

04-007

EVOLUTION IN A CLIMATE CHANGE SCENARIO OF WATER RESOURCES IN THE RESERVOIRS OF THE UPPER GUADIANA RIVER BASIN

Martín Utrillas, Manuel ⁽¹⁾; Benítez Navío, Alberto ⁽²⁾; Martínez León, Jesús ⁽³⁾; Curiel Esparza, Jorge ⁽¹⁾; Cantó Perelló, Julián ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universitat Politècnica de València, ⁽²⁾ Confederación Hidrográfica del Guadiana, ⁽³⁾ Confederación Hidrográfica del Júcar

The available water resources are insufficient in the Mediterranean watersheds. In addition, the Mediterranean area is a global desertification hot spot, with Spain being the European country most threatened by this process. Long periods of drought are frequent and the weather is getting warmer and drier. The evolution of the water resources of the reservoirs of La Vega del Jabalón, Gasset, Peñarroya and Torre de Abraham has been studied over a period of several decades. The availability of surface water from reservoirs is decreasing, causing a situation of permanente water stress. The trends observed in the evolution of the water inflow to the reservoirs have been described, as well as the possible impact of the climate change in which we are immersed.

Keywords: water resources evolution; climate change; upper Guadiana river basin

EVOLUCIÓN EN UN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LOS EMBALSES DE LA CUENCA ALTA DEL GUADIANA

Las cuencas hidrográficas mediterráneas padecen severas limitaciones en los recursos hídricos disponibles. Además, en el área mediterránea se está produciendo un fenómeno de desertificación, siendo España con diferencia el país europeo más amenazado por este proceso. Son frecuentes largos períodos de sequía con un clima cada vez más cálido y seco. Se ha estudiado la evolución de los recursos hídricos en una secuencia de varias décadas en los embalses de La Vega del Jabalón, Gasset, Peñarroya y Torre de Abraham. La disponibilidad de aguas superficiales procedente de los embalses es cada vez más reducida, provocando una permanente situación de estrés hídrico. Se han descrito las tendencias observadas en la evolución de las aportaciones, así como el posible impacto del cambio climático en el que estamos inmersos.

Palabras clave: evolución recursos hídricos; cambio climático; cuenca alta Guadiana

Correspondencia: Manuel Martín Utrillas mgmartin@fis.upv.es



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1.- Introducción

La Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1987) estudió el impacto del cambio climático en los recursos hídricos. Posteriormente la WMO, junto con el programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas crearon el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), que comenzó a elaborar informes con periodicidad quinquenal, desde el año 1990. Es necesario prever los cambios climáticos, para poder anticiparse y combatir sus efectos, implementando las medidas precisas a lo largo del tiempo (Xing-Guo et al., 2017). Los escenarios propuestos para estudiar el cambio climático son proyecciones a largo y medio plazo, en las que son más evidentes las variaciones del clima. Suelen utilizar horizontes situados en el año 2.050 y en el año 2.100. Asimismo, se consideran diversas hipótesis para la elevación de las temperaturas, optimistas o pesimistas, según se suponga que las medidas de mitigación hayan podido ser más o menos exitosas (Nigel, Detlef y Morna, 2011). El último informe elaborado por el IPCC es el quinto (IPCC 2014). Actualmente están preparando el sexto informe de evaluación del cambio climático y está prevista su publicación en el año 2022. En estos informes se incorpora el conocimiento científico actualizado sobre la materia. Con los resultados obtenidos de las previsiones en el cambio climático y utilizando un modelo local, derivado del modelo climático general, se puede obtener la precipitación local en una estación pluviométrica determinada. El paso siguiente consiste en establecer la relación entre los recursos hídricos y los cambios de temperaturas, precipitaciones, evaporación, humedad del suelo y otros parámetros, que tienen influencia en dichos recursos, para lo que es también habitual el uso de modelos (Nan, Bao-hui y Chun-kun, 2011).

En España, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2020), basándose en el Modelo Climático General y en los informes del IPCC, proporciona proyecciones de temperaturas y precipitaciones en un amplio conjunto de estaciones pluviométricas y termométricas del país. Con estos datos la Oficina Española del Cambio Climático, llevó a cabo en los años pasados con la colaboración del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX, 2017), la Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España. Se utilizaron doce proyecciones climáticas. Los resultados fueron la predicción de una disminución en la escorrentía que en promedio estaría entre el 3% y el 9%, así como un incremento de la evapotranspiración que oscilaría entre el 1% y el 7%, todo ello para el período comprendido entre los años 2010 y 2040. Los tantos por ciento de variación se calcularon comparando con el período de control, comprendido entre el año 1961 y el 2000.

El CEDEX, en 2012 había elaborado un informe con anterioridad para el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, en el que se pronosticaban descensos en la escorrentía en la cuenca del Guadiana. Las reducciones oscilaban, según el escenario considerado y el modelo utilizado, entre un 7% y un 34 % para el período 2011 a 2040, obteniéndose incrementos en la escorrentía solo para el caso del modelo regionalizado IV, con valores que como máximo eran del 13%. En este caso el período de control era más corto y abarcaba el intervalo de tiempo comprendido entre los años 1961 y 1990. Con anterioridad a estos informes realizados por el CEDEX se habían llevado a cabo ya un buen número de estudios, que auguraban también una disminución en los recursos hídricos de la cuenca hidrográfica del Guadiana, así

Ayala-Carcedo (1996) estimó una reducción de recursos hídricos del 23% y un incremento de la evaporación en los embalses y humedales del 33%.

