

# PRESENTE Y FUTURO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS JÚCAR Y SEGURA

José Quereda Sala, Enrique Montón Chiva, Belen Mollá Cantavella y  
María Victoria Quereda Vázquez  
Laboratorio de Climatología  
Universitat Jaume I

## RESUMEN

Uno de los principales retos científicos de la climatología mediterránea se centra en el análisis del proceso de desertificación que podría sobrevenir bajo los efectos de un cambio climático. Su aplicación al Sistema Hidrográfico integrado de las cuencas de los ríos Júcar y Segura, ha comprendido dos objetivos: la determinación del proceso hidrológico actual como punto de partida para responder a la cuestión básica de ¿Cuánta agua hay?, así como proyectar los impactos que un cambio climático podría tener sobre los actuales recursos hídricos de esa gran vertiente. Unos recursos que actualmente están muy ajustados en su valor medio para atender una demanda calculada en 5.126 Hm<sup>3</sup>/año para el periodo 2025-30 (PHN, 2001), pero que podrían estar gravemente comprometidos ante la notable reducción de un 28 % que supondría un clima con una temperatura elevada en 1 °C y disminuido en un 5% de su precipitación media actual.

Palabras clave: recursos hídricos, evapotranspiración, Turc, demandas hídricas, Júcar, Segura.

## ABSTRACT

One of the key scientific challenges of the Mediterranean climate is centered on the process of desertification it could occur by intensifying of the water cycle linked to global temperature rise. Application to Hydrographic System Jucar-Segura has included two purposes: the determination of the actual hydrological process as the starting point for responding to the basic issue of how much water there is as well as projecting the impacts a climate change could have on existing water resources in the watershed. These resources are actually very limited to satisfy a demand about 5.126 Hm<sup>3</sup> a year for the 2025-30 period, but they could be strongly endangered in the future. A potential climatic

change, with an thermal increase of 1° C and a rainfall decrease of 5% could cause an important depletion in water resources of around 22%.

Keywords: water resources, evapotranspiration, Turc, demands, Jucar, Segura.

### IMPORTANCIA Y OBJETIVOS

El presente trabajo de investigación adquiere una gran trascendencia a tenor de las predicciones que los modelos de cambio climático establecen sobre la región mediterránea. En este orden de conocimientos, los últimos informes del IPCC, Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2007a, 2007b, 2013), basados en los modelos del Hadley Centre, establecen que nuestra región mediterránea será la más vulnerable de Europa a los efectos del cambio climático (figura 1). Vulnerabilidad debida a que, simultáneamente al aumento térmico regional, se produciría una reducción de recursos hídricos como consecuencia básica de dos procesos atmosféricos. El primero sería el desplazamiento hacia el norte de la zona neurálgica de formación de borrascas entre el fluido atmosférico polar y el tropical como consecuencia de la contracción del vortex polar. El segundo proceso, la intensificación del ciclo hidrológico, vinculado al aumento térmico global, parece incuestionable e inequívoco como causa del

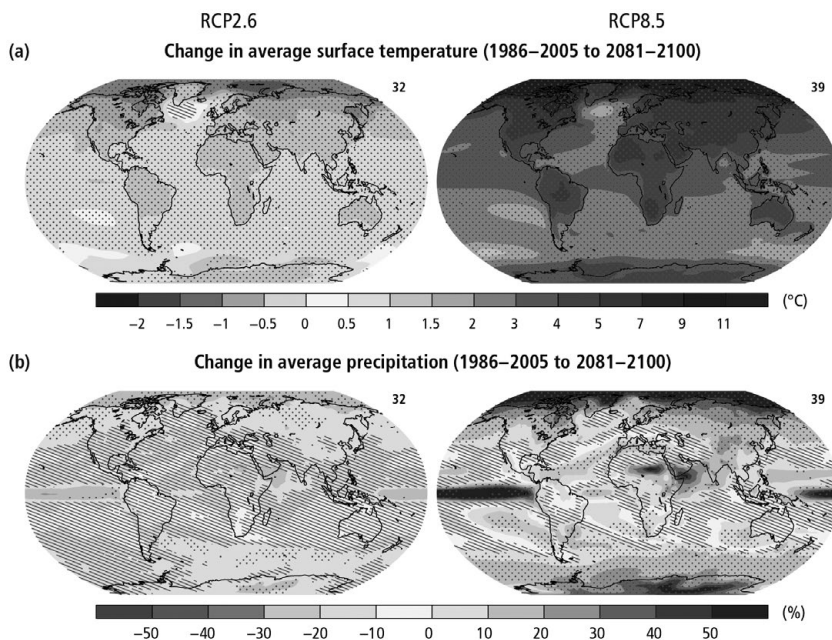


Figura 1. Cambios en temperatura y precipitación para los años 2081-2100 (IPCC, 2013).

mayor problema regional en los próximos veinticinco o cincuenta años. Un proceso de desertificación que centra los objetivos del presente estudio.

