

Proyecciones de cambio climático del caudal de invierno del río Duero

Rubén Cruz García

Departamento de Física Aplicada, Universidad de Granada

Resumen: En las últimas décadas, el interés en las proyecciones del clima futuro y sus impactos en los recursos hídricos ha crecido como medio para identificar estrategias de mitigación y adaptación adecuadas, por ejemplo, en lo concerniente a las actividades hidrológicas y agrícolas. Motivados por esta razón, en este trabajo se han obtenido proyecciones de cambio climático del caudal de invierno del río Duero, para el período 2071-2099, utilizando el método de Regresión de Componentes Principales (PCR).

Las series temporales del caudal de invierno (promedio de enero a marzo) de ocho estaciones distribuidas a lo largo de la cuenca, en el período 1950-2011, se han utilizado como variables a predecir, mientras que las componentes principales (PCs) de las anomalías de la presión a nivel del mar (SLP) en invierno (promedio de diciembre a febrero) se utilizaron como predictores del caudal para el desarrollo de un modelo de *downscaling* estadístico. El período 1950-1995 se utilizó para la calibración del modelo de regresión, mientras que 1996-2011 se utilizó para la validación. En general, los coeficientes de correlación entre los valores observados y los predichos son alrededor de 0.75, siendo los errores más altos debidos a las estimaciones de los picos de caudal máximo.

Por último, se ha aplicado el modelo de *downscaling* estadístico obtenido a partir de los datos observacionales de la SLP a los datos de SLP procedentes de las salidas de los modelos de circulación general (GCMs) MIROC5, CESM1 y IPSL-CM5A-MR, para el período 2071-2099, bajo los escenarios de cambio climático RCP2.6, RCP4.5 y RCP8.5. El principal resultado obtenido es una disminución generalizada del caudal de invierno del río Duero para todos los modelos y escenarios.

Palabras clave: Río Duero, caudal, *downscaling* estadístico, cambio climático.

Introducción

El actual cambio climático es una realidad, que puede ser demostrada por una serie de indicadores, que incluyen respuestas físicas como los cambios en la temperatura terrestre o en el nivel del mar. Según el IPCC (2013), el cambio climático puede dar lugar a otros efectos que serían también indicadores del mismo como los eventos extremos, la acidificación de los océanos o la pérdida de superficie de los glaciares.

Por esta razón, en las últimas décadas, el interés en las proyecciones del clima futuro y sus impactos ha crecido como medio para identificar estrategias de mitigación y adaptación adecuadas. Se hace especial hincapié en el impacto del cambio climático en los recursos hídricos, que se manifestará no solo en la variación de la cantidad de los mismos, sino también en la alteración de la calidad y su distribución espacial (Moreno et al., 2005). En el caso de España, gran parte de los ríos y embalses se encuentran al límite de la sobreexplotación (MIMAM, 1998). Esto, unido al aumento de la demanda del agua y al descenso de su disponibilidad ha hecho que se empiecen a llevar a cabo medidas económicas, sociales y técnicas más allá de las fronteras de cada país.

Los modelos de circulación general (GCMs) son las herramientas matemáticas más avanzadas de las que disponemos para proyectar el clima futuro. Estos modelos tienen en cuenta el conocimiento del sistema climático y simulan las interacciones entre sus distintos componentes para hacer predicciones y proyecciones climáticas. Para realizar proyecciones de cambio climático también son necesarios distintos escenarios climáticos sobre los que proyectar los posibles cambios.

Centrando la atención en el ámbito de estudio, el Duero es uno de los ríos más importantes de la Península Ibérica, que cuenta con la cuenca más extensa con un área de 97290 Km². En vista de su importancia, existe la necesidad de plantear como objetivo principal la obtención de proyecciones de cambio climático del caudal de invierno del río Duero para el período 2071-2099.

Por otra parte, también se establecen otros objetivos secundarios:

- Analizar la existencia de relaciones entre diferentes patrones de teleconexión y el caudal de invierno del río Duero.
- Evaluar la capacidad de la variabilidad de la presión a nivel del mar (SLP) en la región del Atlántico Norte para predecir el caudal de este río.
- Evaluar la capacidad de tres GCMs (MIROC5, CESM1 and IPSL-CM5A-MR) del Quinto informe del IPCC (2013) para simular la presión a nivel del mar (SLP) en la región del Atlántico Norte.

- Ajustar modelos de *downscaling* para simular el caudal de invierno del río Duero para el periodo histórico (1951-2005), y consecuentemente obtener su sesgo en referencia a esta variable.
- Evaluar la habilidad de los modelos de *downscaling* para simular el caudal de invierno del río Duero.

Datos

La base de datos de caudal utilizada ha sido proporcionada por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). En ella se han considerado ocho series provenientes de estaciones de aforo y embalses con menos de un 5% de datos faltantes (rellenados mediante regresión con estaciones vecinas bien correlacionadas). Para estos valores de caudal se calculó el promedio estacional de invierno (enero, febrero y marzo). Como variable predictora del caudal se usó la SLP de los datos de reanálisis del NCEP, promediada de diciembre a febrero, en el periodo 1950-2011.

Para obtener las proyecciones de cambio climático se han usado las salidas de la SLP de los modelos MIROC5, CESM1 y IPSL-CM5A-MR (2071-2099), aunque también utilizamos las salidas del periodo histórico (1951-2005) para la evaluación de los modelos. Tanto para la SLP del reanálisis, como la de los modelos, se utilizó la extensión espacial correspondiente a 20°N-90°N de latitud y una longitud de 110°O-70°E. El modelo de *downscaling* obtenido a partir de los datos de reanálisis se aplicó a las salidas de clima presente y a las correspondientes a los escenarios de emisión RCP2.6, RCP4.5 y RCP8.5.