El Libro Blanco del Agua en España, del Ministerio de Medio Ambiente, hizo una estimación que concluía que los recursos hídricos se verían reducidos en la cuenca Hidrográfica del Guadiana en el año 2030 en un 11%, eso en el mejor de los escenarios, pudiendo llegar a ser del 24%. (MIMAM, 2000). Ayala e Iglesias (2001) pronosticaron una disminución en las precipitaciones del 9% en la cuenca hidrográfica del Guadiana para el horizonte del año 2060. Kisby et al. (2007) estimaron un descenso del orden del 20% para los recursos hídricos anuales en el Guadiana durante el último cuarto del siglo XXI comparando con el período de control 1961-1990. A la vista de lo expuesto anteriormente, los efectos del cambio climático en el que estamos inmersos se deben apreciar en las aportaciones registradas en los embalses.

La evaporación está es afectada por el cambio climático. Su valor se mide diariamente en las presas, pues se trata de un sumando necesario para calcular el balance hídrico del embalse, también se toman la pluviometría y la temperatura. Por ello, los embalses son una masa de agua apropiada para contrastar las predicciones sobre la variación de los recursos hídricos (Qin et al., 2020). Muchas de estas predicciones fueron formuladas en el siglo pasado, por lo que sus resultados deberían ser patentes en la actualidad. Aunque los embalses son localizaciones muy concretas, y por consiguiente sujetas a variabilidad respecto al promedio de las extensas áreas en las que se aplican los modelos, son, sin embargo, el reflejo de la situación de la subcuenca del río que embalsan, lo que supone un ámbito geográfico muy amplio también. En este trabajo se ha estudiado la evolución de la aportación de cuatro embalses ubicados en subcuencas de la cuenca alta del Guadiana.

2.- Objetivos

Los estudios sobre el cambio climático se basan en herramientas matemáticas y modelos, que permiten tras su aplicación hacer pronósticos detallados de cual será la disponibilidad de recursos hídricos en un futuro (Joseph et al., 2018). Estas previsiones están sometidas a incertidumbre por la complejidad de los modelos aplicados, que siempre entrañan supuestos e hipótesis simplificadoras (Shen et al., 2018). También los datos a considerar generan una disparidad de posibles escenarios. Variaciones en el ritmo de emisiones de gases invernadero producen resultados distintos al aplicar los modelos. Por ello, es especialmente importante verificar y contrastar la evolución supuesta con la evolución real de los recursos hídricos, de forma que se pueda constatar que los efectos del cambio climático se están considerando en la planificación hidrológica de las cuencas hidrográficas (Aguilar-Alba y Moral-Ituarte, 2008).

Se trata de comprobar si se están manifestando los efectos del cambio climático en ciertas áreas de la cuenca alta del Guadiana. Para ello se han elegido cuatro embalses, pues son masas de agua superficiales en las que se puede estudiar con el balance hídrico, así como sus variaciones a lo largo del tiempo, ya que se cuenta con datos diarios y se dispone de series históricas.

Hay un buen número de previsiones sobre la evolución de las aportaciones en la cuenca hidrográfica del Guadiana, basadas en los modelos de cambio climático y en los modelos hidrológicos. Son predicciones a nivel global, que por tanto representan un promedio. Lo que se pretende en este estudio es analizar cuatro casos puntuales, para verificar si se pueden observar en ellos las tendencias previstas. Se comparan

series de datos de los embalses, escalándolas previamente, para poder superponer las tendencias observadas en períodos de tiempo similares.

3.- Metodología

Se han seleccionado cuatro masas de agua superficiales correspondientes a los embalses de Gasset, Peñarroya, Vega del Jabalón y Torre de Abraham, para estudiar la evolución de los recursos hídricos hasta la actualidad. El parámetro hidrológico utilizado para determinar la evolución de los recursos hídricos ha sido la aportación de agua al embalse. La aportación natural procede de los cursos de agua superficial y de los acuíferos subterráneos. En este último caso, el embalse puede ser ganador o perdedor de modo que reciba agua de los acuíferos o bien la pierda por infiltración. Lo anterior dependerá del nivel freático de la zona y de las características propias de la formación geológica. En ese sentido el balance está influido también por la mejor o peor situación de los acuíferos.

La aportación natural al embalse ha sido obtenida de utilizando el balance hídrico, puesto que esto permite contar con datos diarios de aportaciones como de nivel del embalse, evaporación y pluviometría y temperatura. Estos datos se obtienen por medida directa, a través de la estación meteorológica de la que dispone cada embalse y de los medidores de burbujeo del nivel del agua. La estación meteorológica cuenta con termómetro, registro de máximas y mínimas, tanque evaporímetro y pluviómetro.

