

## ***Probabilistic assessment of the influence of metrics and RCMs combination on rainfall projections in Spain***

**P. Olmos<sup>(1)</sup>, S. García <sup>(1)</sup>, J. D. Giraldo <sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidad Politécnica de Cartagena, Grupo de I+D+i Gestión de Recursos Hídricos, Unidad Predepartamental de Ingeniería Civil. Paseo Alfonso XIII, 52. 30203. Cartagena, España. patricia\_olmos@live.com

<sup>(2)</sup> Pontificia Universidad Javeriana, Departamento de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia.

### **Resumen**

Los modelos hidrológicos exhiben gran sensibilidad a la precipitación. Esta es una de las principales razones para intentar mejorar las proyecciones de precipitación provistas por los Modelos Climáticos Regionales (RCMs en inglés). En el presente trabajo, se han desarrollado metodologías innovadoras para la generación de combinaciones o *ensemble* multimodelo de RCMs, permitiendo reducir las incertidumbres asociadas al cambio climático. Se realizó un análisis de sensibilidad a partir de multimodelos de precipitación, teniendo en cuenta dos formulaciones diferentes del factor de fiabilidad (R). La primera formulación se basa en funciones de distribución estacionales y anuales, mientras que la segunda considera funciones de distribución mensuales. Se ha evaluado la bondad del ajuste mediante dos métricas diferentes. Desde los resultados obtenidos, se ha identificado el método más robusto en la construcción probabilística de ensembles de precipitación para el período 1961-1990. Desde las proyecciones, se vislumbran plausibles disminuciones de las precipitaciones medias anuales para el periodo 2021-2050 en la España Peninsular. En conclusión, el método desarrollado facilita el estudio de los cambios en el patrón espacio-temporal de precipitaciones proyectadas para regiones de gran extensión.

**Palabras clave:** cambio climático; ensemble PDF; Península Ibérica.

### **Abstract**

Hydrologic models are recognised to be highly sensitive to rainfall. It is one of the main reasons to improve the projections of rainfall provided by Regional Climate Models (RCMs). In the present work, innovative methodologies are developed to build RCMs ensemble as a way for reducing the involved uncertainties of climate change. A sensitivity exercise from multimodel rainfall ensemble, considering two different formulations of the reliability factor (R), is performed. The first method is based on seasonal and yearly cumulative distribution functions (CDFs), while the second one relies on monthly CDFs. The goodness of fit is evaluated considering two different metrics. The most robust method for building rainfall CDFs of rainfall PDF ensemble, for time period 1961-1990, is identified. The results indicate that a widespread decrease throughout continental Spain of the mean annual rainfall, for 2021-2050 period, is projected. In conclusion, the proposed tool appears to provide more confidence in the RCM-projections related to the spatio-temporal changes in rainfall over extended regions.

**Keywords:** climate change; ensemble PDF; Iberian Peninsula.

## **1. Introducción**

La Península Ibérica es un área sometida a contrastes estacionales extremos. Como resultado de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero y su ubicación geográfica, se esperan grandes cambios en la temperatura y las precipitaciones a lo largo del siglo. Para España, varios autores pronostican impactos negativos en la precipitación. Una disminución sustancial de aproximadamente el 30%, al final del siglo, con un patrón no uniforme en el espacio y el tiempo es previsto [1]. Además, una disminución plausible de precipitaciones superior al 15% sobre la Península Ibérica durante la estación húmeda se ha pronosticado [2].

En los últimos años, para aumentar la confiabilidad de las proyecciones climáticas e hidrológicas, metodologías de conjuntos de Modelos Climáticos Regionales (RCMs en inglés) consistentes en la producción de Funciones de Densidad de Probabilidad o Funciones de Distribución Acumulativa (PDF o CDF), se están llevando a cabo. En España, diferentes estudios se han realizado utilizando los conjuntos de RCMs en los períodos secos [3-5]. Sin embargo, son pocos los intentos para reproducir la precipitación media con conjuntos de RCMs sobre la Península Ibérica [6].

