

## **Tendencias del caudal en la cuenca del Guadalquivir y su relación con los patrones de teleconexión de la región del Atlántico Norte**

Kamal Djelloul Chaib

### **RESUMEN**

El objetivo básico de este estudio es analizar las tendencias del caudal en el Río Guadalquivir y su relación con los índices de teleconexión más importantes. Para ello, se ha abordado previamente el análisis del caudal de la cuenca del Guadalquivir a partir de datos restituídos, (en general simulados mediante el modelo SIMPA), y observados, lo que ha permitido constatar el notable efecto de la regulación del caudal, particularmente en las estaciones de verano y primavera y cómo el tipo de dato puede afectar a las tendencias encontrada. Además, las tendencias en los caudales anuales en ambos tipos de datos tienden a coincidir en signo, siendo algo más acusadas en los datos observacionales.

El análisis de las tendencias a largo plazo con los caudales restituídos muestra un descenso generalizado del caudal a largo plazo en la cuenca del Guadalquivir en todas las estaciones, siendo particularmente significativo durante la primavera.

Respecto a los patrones de teleconexión, los resultados más relevantes son correlaciones significativas entre el caudal y los índices asociados a los patrones NAO, SCAND y EA/WR durante el invierno.

*Palabras clave: Guadalquivir, caudal, índices de teleconexión, tendencias.*

### **1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

Numerosas investigaciones llevadas a cabo sobre los caudales fluviales a lo largo del siglo XX prevén una tendencia hacia una mayor estacionalidad en sus regímenes, determinada, en gran medida, por las variaciones en relación a la magnitud y cronología de las precipitaciones (IPCC, 2008).

La circulación atmosférica general condiciona el tiempo y el clima existente en las latitudes medias, a partir de patrones de teleconexión. Por tanto, la variabilidad atmosférica determina la disponibilidad de agua en las cuencas fluviales, en función de factores como la temperatura, las precipitaciones, la escorrentía, la infiltración y/o la recarga, o la evapotranspiración.

El presente estudio se centra en el análisis de los caudales de la cuenca del río Guadalquivir, mediante la comparación de datos restituidos y observados a fin de establecer en qué localidades y estaciones del año la regulación es más marcada. Asimismo, se lleva a cabo una comparación de las tendencias y de la variabilidad de ambos tipos de datos. La evaluación de las tendencias estacionales del caudal a largo plazo se establecerá a partir de los datos restituidos. Finalmente se analizará la relación de distintos patrones de teleconexión y los caudales para cada estación del año a fin de explorar el impacto de la variabilidad climática sobre el caudal de la cuenca.

## **2. DATOS**

Las bases de datos utilizadas consisten en datos mensuales de caudales restituidos y observados de la cuenca del Guadalquivir, y de patrones de teleconexión de baja frecuencia estandarizados de la región del Atlántico Norte.

### **2.1 Caudales**

Los datos mensuales de caudal restituidos han sido extraídos de la base de datos de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, en concreto del Anejo nº 1 de Inventario de Recursos correspondiente al Plan Hidrológico (PH) de la Demarcación del Guadalquivir (2015-2021). Se han elegido un total de 22 emplazamientos, repartidos por las principales provincias de la demarcación (Figura 1). Asimismo, dichos datos abarcan un intervalo temporal comprendido entre octubre de 1940 y septiembre 2012, coincidente con la definición del año hidrológico.

Los datos mensuales observados de caudal han sido extraídos del Sistema de Información del Anuario de Aforos 2012-2013 del CEDEX. Dichos datos consisten en información proporcionada de nivel y caudal en puntos fluviales seleccionados, complementada con datos en embalses. La cobertura temporal de estos datos varía en función del emplazamiento.

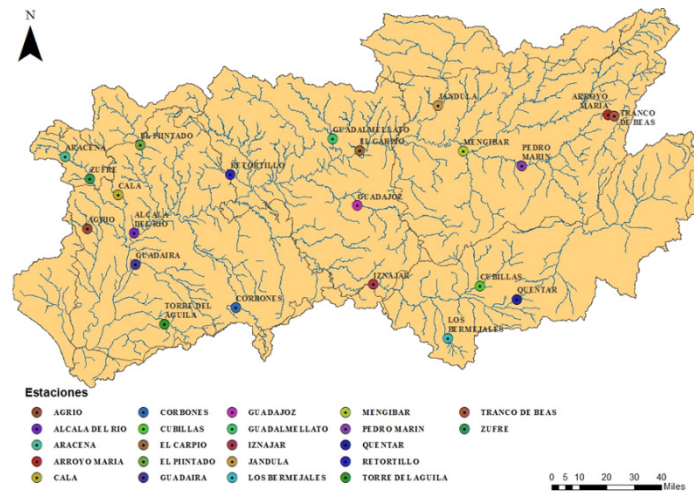


Figura 1. Distribución de las estaciones foronómicas utilizadas para el presente estudio. Fuente: Elaboración propia

## 2.2 Índices de teleconexión

Los índices de teleconexión empleados han sido adquiridos por medio de distintas fuentes. El patrón NAO, desarrollado por Hurrell (1995), procede de *Climate Data Guide*; el patrón WeMO, estudiado por Martin-Vide y López-Bustins (2006), de la Universidad de Barcelona; y el resto de índices (EA, EA/WR, SCAND, POL/EUR y WP) han sido extraídos del *Climate Prediction Center*.