Las aportaciones se han obtenido mediante cálculo indirecto utilizando el balance hídrico del embalse, del que se conocen los consumos directos, la evaporación y las variaciones diarias de nivel del agua con las que es posible, utilizando la curva característica del embalse, obtener el incremento diario de volumen embalsado o aportación neta. La aportación natural se obtiene restando al volumen anterior el volumen de agua evaporado en el día y sumándole el total de los consumos satisfechos en concesiones de riego, abastecimiento y tomas directas. Los consumos son, obtenidos por medida directa de los caudales en las tomas donde hay instalados caudalímetros totalizadores que permiten además del caudal instantáneo obtener el dato del consumo diario. El volumen evaporado se obtiene multiplicando el descenso medido con el evaporímetro por la superficie total de la lámina de agua del embalse en cada momento. Los datos diarios de aportación se han sumado obteniendo la aportación natural total anual. A continuación, se han representado las curvas aportación natural/año para toda la serie disponible, en cada uno de los cuatro embalses estudiados. Se ha calculado la curva de tendencia, mediante regresión lineal y se ha aplicado la prueba estadística no paramétrica de Mann-Kendal, para establecer el nivel de significancia de la tendencia y verificar si se está produciendo un descenso de las aportaciones tal como prevén los estudios sobre el impacto del cambio climático en los recursos hídricos. También se han tomado los valores de los máximos y mínimos relativos de las series de aportaciones de los embalses, para conocer su situación.

En los dos embalses que tienen series de datos largas, Gasset y Peñarroya, se ha comparado la aportación media en el intervalo de control 1959-1990 con la aportación media en el período entre 1990 y la actualidad. El intervalo de control en Peñarroya va desde 1960 a 1990 pues no hay datos para el año 1959. Se ha tomado ese intervalo de control para que coincida sensiblemente con el intervalo tomado en diversos estudios publicados que cuantifican la repercusión del cambio climático en los recursos hídricos de la cuenca hidrográfica del Guadiana. De este modo es posible comparar el orden de magnitud de esas previsiones con el obtenido en este estudio.

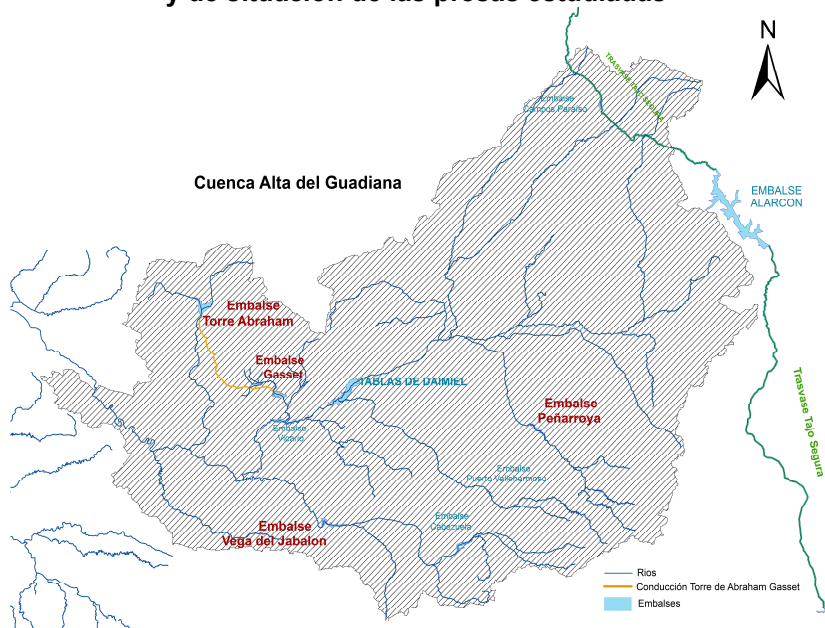
En los embalses donde la serie de años es más corta, Vega del Jabalón y Torre de Abraham se ha escalado del valor anual de las aportaciones para comparar su distribución en el tiempo con la de los embalses de Gasset y Peñarroya, cuyas series

son más larga, pues se inician a finales de los años cincuenta y principios de los sesenta respectivamente. El escalado se ha hecho proporcionalmente a las aportaciones totales medias en las series de años consideradas, para que estas resulten coincidentes. Por último, con los datos diarios de precipitación registrada en los embalses, los de temperatura y los de descenso del evaporímetro, se han calculado la precipitación anual total, el descenso anual total por evaporación y la temperatura media anual. Se han representado también gráficamente estos datos, y se ha calculado la línea de tendencia y las variaciones porcentuales en los mismos períodos que fueron utilizados para las aportaciones. De este modo puede tenerse una percepción global del cambio climático registrado y su repercusión en los recursos hídricos.