Por último, cabe mencionar que se utilizaron las series mensuales de los índices de teleconexión NAO, EA, EA-WR y SCAND del Centro de Predicción Climática (CPC) del NCEP.

Metodología

El esquema metodológico a seguir para la obtención del modelo estadístico de *downscaling* es la Regresión de Componentes Principales (PCR). Esta técnica consiste básicamente en obtener un modelo de regresión múltiple para simular el caudal, en el que nuestras variables predictoras serán las componentes principales (PCs) de la SLP de invierno, y el predictando el caudal de invierno de cada estación. Esta metodología evita los problemas ligados a la colinealidad de los predictores, ya que las PCs no están correlacionadas. El período de calibración del modelo fue 1950-1995, mientras que el de validación fue 1996-2011. Además, el modelo fue recalibrado para el período completo (1950-2011). Un aspecto clave es la elección del número de PCs a retener, y aunque no hay reglas definitivas para dicha elección, se tuvo en cuenta que explicaran

un alto porcentaje de varianza y una correlación significativa entre las diferentes PCs con las series de caudal.

Una vez ajustado, el modelo de predicción ha sido aplicado a la SLP de invierno de las salidas de clima presente de los GCMs MIROC5, CESM1 y IPSL-CM5A-MR (1951-2005). Esto nos permitió hallar el sesgo que podemos esperar de la modelización, que se tuvo en cuenta al obtener las proyecciones de cambio climático aplicando el modelo de *downscaling* a las salidas de los GCMs para el período 2071-2099.

Resultados y conclusiones

El análisis de los patrones espaciales de la SLP promedio de los datos del reanálisis (1950-2011) y los de los datos de los modelos (1951-2005), muestra que todos ellos representan esencialmente la misma estructura dipolar de la SLP sobre la región del Atlántico Norte, aunque el MIROC5 y el IPSL-CM5A-MR presentan variaciones en la intensidad de los principales centros de acción.

El Análisis de Componentes Principales (PCA) ha permitido la comparación de la variabilidad climática reproducida por los datos de reanálisis y de los modelos mediante el análisis de Funciones Empíricas Ortogonales (EOFs). Se han retenidos los primeros seis modos, que explican el 85.7% de la varianza total de los datos de reanálisis. Comparando éstos y los correspondientes a cada uno de los modelos, se puede observar que en general los tres modelos representan con acierto los patrones de los EOFs con mayores porcentajes de variabilidad.

Para explorar el significado físico de estos modos espaciales, se han calculado las correlaciones entre las series de las PCs del reanálisis y los índices de teleconexión NAO, EA, EA-WR y SCAND, para el período 1951-2010. En general, el primer EOF se encuentra altamente ligado con la NAO ($r=0.55$). También el EA y el EA-WR, aunque en menor proporción, $r=-0.33$ y $r=-0.27$, respectivamente.

De cara a seleccionar los predictores adecuados para el modelo de regresión, se obtuvieron las correlaciones entre distintas estaciones de caudal y las seis primeras PCs de la SLP del NCEP. Aquellas que mostraron una correlación significativa al 95%, fueron elegidas.

Se construyó el modelo de predicción del caudal de invierno para cada localidad mediante PCR. En general, para todas las localidades el modelo funciona adecuadamente, aunque cabe destacar que falla claramente al estimar los valores pico correspondientes a años muy lluviosos, hecho este que ocasiona la mayor contribución a los altos valores del error cuadrático medio (RMSE) obtenidos entre los valores predichos por el modelo y observados de caudal.

Finalmente, se aplicó el modelo de *downscaling* obtenido a los datos de la SLP de invierno de los GCMs, tanto en clima presente (1951-2005) como futuro (2071-2099), obteniendo así las proyecciones del caudal de invierno del río Duero, y considerando el sesgo que posee cada uno de los modelos.

Como conclusiones de este trabajo tenemos las siguientes:

- La Oscilación del Atlántico Norte (NAO) es el patrón de teleconexión que controla principalmente la variabilidad de la precipitación de invierno en la parte oeste de la Península Ibérica, y por lo tanto, está directamente relacionada con el caudal estacional de invierno del río Duero.
- Para el modelo de *downscaling*, hay una mejora en el modelo de regresión durante el período de verificación después de haberlo recalibrado para el período completo. Sin embargo, el modelo falla al estimar valores pico relacionados con años muy lluviosos.
- Los modelos CESM1 y IPSL-CM5A-MR presentan una clara infraestimación del caudal de presente, mientras que el MIROC5 muestra importantes sobreestimaciones. Este sesgo tiene efectos en los resultados de las proyecciones de futuro.
- Los GCMs MIROC5, CESM1 y IPSL-CM5A-MR muestran claramente descensos generalizados del caudal de invierno del río Duero para el período 2071-2099, bajo los escenarios RCP2.6, RCP4.5 y RCP8.5.

A modo de resumen, cabe decir que, en general, se obtienen descensos del caudal de invierno del río Duero para todos los modelos y escenarios considerados, así como para todas las estaciones de aforo y embalses seleccionados, particularmente significativos estadísticamente para el escenario RCP8.5 y el modelo MIROC5.

Referencias

- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Al len, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex V., Midgley, P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- MIMAM (1998). *El Libro Blanco del Agua en España*. Ministerio de Medio Ambiente. Diciembre. Madrid, España.
- Moreno, J. M., De la Rosa, D., Zazo, C., et al. (2005). Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático.