

# Estudio de tendencias en las series de caudales de la Cuenca Hidrográfica del Duero (España)

Kevin Bórnez Mejías

*Máster en Geofísica y Meteorología. Departamento de Física Aplicada, Universidad de Granada, Fuentenueva s/n, 18071, Granada, España*

## Abstract

In the given work, there will be a trend analysis of the flow in the hydrographic basin of the Duero River (Spain), the largest one in the Iberian Peninsula. That is, due to the objective of analysing the possible relationships between the precipitations decreasing, that is associated to climate change, with the evolution of the flow in the basin, through the analysis of the flow measures in rivers and reservoirs.

In total, we have 23 sampling stations at our disposal (measures in Duero river and reservoirs). The data of basin for this season have been obtained from two different sources: the first one "Plan Hidrológico del Duero (PHD)" and the second one comes from CEDEX. In order to do the trend analysis, there were used two different methods: The simple linear regression one and the method which uses the test of Mann-Kendall and the Sen Slope.

To sum up, the data used in this analysis show us the negative trends of flows for the last 60-70 years in Duero River. They can be associated to the actual climate change, which comes with higher temperatures and less rainfalls in the region. Furthermore, we should mention the importance of the negative trends of flow found during the summer season. However, during the autumn we would notice an increase of flows in the whole basin.

**Keywords:** Duero river basin, flows, global climate change, reservoirs, river, trends

## INTRODUCCIÓN

La evaluación de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos y la utilización que se hace del agua, están siendo uno de los temas que más preocupan actualmente a la sociedad (Pisani et al, 2014). Debido a ello, en las últimas décadas, ha surgido un notable interés por la predictibilidad estacional de la variabilidad del caudal de los ríos (Gámiz-Fortis et al, 2010, 2011; Hernández-Martínez et al., 2015). El sistema hídrico actúa como un elemento integrador desde el punto de vista espacio temporal en lo que se refiere a elementos climáticos, como son las precipitaciones, las temperaturas o la evapotranspiración de una determinada zona. De esta forma, el caudal de un río o la reserva de un embalse, bien sea a escala anual o estacional, dependerá de toda una serie de elementos tanto físicos (climáticos, hidrogeológicos, etc.), como antrópicos (utilización de los recursos hídricos).

A través del trabajo de investigación presentado, junto a este documento, se ha llevado a cabo un análisis de tendencias para los caudales en la cuenca del Río Duero en el periodo 1940-2006, a escala anual y estacional. La elección del área de estudio está fundamentada en el interés que presenta esta cuenca desde el punto de vista científico, ya que se constituye como la más grande de la Península Ibérica. Los estudios publicados por el IPCC (2007, 2013), muestran una gran variabilidad climática que por lo general se puede extrapolar al conjunto de la región Mediterránea, y que ha sido frecuentemente asociada a descensos generalizados de la precipitación durante la segunda mitad del siglo pasado, tal y como señalan algunos estudios (Xoplaki et al., 2004). Descensos que parecen ser más acusados en invierno. De ahí se deduce que el patrón generalizado de disminución de los caudales durante el invierno y la primavera en la Península Ibérica puede estar asociado en alguna medida con las tendencias negativas de la precipitación (Rodrigo y Trigo, 2007). Por ello, la evaluación de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos y la utilización que se hace de los mismos, trasciende el interés científico siendo uno de los temas que más preocupan desde el punto de vista político y social.

En este sentido, dado el horizonte de incertidumbre en la disponibilidad de los recursos hídricos, su planificación y gestión sostenible, se establece como tarea fundamental el análisis de la variabilidad espacio-temporal de los mismos, de tal forma que permita confirmar o descartar las posibles tendencias acaecidas en los últimos años. Para ello se ha considerado necesario el análisis de los aforos en el cauce del río Duero, como principal curso colector de la escorrentía superficial de la cuenca, así como el análisis de los embalses, en relación a la variabilidad temporal del caudal de entrada y salida.