4.- Caso de Estudio

El estudio se ha realizado en el ámbito geográfico de la cuenca del Guadiana, Geográfico de la cuenca alta del Guadiana. Situada en zona nororiental de la cuenca hidrográfica del Guadiana, se extiende por parte de las provincias de Ciudad Real, Toledo, Albacete y Cuenca. En la cuenca alta nace el río Guadiana y sus afluentes principales Zancara y Cigüela. Su límite más occidental puede fijarse en las proximidades de Ciudad Real capital, en la confluencia del río Bullaque con el río Guadiana. Se caracteriza esta parte la cuenca por tener amplias áreas con una red hidrográfica poco desarrollada con la presencia de un gran número de humedales. Los afluentes del Guadiana por su margen derecha son estacionales con un régimen hidrológico irregular, mientras que los de la margen izquierda, discurren por una zona permeable de la cuenca, caracterizada por el predominio del agua subterránea, debido a la presencia de grandes acuíferos calizos con alta capacidad de infiltración, que además sostienen un caudal de base de los ríos incluso en verano.

Figura 1.- Plano de la cuenca alta del Guadiana y de situación de las presas estudiadas



Por ello no hay un gran número de embalses a pesar de su extensión dentro de la cuenca hidrográfica del Guadiana, abarcando aproximadamente una tercera parte de

ésta. Los embalses objeto de estudio son cuatro, la Vega del Jabalón, Gasset, Torre de Abraham y Peñarroya (Figura 1). Los dos primeros están relativamente próximos a Ciudad Real capital, mientras que los otros dos se encuentran más alejados, uno en el extremo occidental de la cuenca y el otro en el extremo oriental cerca de las Lagunas de Ruidera sobre el río Guadiana.

El embalse de Gasset es el más antiguo de todos los estudiados. Su construcción data del año 1910. La presa está ubicada en el término municipal de Fernancaballero a cuatro kilómetros de dicha población, en la provincia de Ciudad Real, a dieciocho kilómetros de la capital manchega. Destinado a regar 995 ha y abastecer las poblaciones de Fernancaballero y de Ciudad Real. Su capacidad inicial era de 22,7 hm³ pero se incrementó en el año 1984 hasta 41,7 hm³ tras su recrecimiento. La presa está situada en el río Becea, que es un afluente del río Bañuelos al que se une tres kilómetros aguas abajo del embalse para desembocar cinco kilómetros después en el río Guadiana.

La Presa de la Vega del Jabalón se encuentra sobre el río del mismo nombre, afluente del Guadiana por la margen izquierda. El embalse tiene una capacidad de 33 hm³ y se encuentra en una zona perteneciente a los términos municipales de Aldea del Rey y Granátula de Calatrava. La cerrada está aproximadamente a unos 3,5 km aguas abajo del puente de la carretera que une el pueblo de Granátula con Calzada de Calatrava. Las obras de la presa finalizaron en el año 1993. Está dedicada exclusivamente al abastecimiento de unos 40.000 habitantes de la mancomunidad del campo de Calatrava, que agrupa las localidades de la comarca del mismo nombre.

La Presa de Peñarroya se encuentra sobre el río Guadiana en el Término Municipal de Argamasilla de Alba, provincia de Ciudad Real, Su construcción finalizó en el año 1959. El embalse está situado aguas abajo de las Lagunas de Ruidera, sin solución de continuidad y por tanto se encuentra dentro del Parque Natural. Si no fuese por carácter artificial podría decirse que es la última laguna. A partir de este embalse el río Guadiana se infiltra en el acuífero de la Mancha Occidental para desaparecer y reaparecer en los Ojos del Guadiana en Villarrubia de los Ojos. Este embalse tiene una capacidad a nivel máximo normal de 47,9 hm³.y está dedicado al regadío de unas 7.000 hectáreas y al abastecimiento de más de 40.000 habitantes en las poblaciones de Argamasilla de Alba y Tomelloso.

La presa de la Torre de Abraham se construyó en el año 1974. Está situada sobre el río Bullaque, en el Término municipal de Retuerta de Bullaque al sur de los montes de Toledo. Posteriormente se recreció en el año 1999 con lo que la capacidad del embalse se incrementó hasta alcanzar al nivel máximo normal los 183,4 hm³, que tiene actualmente. La Torre de Abraham es el embalse de mayor capacidad de los cuatro estudiados. Cuenta con las aportaciones de los ríos Bullaque, Milagros y Las Navas. De todos los ríos que alimentan el río Bullaque es el más importante con una una mayor cuenca y caudal. Las aguas son de muy buena calidad para el abastecimiento, proceden de las sierras de San Pablo y del Chorito. El embalse atiende las demandas de abastecimiento y de regadío de más de cinco mil hectáreas. En cuanto al abastecimiento, además de suministrar agua a las poblaciones cercanas a la presa, apoya el abastecimiento de Ciudad Real capital y su comarca, en concreto las localidades de Carrión de Calatrava, Miguelturra y Fernancaballero, Malagón, Fuente el Fresno, Poblete y Torralba de Calatrava, La Torre de Abraham está conectada mediante una conducción a la presa de Gasset con la que está conectada mediante una conducción de 46 kilómetros de longitud.