El objetivo principal de este trabajo es mejorar la confiabilidad de las proyecciones de series temporales de precipitación en España. Para

alcanzar este objetivo, dos metodologías innovadoras de conjuntos de RCMs se construyeron, usando promedios ponderados, donde el peso del modelo depende en medida alguna del rendimiento, y se consideraron dos métricas diferentes para medir el rendimiento del modelo. Los métodos fueron evaluados en base a su capacidad de reproducir la variabilidad espacial de las precipitaciones, mensual y estacional, para el periodo de referencia. Una vez seleccionado el mejor método, se presentan y se comentan los cambios plausibles proyectados entre el periodo de referencia y el horizonte temporal 2021-2050.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Área de estudio y bases de datos

España se caracteriza por una compleja orografía, influenciada por ambos climas atlántico y mediterráneo. Estos factores producen una variabilidad del clima local marcado con un gradiente significativo de precipitación Noreste-Sureste, con valores superiores a 1600 mm/año en el Oeste de los Pirineos, la costa Cantábrica y la región de Galicia, hasta valores inferiores a 250 mm/año en el Sureste.

Las bases de datos meteorológicas observadas de precipitación correspondieron a Spain02 (período 1950-2007) de la Península Ibérica, con una resolución espacial de 20 por 20 km [7]. Los RCMs fueron proporcionados por el Proyecto Europeo ENSEMBLE [8]. Se trabajó con los diecisiete modelos seleccionados para realizar estudios en España [3], todos con un tamaño de celda de 25 por 25 km, escenario de emisiones A1B y periodo 1961-2050.

### 2.2 Cálculo del PDF ensemble

El método REA (Reliability Ensemble Averaging) [9] proporciona una medida de la fiabilidad, la media y el rango de incertidumbre del cambio climático simulado a partir de conjuntos de RCMs. En este trabajo se presenta una modificación del método original con el fin de mejorar algunas limitaciones. Esencialmente, el nuevo modelo abandona el uso del criterio de convergencia a futuro como ya hizo otro autor [10] y se mejora la forma en que se calculan los pesos del modelo. Los cálculos del factor de fiabilidad del modelo  $R_i$  están basados en funciones de distribución acumuladas empíricas (e-CDF) estacionales y anual (Eq. 1) o mensuales (Eq. 2), y una medida cuantitativa del grado de

ajuste entre las funciones de probabilidad. Los e-CDF fueron construidos desde datos observados y RCMs para el periodo de control 1961-1990.

$$R_{estacional\ i} = (R_{inv} R_{pri} R_{ver} R_{oto} R_{anual})^{\frac{1}{5}} \quad (1)$$

$$R_{i(mensual\ i)} = (R_{ene} R_{feb} R_{mar} R_{abr} R_{may} R_{jun} R_{jul} R_{ago} R_{sep} R_{oct} R_{nov} R_{dec})^{\frac{1}{12}} \quad (2)$$

Las métricas para estimar el desempeño de los modelos corresponden al valor p del test de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov (SK) para dos muestras [11], y al índice de habilidad (Score) propuesto por Perkins [12]. Como ejercicio de sensibilidad, hemos considerado cuatro formulaciones diferentes de  $R_i$ , correspondientes a distintas combinaciones de las métricas y de las ecuaciones (Tabla 1).

La probabilidad asociada a un cambio simulado por el RCM es proporcional a  $R_i$ . El factor de fiabilidad normalizado  $P_m$  [9] puede ser interpretado como la probabilidad asociada a cada RCM. Por último, para la construcción de ensembles, se le dio más peso a los RCM con mayor  $P_m$ , utilizando técnicas de bootstrapping.

## 3. Resultados y Discusión

### 3.1 Evaluación del impacto de las diferentes metodologías ensemble en la precipitación

Dos metodologías fueron utilizadas para calcular el factor  $R_i$ :  $R_{estacional}$  y  $R_{mensual}$ . Por lo tanto, es útil evaluar la sensibilidad a los diferentes supuestos.

Los mapas de  $R_i$  dan una idea general sobre la fuerza de cada RCM para modelar la precipitación sobre todos los sitios de la red. Por ello, se contrastó la distribución espacial de los valores de  $R_{estacional}$  ( $R1$ ) con los mapas de  $R_{mensual}$  ( $R3$ ) para cada RCM, construidos ambos con la métrica del test de SK (resultados no mostrados). En ambos casos, los mapas muestran distribuciones espaciales muy similares, pero el rango de valores de  $R_{mensual}$  va de valores inferiores a 0.001 hasta 0.6, con valores excepcionalmente superiores a 0.6, sin embargo, el rango de valores de  $R_{estacional}$  abarca desde valores de 0.2 a valores superiores a 0.8.