## **DATOS**

Para la realización del trabajo se han utilizado dos bases de datos de caudal diferentes. Por un lado el Plan Hidrológico del Duero (PHD), que da la posibilidad de obtener una base de datos de caudales naturales del Duero mediante la restitución del caudal medido a régimen natural a través del uso del modelo hidrológico SIMPA (Sistema Integrado para la Modelación del proceso Precipitación Aportación). Por otro lado, la base de datos del CEDEX, que proporciona caudales mensuales a partir de la medida del mismo en estaciones de aforo y embalses. Con la utilización de ambas bases de datos, PHD y CEDEX, lo que se pretende es realizar una primera comparación, para cada uno de los puntos de aforo seleccionados, tanto en el cauce principal del Río Duero, como para los embalses, entre las series temporales de datos de caudal, de tal forma que se puedan concretar las diferencias existentes entre ambas fuentes de datos, intentando cuantificarlas para saber cómo afectarían dichas diferencias en el estudio posterior de tendencias de caudal.

Como paso previo a la descarga de datos de ambas fuentes de información, ha sido necesario realizar una selección de los puntos de muestreo a analizar, tanto de estaciones aforo, como de embalses. En este sentido, la cifra total de embalses que se encuentran en la Cuenca Hidrográfica del Duero (parte española) es de 90, aunque de estos, tan solo se dispone de registros de caudal en una treintena de ellos. Con respecto a los aforos en el cauce del río Duero, el total es de 27.

De los 57 posibles puntos de estudio (aforos y embalses) se ha realizado una selección final basada en la disponibilidad y completitud de datos de las estaciones en cuestión.

No todas las estaciones inicialmente elegidas han contado con datos suficientes como para llevar a cabo el estudio, por lo que algunas de ellas han quedado descartadas. De esta forma, finalmente, el número de estaciones seleccionadas fueron 23, de las que 18 corresponden a embalses y 5 a aforos en el río Duero.

## **METODOLOGÍA**

Desde el punto de vista metodológico, el trabajo se centró en un primer momento en el en la búsqueda, filtrado, tratamiento y comparación de los datos de caudal obtenidos del PHD y del CEDEX, de tal forma que se pudiera realizar un análisis preliminar de los datos de caudal tanto en embalses como en aforos. Posteriormente, el trabajo se enfocó hacia la detección de tendencias para lo que se han utilizado dos metodologías diferentes: un primer método que usa la regresión lineal simple aplicada tanto a los datos del PHD como del CEDEX, y un método más avanzado para análisis de tendencias en series cortas que combina los test de Mann-Kendall y Sen, para los datos del PHD. Para llevar a cabo este segundo método fue necesario previamente analizar las posibles autocorrelaciones de las series, de tal forma que los resultados no se vieran alterados por las mismas.

## **RESULTADOS**

Los resultados referentes a la comparación de los caudales anuales muestran, en el caso de los embalses, diferencias entre los situados en cabecera y los situados aguas bajo del río Duero. En este sentido, en la mayoría de los embalses de cabecera, los datos del PHD y del CEDEX son similares, como cabría esperar dada la falta de regulación aguas arriba de los mismos. Además, el estudio preliminar de tendencias mediante regresión lineal simple, muestra que, por lo general, hay una tendencia significativa a la disminución de aportes con el tiempo, que es más marcada en las tres últimas décadas. En el caso de los embalses de cabecera, este hecho probablemente se deba a la disminución de las precipitaciones. En el caso de los embalses que no se encuentran en cabecera, sería debido a la combinación de una tasa de precipitación anual menor, junto con la mayor utilización aguas arriba y el posible incremento de la evaporación.

Por otro lado, mediante el análisis de los caudales estacionales se observó que durante el otoño, gran parte de los puntos de muestreo registraban pendientes positivas, mientras que en el resto de estaciones del año los descensos son prácticamente generalizados, destacando la época estival.

Los embalses de cabecera, a través del aumento de las reservas, junto con la utilización para regadío o consumo humano, provocan que aguas abajo el caudal entrante y saliente sea menor, principalmente durante los meses lluviosos, que es cuando se almacena el agua, utilizada posteriormente en los meses secos.