5.- Resultados

Se han estudiado las series de aportaciones, evaporaciones de los embalses y en algunos de ellos la pluviometría. Los embalses con series largas son los que llevan en explotación más años, De Gasset se dispone de datos desde 1958, y de Peñarroya desde su puesta en servicio en 1960. La presa de la Torre de Abraham se construyó en 1974 por lo que los primeros datos de aportación disponibles son de ese año. Finalmente, la presa de más reciente es la Vega del Jabalón que es del año 1993. Tal como se observa en la Figura 2, la serie histórica de las aportaciones naturales (en la presa de Gasset muestra un claro descenso desde al año 1959 a la actualidad, lo mismo sucede con el embalse de Peñarroya, desde 1960, las aportaciones han descendido. Comparando las aportaciones medias con el período de control 1959-1990 y 1960-1990 respetivamente, el descenso porcentual de la aportación media es del 24,34%. para Gasset y del 15,4% para Peñarroya. Valores próximos a los indicados por el Libro Blanco del Agua, que preveía disminuciones en los recursos hídricos entre el 11% y 24 %, para el horizonte temporal del año 2030. La evolución de las aportaciones máximas a lo largo del tiempo ha sido sin embargo dispar. En el embalse de Peñarroya en la Figura 3 se observa que los episodios extremos han aumentado, como cabe esperar en un escenario de cambio climático, con un incremento muy acusado de las aportaciones máximas relativas, por tanto episodios extremos con avenidas mayores y una disminución también muy importante de las aportaciones mínimas relativas que responde a períodos de sequía mas prolongadas y rigurosas.

Figura 2.- Serie histórica aportaciones naturales en hm³ embalses de Gasset (1959-2019) y Peñarroya (1960-2019)

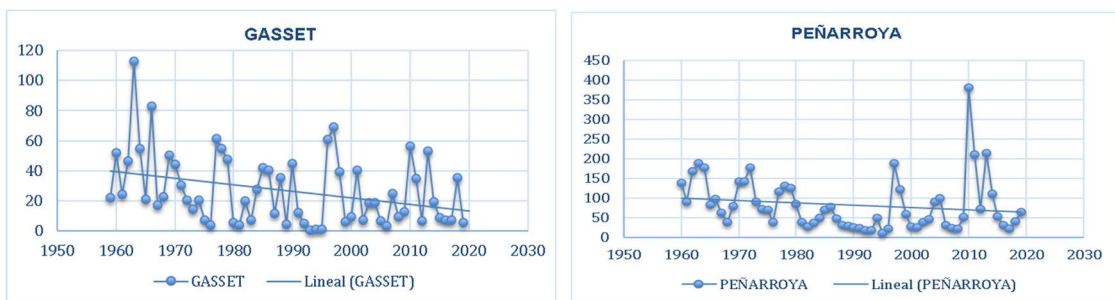
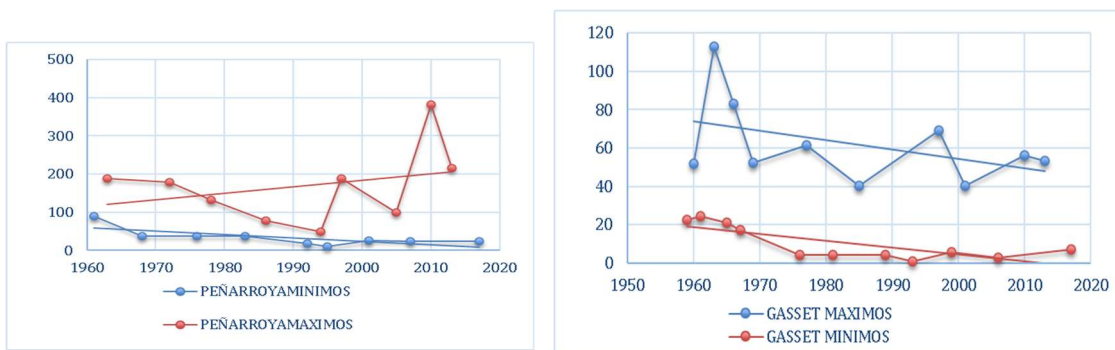
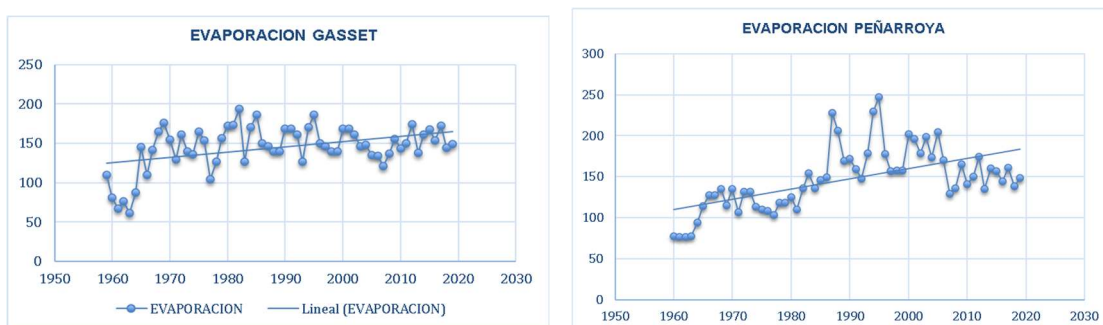


