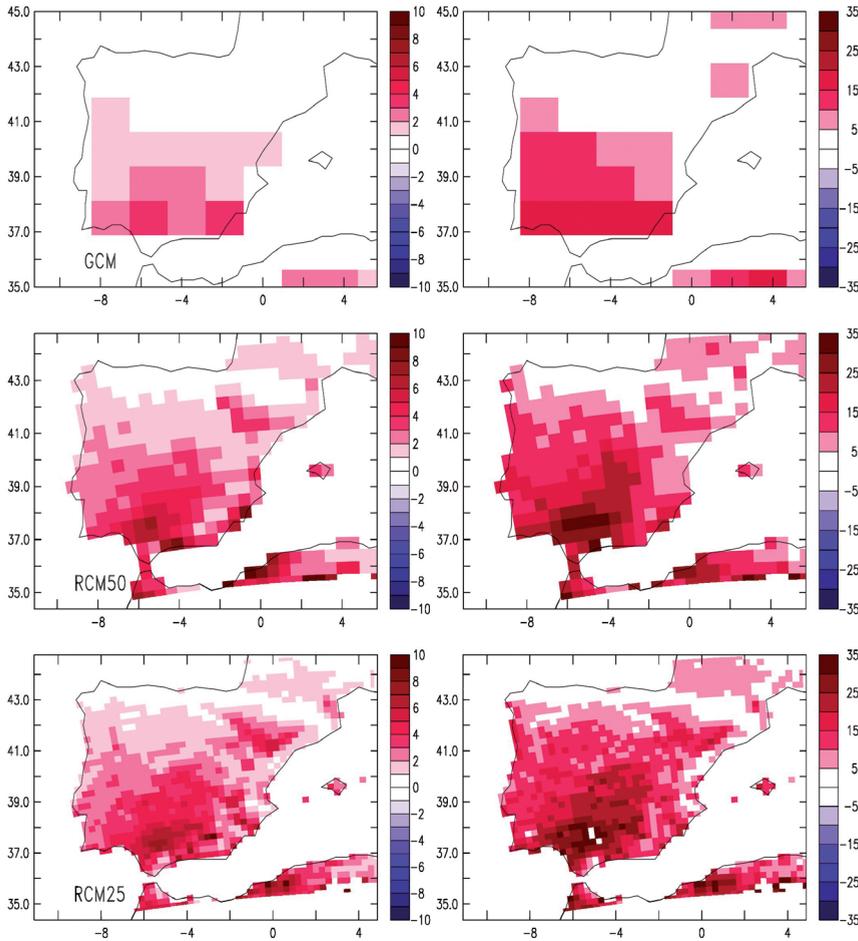


FIG. 3: Columna de la izquierda como figura 1, y columna de la derecha como figura 2, pero para el cambio en los resultados de las simulaciones para clima futuro (2071-2100) menos clima presente (1961-1990).

Es interesante resaltar también que, no obstante, los modelos regionales muestran algunos detalles diferentes del GCM, pues la zona de cambios pequeños la muestran más limitada a la zona costera del Cantábrico, mientras que el GCM no da cambios importantes para el tercio norte. Los valores de cambio son también superiores para los RCMs, así como la estructura relativa a ciertos aspectos orográficos, como el valle del Guadalquivir.

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados muestran como los modelos son capaces de reproducir los diferentes aspectos relativos a la estructura de los episodios secos sobre la Península Ibérica para el clima presente (1961-1990). No obstante, las simulaciones mediante el modelo regional muestran valores claramente más cercanos a las observaciones que el GCM, tanto en la estructura espacial como en los valores obtenidos en las diferentes regiones del dominio. El ajuste de la distribución de periodos secos a una función Weibull permite analizar periodos secos máximos asociados a un periodo de retorno dado.

Los resultados de episodios secos más largos de nuevo muestra un mejor resultado para los RCMs, por lo que este trabajo puede ser un indicativo del valor añadido de los modelos regionales frente a los modelos globales.

Para el escenario de cambio climático A2, para finales del siglo XXI indica un aumento tanto de los episodios medios como de los episodios más largos, siendo mayores cuanto más al sur del dominio.

### Agradecimientos

Los resultados de este trabajo provienen del proyecto europeo PRUDENCE (FP5, contrato EVK2-2000-00132), y de fondos del proyecto regional de la Junta de Castilla-La Mancha (POII10-0255-8836)