También se han analizado los mapas de  $R_i$  para la métrica  $S_{score}$  (no mostrados). De nuevo se observan diferencias en la dispersión entre los mapas  $R_{estacional}$  ( $R2$ ) y  $R_{mensual}$  ( $R4$ ).

### 3.2 Evaluación del impacto de las diferentes métricas en la precipitación

Se han presentado dos métricas para calcular los pesos en el PDF ensemble: valor  $p$  del test de SK y Sscore. Los parámetros utilizados para evaluar el acuerdo del PDF dan valores entre [0,1], siendo la unidad el acuerdo perfecto entre los PDF de los modelos y los PDF de los datos observados.

La principal diferencia que se encontró entre las métricas utilizadas fue que el valor  $p$  de SK (R1) tiene valores abarcando varias escalas, mientras que los valores Sscore (R2) están contenidos en una escala comparable general.

Además, la similaridad distribucional entre el ensemble y los datos observados con los CDFs de lluvia fue estudiada en detalle. Cuando la métrica utilizada es  $p$  de SK (R1), el CDF observado y ensemble reflejan una notable bondad de ajuste en la mayoría de los sitios. Esto no ocurre, sin embargo, si la métrica es Score (R2).

Después de calcular los ensembles, para completar el estudio de las diferentes métricas, se construyeron los mapas de diferencias de la media (test T), anuales y estacionales, entre la precipitación observada y la simulada. En la Fig. 1 se muestran los mapas de diferencias de medias anuales para el período 1961-1990 de todos los casos. Se puede observar, que los mapas obtenidos con la métrica Sscore (R2 y R4) presentan mayores diferencias (%) que con  $p$  de SK (R1 y R3) en todo el territorio español, y además muestran una mayor zona donde las diferencias son significativas (áreas sombreadas). A pesar de las diferencias entre las métricas, ambos enfoques sugieren que el verano es la temporada en la que se obtuvieron diferencias menos significativas (no mostrado), y que los mapas anuales mostraron las mayores diferencias.

Si se tiene en cuenta los esquemas ensemble, se observa que entre R1 y R3 hay diferencias, obteniéndose mejores resultados cuando se trabaja con la *Restacional*.

### 3.3 Evaluación de tendencia para el escenario de precipitaciones (2021-2050)

Una vez analizadas las distintas combinaciones, y escogida R1, pues es la que mejores resultados de precipitación ensemble ofreció para el período 1961-1990, se proyectaron los cambios de precipitación para el período 2021-2050. En la Fig. 2, se observan disminuciones significativas del valor medio de precipitación para prácticamente todo el territorio español, a

excepción de algunas áreas de la submeseta norte, Sistema Ibérico, la depresión del Ebro y el sureste. Las mayores disminuciones se prevén en el suroeste de España.

## 4. Conclusiones

Desde los resultados obtenidos, se concluye que el parámetro clave en el análisis de sensibilidad realizado resultó ser la métrica. Siendo por tanto el ensemble de precipitación mucho más sensible a este parámetro, obteniéndose mejores resultados con la  $p$  de SK. Con respecto al esquema del ensemble, se deducen mejores resultados cuando se emplea *Restacional*. De ambos análisis se puede concluir, que la combinación de métrica y esquema que ofrece una mejor bondad en el ajuste de las funciones de distribución, para el período de referencia fue R1. Por último, este multi-modelo ensemble (escenario A1B) fue el empleado en la generación de las proyecciones. Una plausible disminución en las precipitaciones medias para el horizonte 2021-2050, se espera para el territorio español.

## 5. Agradecimientos

Se agradece el soporte recibido desde el proyecto CGL2012-39895-C02-01 Evaluación de variabilidad hidroclimática desde combinaciones multimodelo climáticas regionales (HYDROCLIM), financiado por la Secretaría de Estado de Investigación del Ministerio de Economía y Competitividad (España), y fondos FEDER.