Con respecto al análisis de las series anuales de los 5 aforos del Río Duero, se ha apreciado una tendencia general a la disminución de caudales, menos significativa conforme nos desplazamos aguas arriba. En este sentido, el único aforo con una ligera tendencia creciente es el de Garray (ID.19) que es el que se encuentra más cerca de la cabecera del río. En el caso del análisis estacional, se ha comprobado que durante las estaciones de invierno, primavera y verano, todos los aforos muestran una tendencia

decreciente, menos acentuada en el caso del aforo de Garra. Por el contrario, a excepción de los aforos de Gormaz (ID.20) y Herrera (ID.21), el resto muestra tendencias crecientes durante el otoño. En lo que respecta a la similitud de los datos del PHD y los CEDEX, por lo general, a excepción del verano los datos son muy similares entre ambas fuentes. En el caso de la estación veraniega, los datos muestran mayores diferencias, dado que los caudales registrados en los aforos de cabecera son mayores que los estimados por el modelo SIMPA, mientras que por el contrario, río abajo, los caudales estimados son superiores a los realmente observados en el aforo por el CEDEX, como resultado de la regulación.

Respecto a los resultados obtenidos a partir del análisis de tendencias de los caudales anuales y estacionales del PHD mediante los métodos de Mann-Kendall y Sen, los resultados son similares a los obtenidos mediante el análisis de regresión lineal simple, pero permiten además establecer el nivel de significación de las mismas. Para el caso del caudal anual, se observan tendencias negativas generalizadas en la cuenca, a excepción del embalse de Arlanzón (ID.5) y el aforo de Garra (ID.19), pero que no resultan significativas al nivel de confianza del 90% en la mayoría de los casos.

En el caso del análisis estacional (Figura 1), durante el invierno y la primavera, las tendencias negativas predominan en la cuenca, con mayor significación en el área suroriental, principalmente en invierno. Por el contrario, en la zona noreste de la cuenca se encuentran algunos embalses con ligeras tendencias positivas no significativas al 90%. Durante el verano todas las estaciones muestran tendencias significativas negativas al nivel de confianza del 95%, sobresaliendo toda la franja central y sur, donde dichas tendencias son cercanas al -1%. Finalmente, destaca el otoño, cuando en concordancia con el análisis preliminar de tendencias, a excepción de algunos puntos de muestreo aislados, se observan tendencias positivas, que en la zona norte y noreste de la cuenca resultan significativas al nivel de confianza del 90%.