Figura 3.-Serie histórica de aportaciones naturales en hm³ máximas y mínimas en los embalses de Peñarroya (1960-2019) y Gasset (1959-2019)



En Gasset por el contrario los máximos de aportaciones han disminuido, aunque los mínimos siguen la tendencia esperada, al ser cada vez menores. Esto de todos modos es compatible con una disminución generalizada de las aportaciones, que es más acusada en Gasset (24,34%), más de vez y media mayor que en Peñarroya (15,4%). Se puede observar también que en ambos embalses durante el período de control 1960-1990, los mínimos se hicieron menores y los máximos también descendieron. Otro factor del balance hídrico del embalse que se puede ver afectado por el cambio climático es la evaporación. Una mayor evaporación supone mayores pérdidas que se traducen en una reducción de los recursos hídricos disponibles. En ambos embalses se observa la línea de tendencia con clara pendiente ascendente, aunque se ha registrado una estabilización de la evaporación, medida en los tanques evaporímetros de las presas, con un claro descenso respecto a los valores máximos alcanzados a finales de la década de los años ochenta y principio de los noventa, Figura 4. El incremento de la evaporación, respecto al período de control, en el embalse de Gasset es del 10,37% y en el embalse de Peñarroya es del 32,63%, valor éste último muy cercano a la estimación Ayala-Carcedo de un incremento de la evaporación en los embalses y humedales del 33%. Si se contempla el período más reciente desde el año 1993 hasta la actualidad, se observa una evolución de la evaporación, medida en los tanques evaporímetros de presa, que oscila entorno a un valor estable, y con una muy ligera tendencia a la baja en algún caso, Figura 5. Sucede lo mismo con la pluviometría que se mantiene entorno a sus valores medios propios de la zona, con ligera tendencia a la baja también. En cuanto a los embalses con series más cortas, en estos no es posible hacer comparaciones con períodos de control anteriores. No obstante, se pueden observar las tendencias registradas en los años transcurridos desde su construcción. El embalse de Torre de Abraham desde el año 1974 hasta la actualidad registra también una tendencia a la baja de las aportaciones. También bajan ligeramente las evaporaciones, lo que concuerda con la tendencia registrada en el resto de los embalses en las últimas décadas, Figura 6.

Figura 4.- Serie histórica de la evaporación anual en cm en los embalses de Gasset (1959-2019) y Peñarroya (1960-2019). Datos de evaporímetro de presa



Por último, el embalse de la Vega del Jabalón, debido a que fue construido en la década de los noventa, cuenta con una serie histórica mucho menor que la de los otros embalses. Se aprecia en la Figura 7 que las aportaciones muestran una tendencia a aumentar, lo cual es debido a que la serie de datos no es suficientemente larga y por tanto no refleja la disminución que se está registrando en períodos más amplios.

Se ha aplicado el test estadístico de Mann-Kendall a los embalses de Gasset y Peñarroya para comprobar las tendencias de la serie de datos de aportaciones naturales y de evaporaciones, confirmando las tendencias comentadas de disminución de las aportaciones y aumento de la evaporación, con altos niveles de significancia Tablas 1 y 2.

Tabla 1.- Resultados de la prueba estadística de Mann-Kendall aplicada a la serie de datos de aportaciones naturales de los embalses de Gasset (1959-2019) y Peñarroya (1960-2019)

Aportación Natural. Test de Mann Kendall				
	Tendencia	Estadístico S	Normalizada Z	Significancia
Embalse de Gasset	Decreciente	-420	-2,67	0,0037
Embalse de Peñarroya	Decreciente	-417	-2,72	0,0033

Tabla 2.- Resultados de la prueba estadística de Mann-Kendall aplicada a la serie de datos de evaporación de los embalses de Gasset (1959-2019) y Peñarroya (1960-2019)

Evaporación. Test de Mann Kendall				
	Tendencia	Estadístico S	Normalizada Z	Significancia
Embalse de Gasset	Creciente	334	2,136	0,9836
Embalse de Peñarroya	Creciente	811	5,31	0,9999

Figura 5.- Evaporación en cm y precipitación en mm registradas en el embalse de Gasset (1993-2019) y Peñarroya (1993-2019). Datos de evaporímetro y pluviómetro de presa.