## 3. METODOLOGÍA

Hidalgo-Muñoz (2015), en un estudio exhaustivo realizado sobre los emplazamientos de la Península Ibérica, encuentra que la mayoría de las estaciones de aforo y los embalses de la cuenca del Guadalquivir, siguen una distribución normal o log-normal. Es por ello que la obtención de tendencias se abordará mediante regresión lineal, de tal forma que la pendiente del ajuste se utilizará para cuantificar la tasa de cambio y el coeficiente de correlación Pearson para la significación de la pendiente.

Otro aspecto importante a considerar a la hora de abordar la significación de las correlaciones, es la posible autocorrelación entre los datos, ya que ésta incrementa la probabilidad de que el test detecte tendencias significativas (von Storch y Zwiers, 1999). Así pues se ha calculado el coeficiente de autocorrelación de orden 1 para todas las series de caudal para no reducir el número de grados de libertad al analizar la significación de las tendencias.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Análisis de tendencias a partir de datos restituidos y observados**

Tras comparar los datos restituidos y observados se ha constatado que el efecto de la regulación es notable, particularmente en las estaciones de verano y primavera. Durante la estación estival la regulación de los ríos es más señalada debido a la escasez de lluvias y, por tanto, de menor aporte de caudal, así como medida de prevención frente a la intensificación de la antropización y la generación de avenidas u otros fenómenos extremos. En invierno, los caudales restituidos de la zona oriental tienden a mostrar tendencias más marcadas que los observados, mientras que el comportamiento opuesto se observa en la zona occidental. Los datos observados presentan correlaciones significativas a lo largo de todas las estaciones del año, siendo menores en otoño que en los datos de caudal restituido. Las tendencias en los caudales anuales en ambos tipos de datos tienden a coincidir en signo, siendo algo más acusadas en los datos observacionales.

### **4.2 Tendencias de los caudales anuales y estacionales en el periodo 1940-2012**

El examen de las tendencias a largo plazo en el periodo 1940/41-2011/12 a partir de los datos restituidos a régimen natural del PH, presenta un descenso generalizado del caudal a largo plazo en la cuenca del Guadalquivir. Este descenso es particularmente significativo durante la primavera. En invierno, época de mayor caudal, los descensos significativos se presenta en el área oriental. Es también destacable la alta tasa de cambio mostrada por estas tendencias significativas, en muchos casos superiores al 1%/año respecto al valor medio del caudal estacional analizado. Estos descensos pueden estar relacionados en el caso del invierno y el otoño, con la disminución significativa de la precipitación en la cuenca, sobre todo en la zona oriental, mientras que en primavera y en verano estaría relacionada con el aumento significativo de la evapotranspiración, asociada al aumento de la temperatura (Yeste et al., 2016).

### **4.2 Relaciones con los índices de teleconexión**

El índice NAO muestra una clara influencia sobre la totalidad de los emplazamientos fluviales de la demarcación analizados durante la estación de invierno, con correlaciones significativas negativas. Este hecho se explica a partir de la respuesta de la precipitación de la Península Ibérica a este índice (Esteban-Parra et al., 1998) y, en consecuencia, la

importante variación de los caudales en esta época. Los patrones SCAND y EA/WR, parecen ejercer un influjo sobre la mayoría de los enclaves de la cuenca durante la estación de invierno, mientras que durante la estación de primavera la influencia permanece restringida hacia la región oriental para el SCAND. La tendencia de las correlaciones móviles positivas que persiste hasta alcanzar correlaciones significativas en invierno, y ligeramente negativa en primavera le podría conferir un limitado papel predictivo a este índice. Por tanto, es durante la estación de invierno, y en menor medida, primavera, cuando algunos índices explican parte de la variabilidad del caudal en la cuenca, fundamentalmente a partir del impacto que estos patrones de circulación ejercen, sobre todo, en la precipitación en la Península Ibérica, particularmente la NAO, que llega a explicar en torno a un 50% de la variabilidad de la precipitación durante el invierno (Esteban-Parra et al, 1998). Sin embargo la capacidad predictiva de estos índices parece limitada.

## 5. BIBLIOGRAFIA

Esteban-Parra MJ, Rodrigo FS, Castro-Diez Y. 1998. "Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880 – 1992". *International Journal of Climatology*, vol 18, pp. 1557 – 1574

Hidalgo Muñoz, J.M. 2015. "Assessing the impact of climate variability on seasonal streamflow forecasting in the Iberian Peninsula". Tesis Doctoral, Universidad de Granada.

Hurrell, J.W., 1995: "Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation". *Science*, vol. 269, pp. 676-679.

IPCC, 2008: Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., y Palutikof, J.P., 2008: "Cambios climáticos observados y proyectados en relación con el agua", en *El cambio climático y el agua*. Ginebra, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, pp. 13-24.

Martín-Vide, J., y López-Bustins, J.A., 2006: "The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula". *International Journal of Climatology*, vol. 26, pp. 1455-1475.