### REFERENCIAS

- Abaurrea J, Cebrián AC (2002). “Drought analysis based on a cluster Poisson model: distribution of the most severe drought”. *Clim Res* 22:227–235
- Anagnostopoulou C, Maheras P, Karacostas T, Vafiadis M (2003). “Spatial and temporal analysis of dry spells in Greece”. *Theor Appl Climatol* 74:77–91
- Beniston M, Stephenson DB, Christensen OB, Ferro CAT, Frei C, Goyette S, Halsnaes K, Holt T, Jylhä K, Koffi B, Palutikof JP, Schöll R, Semmler T, Woth K (2007). “Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections”. *Clim Change* 81(S1):71–95
- Blenkinsop S, Fowler HJ (2007). “Changes in European drought characteristics projected by the PRUDENCE regional climate models”. *Int J Climatol* 27:1595–1610
- Boberg F, Berg P, Thejll P, Gutowski WJ, Christensen JH (2010). “Improved confidence in climate change projections of precipitation further evaluated using daily statistics from the ENSEMBLES models”. *Clim Dyn* 35:1509–1520. doi:10.1007/s00382-009-0683-8
- Castro M, Gallardo C, Jylhä K, 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”. *Clim Change* 81(S1):329–341
- Cebrián AC, Abaurrea J (2006). “Drought analysis based on a marked cluster Poisson model”. *J. Hydrometeorol* 7:713–723
- Christensen JH, Christensen OB (2007). “A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate during this century”. *Clim Change* 81(S1):7–30
- Deni SM, Jemain AA, Ibrahim K (2008). “The spatial distribution of wet and dry spells over Peninsular Malaysia”. *Theor Appl Climatol* 94:163–173
- Gao X, Giorgi F (2008). “Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution simulations with a regional climate model”. *Glob Planet Change* 62:195–209
- Gao X, Pal JS, Giorgi F (2006) “Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation”. *Geophys Res Lett* 33(L03706). doi:10.1029/2005GL024954
- Haylock, M., Hofstra N, Klein-Tank AMG, Klok EJ, Jones PD, New M(2008). “A European daily high resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation for 1950–2006”. *J Geophys Res* 113(D20119). doi:10.1029/2008JD010201
- Herrera S, Fita L, Fernández J, Gutiérrez JM (2010) “Evaluation of the mean and extreme precipitation regimes from the ENSEMBLES regional climate multimodel simulations over Spain”. *J. Geophys Res* 115(D21117). doi:10.1029/2010JD013936
- Herrera S, Gutiérrez JM, Ancell R, Pons MR, Frías MD, Fernández J (2012). “Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02)”. *Int J Climatol*. 32, 74-85. doi:10.1002/joc.2256

- Huth R, Kyselý J, Pokorná L (2000). "A GCM simulation of heatwaves, dry spells, and their relationships to circulation". *Clim Change* 46:29–60
- Keyantash J, Dracup JA (2002). "The quantification of drought: an evaluation of drought indices". *Bull Am Meteorol Soc* 83:1167–1180
- Lana X, Martínez MD, Burgueño A, Serra C, Martín-Vide J, Gómez L (2006) "Distributions of long dry spells in the Iberian Peninsula, years 1951–1990". *Int J Climatol* 26:1999–2021
- Lana X, Martínez MD, Burgueño A, Serra C, Martín-Vide J, Gómez L (2008) "Spatial and temporal patterns of dry spell lengths in the Iberian Peninsula for the second half of the twentieth century". *Theor Appl Climatol* 91:99–116
- Martín-Vide J, Gómez L (1999) "Regionalization of peninsular Spain based on the length of dry spells". *Int J Climatol* 19:537–555
- Martín-Vide J (2004) "Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain". *Int J Climatol* 24:959–971
- Mavromatis T (2010). "Use of drought indices in climate change impact assessment studies: an application to Greece". *Int J Climatol* 30:1336–1348
- Nakicenovic N, Swart R (eds) (2000) Emissions scenarios. A special report of working group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge
- Pope V, Gallani M, Rowntree P, Stratton R (2000) "The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model: HadAM3". *Clim Dyn* 16:123–146
- Rodríguez-Puebla C, Encinas AH, Nieto S, Garmendia J (1998) "Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula". *Int J Climatol* 18:219–316
- Rowell DP (2006). "A demonstration of the uncertainty in projections of UK climate change resulting from regional model formulation". *Clim Change* 79:243–257
- Sánchez E, Gallardo C, Gaertner MA, Arribas A, Castro M (2004) "Future climate extreme events in the Mediterranean simulated by a regional climate model: a first approach". *Glob Planet Change* 44:163–180
- Sánchez, E., M. Domínguez, R. Romera, N. López de la Franca, M. A. Gaertner, C. Gallardo y M. Castro (2011). "Regional modelling of dry spells over the Iberian Peninsula for present climate and climate change conditions", *Clim. Change*, 107: 625–634
- Schmidli J, Frei C (2005). "Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century". *Int J Climatol* 25:753–771
- Tapiador FJ, Sánchez E, Gaertner MA (2007) "Regional changes in precipitation in Europe under an increased greenhouse emissions scenario". *Geophys Res Lett* 34:L06701. Doi: 10.1029/2006GL029035
- Trigo RM, Palutikof JP (2001) "Precipitation scenarios over Iberia: a comparison between direct GCM output and different downscaling techniques". *J Climate* 14:4422–4446
- Vicente-Serrano SM (2006) "Differences in spatial patterns of drought on different time scales: an analysis of the Iberian Peninsula". *Water Resour Manag* 20:37–60
- Vicente-Serrano SM, Cuadrat-Prats JM (2007) "Trends in drought intensity and variability in the middle Ebro valley (NE of the Iberian Peninsula) during the second half of the twentieth century". *Theor Appl Climatol* 88:247–258
- Von Storch H, Zwiers F (1999) Statistical analysis in climate research. Cambridge University Press, Cambridge