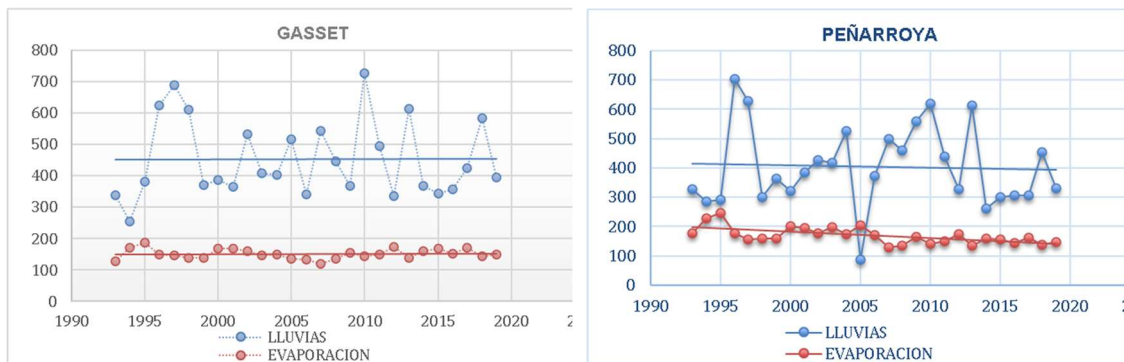


Figura 6.- Serie histórica de aportaciones naturales en hm³ y evaporación en mm

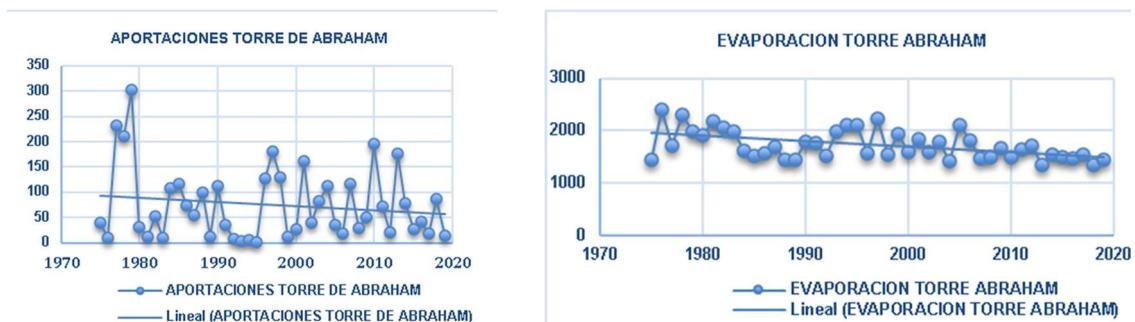
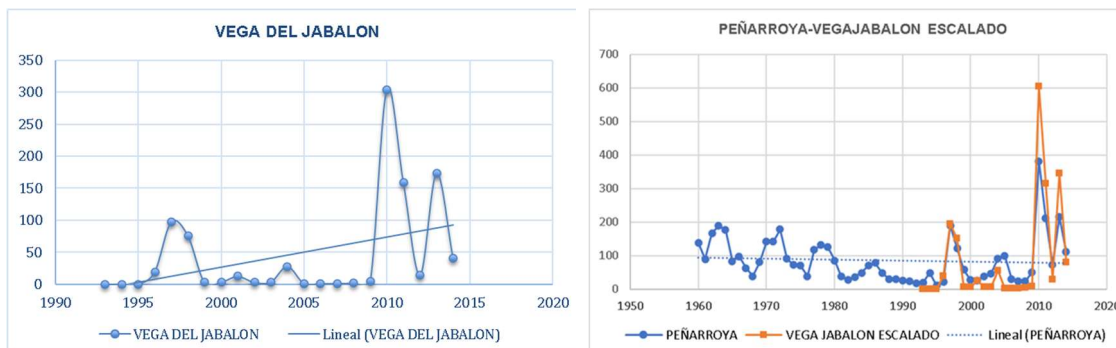


Figura 7.- Serie histórica de aportaciones naturales en hm³ en el embalse de la Vega del Jabalón (1993-2015) y comparación de la aportación escalada con la aportación de Peñarroya (1960-2015)



Por consiguiente, habría que comprobar si se pueden encontrar semejanzas en los parámetros estadísticos de los datos de aportaciones de los embalses con series cortas y los que tienen series largas. De este modo sería posible determinar la representatividad de las series estudiadas para reflejar el cambio climático y su incidencia en los recursos hídricos. Como se puede apreciar en la Figura 7, una transformación afín de las aportaciones de la Vega del Jabalón, escaladas para que su media coincida con la registrada en el embalse de Peñarroya, permite superponer ambas series mostrando su similitud en las últimas décadas. Queda con ello evidenciado que sí la serie del embalse de la Vega del Jabalón fuese suficientemente larga, es muy probable que mostrase las mismas tendencias que se observan en las aportaciones de los embalses de Gasset y Peñarroya.

6.- Conclusiones

Se han estudiado las series históricas disponibles de cuatro embalses ubicados en la cuenca alta del Guadiana. Dos ellos con series largas, Gasset desde el año 1958 y Peñarroya desde el 1960 y otros dos de series cortas, Torre de Abraham desde el año 1975 y Vega de Jabalón desde 1993. Se ha analizado la evolución de dos variables principales del balance hídrico de los embalses, la aportación natural y la evaporación. Los embalses con series de datos suficientemente largas muestran disminuciones en las aportaciones naturales. El embalse de Peñarroya ha sufrido una reducción del 15,40%, con un nivel de significancia de 0,0033 y el de Gasset del 24,30% con un nivel de significancia de 0,0037. Reducciones hídricas de acuerdo con las previsiones del Libro Blanco del Agua en España, del Ministerio de Medio Ambiente que son entre 11% y 24 % para el año 2030. Los embalses con series cortas muestran resultados dispares, puesto que el período de tiempo no es suficiente para acusar las variaciones inducidas por el cambio climático en el que estamos inmersos. Sin embargo, si se hace un escalado de la serie corta del embalse de la Vega del Jabalón y se superpone sobre la serie larga del embalse de Peñarroya, estas son coincidentes, lo que indica que su evolución posiblemente ha sido la misma. Los embalses con series de datos suficientemente largas muestran incrementos significativos de la evaporación, en el embalse de Gasset es del 10,37% con un nivel de significancia de 0,9836 y en el de Peñarroya del 32,63% con un nivel de significancia 0,9999. Estos