## 6. Referencias bibliográficas

- [1] Osca J., Romero R., Alonso S. 2013. Precipitation projections for Spain by means of a weather typing statistical method. *Global and Planetary Change* 109, 46–63
- [2] Giorgi F, Bi X, Pal J. 2004. Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II: climate change scenarios (2071–2100). *Clim Dynam* 23:839–858
- [3] Giraldo Osorio J. D., García Galiano S. G. 2012. Assessing uncertainties in the building of ensemble RCMs over Spain based on dry spell lengths probability density functions. *Clim Dyn* 40:1271–1290. DOI 10.1007/s00382-012-1381-5
- [4] Domínguez M, Romera R, Sánchez E, Fita L, Fernández J, Jiménez-Guerrero P, Montávez JP, Cabos WD, Liguori G, Gaertner MÁ (2013) Present-climate precipitation and temperature extremes over Spain from a set of high resolution

RCMs. Clim Res 58:149–164. doi:10.3354/cr01186

[5] López-Franca N, Sánchez E., Losada T., Domínguez M., Romera R, Gaertner M. A. 2014. Markovian characteristics of dry spells over the Iberian Peninsula under present and future conditions using ESCENA ensemble of regional climate models. *Clim Dyn*. DOI 10.1007/s00382-014-2280-8.

[6] 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(D21):D21,117. doi:10.1029/2010JD013936

[7] Herrera S., Gutierrez JM., Ancell R., Pons MR., Frias MD., Fernandez J. 2012. Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02). *Int J Climatol*. doi:10.1002/joc.2256.

[8] Christensen J. H., Rummukainen M., and Lenderink G. 2009. Formulation of veryhigh - resolution regional climate model ensembles for Europe. In *ENSEMBLES: Climate change and its impacts at seasonal, decadal and centennial timescales: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*, edited by: van der Linden, P. and Mitchell, J. F. B., Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK, 47–58.

[9] Giorgi F, Mearns LO. 2003. Probability of regional climate change based on reliability ensemble averaging (REA) method. *Geophys Res Lett* 30(12):311–314

[10] Xu Y., Gao X., Giorgi F. 2010. Upgrades to the reliability ensemble averaging method for producing probabilistic climate-change projections. *Clim Res* 41:61–81.

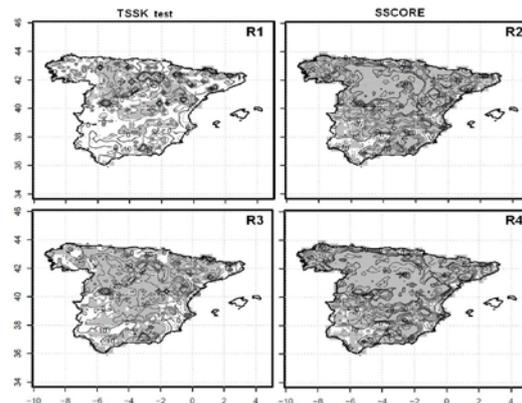
[11] Sheskin DJ. 2000. *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures*, 2nd edn. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton.

[12] Perkins SE, Pitman AJ, Holbrook NJ, McAneney J. 2007. Evaluation of the AR4 climate models' simulated daily maximum temperature, minimum temperature, and precipitation over Australia using probability density functions. *J Clim* 20:4356–4376.

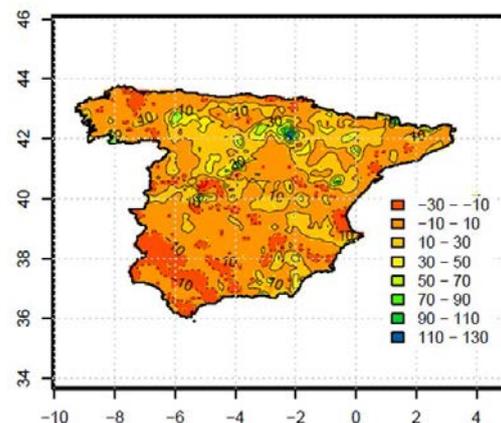
## Tablas y Figuras

**Tabla 1.** Diferentes formulaciones para el cálculo de  $R_i$

Métodos	Parámetros
R1	$R_{estacional}$ y test SK
R2	$R_{estacional}$ y Sscore
R3	$R_{mensual}$ y test SK
R4	$R_{mensual}$ y Sscore



**Figura 1.** Mapas de diferencias de medias de precipitaciones para el periodo 1961-1990, evaluados como  $[100 * (mapEns - mapObs) / mapObs]$ . Las áreas sombreadas representan diferencias significativa (95% intervalo de confianza)



**Figura 2.** Mapa de porcentaje de cambio de precipitaciones medias, evaluado como  $[100 * (mapEns_{2021-2050} - mapObs_{1961-1990}) / mapObs_{1961-1990}]$ .