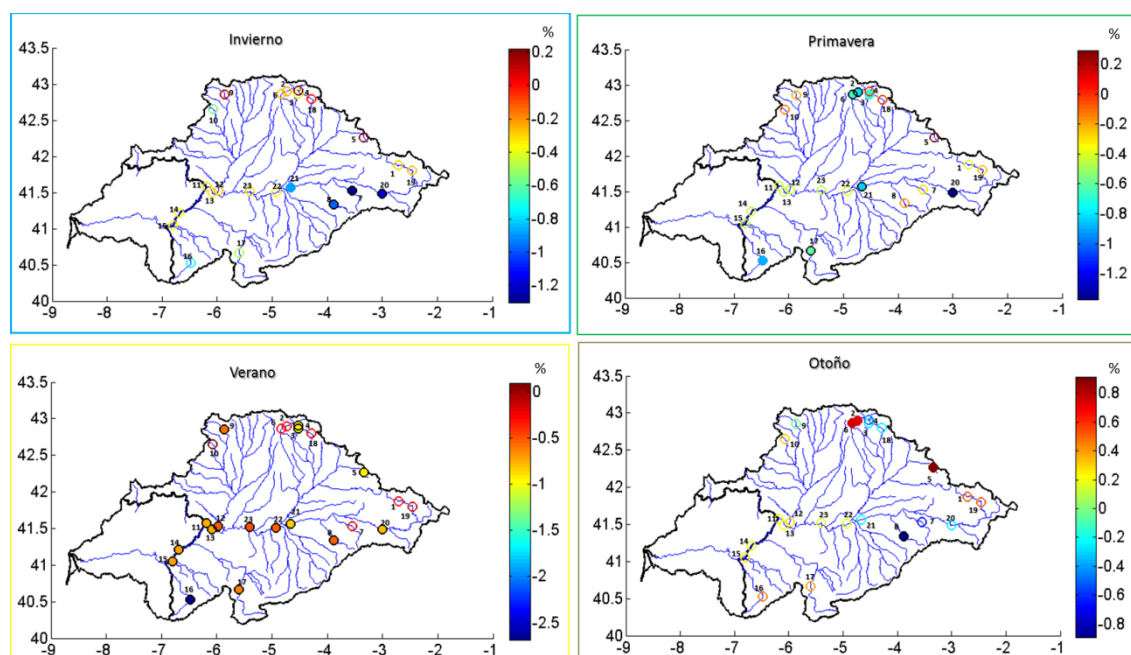


Figura 1. Tendencias estacionales (%) calculadas por el método de Sen en las 23 estaciones de muestreo analizadas, para los datos procedentes del PHD. Los círculos rellenos indican que la tendencia es significativa al nivel de confianza del 90%, y al 95% si el borde es negro, según el test de Mann-Kendall.

## CONCLUSIONES

En resumen, el análisis de los datos de caudal de la cuenca del río Duero muestra que, en general se observan tendencias de caudales anuales negativas durante los últimos 60-70 años, posiblemente asociadas al cambio climático global actual, que se manifiesta con unas temperaturas más elevadas y una menor precipitación en la región. En este sentido, cabría mencionar la importancia de las tendencias negativas de caudal encontradas durante la época estival, mientras que por el contrario en el otoño se estaría observando un aumento de los caudales en el conjunto de la cuenca, aunque insuficiente para contrarrestar las tendencias negativas del resto de las estaciones del año. Por otro lado merece ser destacado que las tendencias más negativas más significativas en el caudal se localizan en el área este de la cuenca, en la que los cambios en los usos de suelo pueden estar contribuyendo también al descenso de los caudales (Morán-Tejeda et al., 2010).

## REFERENCIAS

- Gámiz-Fortis, S.R., Esteban-Parra, M.J. y Castro-Díez, Y. (2010): Potential predictability of an Iberian river flow based on its relationship with previous winter global SST. *Journal of Hydrology* 385, pp. 143–149.
- Gámiz-Fortis S.R., Hidalgo-Muñoz J.M., Argüeso D, Esteban-Parra M.J. y Castro-Díez Y. (2011): Spatio-temporal variability in Ebro river basin (NE Spain): global SST as potential source of predictability on decadal time scales. *Journal of Hydrology* 409, pp. 759–775.
- Hernández-Martínez, M., Hidalgo-Muñoz, J. M., Gámiz-Fortis, S. R., Castro-Díez, Y., and Esteban-Parra, M. J. (2015): Temporal Variability and Potential Predictability of the Streamflow Regimes in the North-Eastern Iberian Peninsula. *River Research and Applications*, 31, pp. 1287–1298.
- IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change) S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen [et al.] (eds.). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge (Reino Unido); Nueva York (Estados Unidos): Cambridge University Press, 2007.
- IPCC, 2013: Cambio climático 2013: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 págs. (en árabe, chino, español, francés, inglés y ruso).
- Morán-Tejeda, E., López-Moreno, J.I., Ceballos-Barbancho, A., Vicente-Serrano, S.M. (2010): River regimes and recent hydrological changes in the Duero basin Spain. *Journal of Hydrology*, 404, 241–258.
- Pisani, B., Samper, J. y García-Vera, M.A. (2014): Evaluación de los impactos del cambio climático en los recursos y en las demandas agrarias de la cuenca del río Jalón. *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo*. Vol. XI, pp. 219- 226.
- Rodrigo, F.S. y Trigo, R.M. (2007): Trends in daily rainfall in the Iberian Peninsula from 1951 to 2002. *Int. J. Climatol.* nº 27, pp. 513–529.
- Xoplaki, E., González-Rouco, J.F., Luterbacher, J., Wanner, H. (2004): Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends. *Climate Dynamics*, nº 23, pp. 63–78.