aumentos se encuentran en el orden de magnitud de las estimaciones publicadas por Ayala-Carcedo de un incremento de la evaporación en los embalses y humedales del 33%, que fueron obtenidas mediante la aplicación de modelos climáticos e hidrológicos. Los embalses con series cortas no reflejan un incremento de la evaporación registrada.

La reducción en los recursos hídricos obtenida en este trabajo es la prevista en los estudios del cambio climático, para horizontes temporales más alejados, año 2030 a 2060, entre diez y cuarenta años más tarde. Para el año 2020 estas reducciones están comprendidas en el rango de los resultados obtenidos en los escenarios más pesimistas, considerados en los modelos aplicados en los citados estudios, lo cual resulta inquietante. En cualquier caso, es necesario tener en cuenta en un futuro las consecuencias que tiene sobre la planificación hidrológica una disminución tan significativa de los recursos hídricos.

7.- Bibliografía

- AEMET (2020). Proyecciones climáticas para el siglo XXI. http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Aguilar-Alba M.& Moral-Ituarte, L. (2008). Evolución de las aportaciones en embalses de cabecera del Guadalquivir: relación con las tendencias climáticas recientes y repercusión en la planificación hidrológica. *Congreso Ibérico Sobre Gestión y Planificación del Agua* (8.2008.Vitoria),50-60
- Ayala-Carcedo , F.J. (1996). Reducción de los recursos hídricos en España por el posible Cambio Climático. *Tecnoambiente, Madrid, septiembre*.
- Ayala-Carcedo, F.J. & Iglesias, A. (2000). Impactos del posible Cambio Climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en la España Peninsular. *In Balairón edit., El Cambio Climático, El Campo de las Ciencias y las Artes, Servicio de Estudios del BBVA, Madrid, 201-222*.
- CEDEX (2012). Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Informe Técnico para el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Secretaría de Medio Ambiente. Dirección General del Agua. Estudio de los Impactos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de las Masas de Agua. *Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica del Ministerio de Fomento*.
- CEDEX (2017). Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Centro de Estudios Hidrográficos Informe Técnico para el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría de Estado de Medio Ambiente, Oficina Española de Cambio Climático. Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España. Informe Final. Tomo Único. *Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica del Ministerio de Fomento*.
- IPCC, 2014. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático *IPCC*, Ginebra, Suiza.
- Joseph J., Ghosh, S., Pathak A. & Sahai, A.K. (2018) Hydrologic impacts of climate change: Comparisons between hydrological parameter uncertainty and climate

model uncertainty, *Journal of Hydrology, Volume 566, 2018, Pages 1-22, ISSN 0022-1694.* <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.080>.

Kilsby, C.G.; Tellier, S.S.; Fowler, H.J. & Howels, T.R. (2007). Hydrological impacts of climate change on the Tejo and Guadiana Rivers. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11:1175-1189.

MIMAM, Libro Blanco del Agua en España (2000) .*Ministerio de Medio Ambiente, España.*

Nan Y., Bao-hui M. & Chun-kun L. (2011). Impact análisis of climate change on water resources. 2011 International Conference on Advances in Engineering. *Procedia Engineering 24 (2011) 643-648.*

Nigel W.A., Detlef P.V. & Morna I., (2011). The implications of climate policy for the impacts of climate change on global water resources. *Global Environmental Change Volume 21, Issue 2, May 2011, 592-603.*

Qin P., Xu H., Liu M., Du L., Xiao Ch., Liu L. & Tarroja B.(2020). Climate change impacts on Three Gorges Reservoir impoundment and hydropower generation. *Journal of Hydrology, Volume 580, 2020, 123922, ISSN 0022-1694,*

Shen M., Chen J., Zhuan M., Chen H., Xu Ch. & Xiong, L. (2018). Estimating uncertainty and its temporal variation related to global climate models in quantifying climate change impacts on hydrology, *Journal of Hydrology, Volume 556, 2018, Pages 10-24, ISSN 0022-1694,*

WMO (1987). Water Resources and Climate Change: Sensitivity of Water Resources Systems to Climate Change and Variability. Geneva.

Xing-Guo M., Shi H., Zhong-Hui L., Su-Xia L.& Jun X. (2017). Impacts of climate change on agricultural water resources and adaptation on the North China Plain. *Advances in Climate Change Research, Volume 8, Issue 2, 2017, Pages 93-98, ISSN 1674-9278, https://doi.org/10.1016/j.accre.2017.05.007*

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