Consecuentemente con estas previsiones y con su trascendencia, el presente trabajo de investigación sobre el Sistema Hidrográfico integrado de las cuencas de los ríos Júcar y Segura comprende dos objetivos:

- a. La determinación del proceso hidrológico actual como base para la evaluación de los recursos hídricos disponibles. En síntesis, responder a la cuestión básica de ¿Cuánta agua hay?.
- b. Proyectar los impactos que un cambio climático podría tener sobre los recursos hídricos de la cuenca vertiente.

La evaluación y proyección de estos recursos hídricos se ha realizado sobre un vasto Sistema Hidrográfico de 61.789,89 Km<sup>2</sup> vertiente a las cuencas de los ríos Júcar (42.735,32 Km<sup>2</sup>) y Segura (19.054,57 Km<sup>2</sup>). Integración que evita el sesgo cartográfico de los datos correspondientes a cada una de las cuencas. Una región hidrográfica mediterránea a través de la cual se opera la transición entre la cuenca del Ebro y la zona esteparia y desértica del bajo Segura.

#### LA EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SOBRE EL SISTEMA HIDROGRÁFICO: METODOLOGÍA DE CÁLCULO

##### *El proceso hidrológico*

Los recursos hídricos disponibles han sido evaluados como balance hidrológico natural de un sistema hidrográfico dotado de independencia con respecto a transferencias exteriores. En este sentido la evaluación de los recursos hídricos totales, tanto superficiales como subterráneos, ha sido efectuada mediante la concepción del ciclo del agua. Concepto bajo el cual, los recursos naturales propios son los que se generan a partir de la precipitación y que subsistentes a la evapotranspiración nutren y son aportados a través de las escorrentías superficiales directas y de la recarga a los acuíferos.

No obstante, este balance hidrológico, en su régimen natural, es una tarea que ofrece tan grandes dificultades que imposibilitan su resolución técnica. En efecto, los datos básicos para este conocimiento deberían estar basados en las medidas de las estaciones de aforos. Habida cuenta de que estos aforos miden simultáneamente las aportaciones superficiales así como también las subterráneas que, en cada punto de la cuenca, se incorporan al cauce, procedentes de infiltraciones aguas arriba. Lamentablemente los datos de las estaciones de aforos, escasos y no bien calibrados, suelen medir regímenes afectados. Ello impide obtener una información suficiente sobre la evolución de los caudales detraídos o retornados de los ríos en sus diversos usos o afecciones. Consecuentemente,

como hemos dicho, estas limitaciones determinan que la restitución de los caudales, en régimen natural, sea una tarea de enormes dificultades.

Ante esas incertidumbres, la metodología empleada en la restitución del régimen hidrológico, ha consistido en evaluar los recursos hídricos mediante la modelización de los elementos climáticos básicos que intervienen en el ciclo del agua. Esta metodología es la más aconsejable en territorios extensos. Así, frente a las dificultades que plantean los aforamientos y de las insuficientes redes de medida e superficiales y subterráneas, la red meteorológica permite mejores resultados.

### *Técnicas empleadas*

Los datos empleados han sido las capas de temperatura y precipitación de la base WorldClim – Global Climate Data (WORLDCLIM). Estas capas han sido obtenidas por interpolación de datos mensuales y con una resolución de 30 segundos de grado (aproximadamente 1 km<sup>2</sup>). Dicha interpolación ha utilizado las principales bases de datos climáticas compiladas por la «*Global Historical Climatology Center*», la FAO y la OMM, además de otras bases de menor entidad, la base de datos de alturas SRTM y el software ANUSPLIN (Hijmans, 2005). Sobre estas capas de temperatura y precipitación se ha aplicado la fórmula de Turc para calcular la evapotranspiración real y, finalmente, la escorrentía resultante. El software empleado para dichos cálculos ha sido QGIS, el sistema de información geográfica líder de código abierto para escritorio. Actualmente, se encuentra disponible la versión QGIS 2.10 Pisa (QGIS).

Las capas de temperatura y precipitación se encuentran en formato ráster (WORLDCLIM) y se pueden cargar sin tratamiento previo en QGIS. Tan sólo se han delimitado las dos cuencas, gracias a las capas disponibles en la web de descargas del Ministerio de Agricultura, Medio Ambiente y Urbanismo (MAGRAMA). Los cálculos de la ETR y de la escorrentía se realizan con la calculadora ráster, mientras que los datos promedio de cada capa se pueden obtener como metadatos en sus respectivas propiedades. Por último, la representación cartográfica se ha elaborado con el diseñador de impresión de QGIS.

De este modo, los recursos hídricos del Sistema Integrado Júcar-Segura pueden ser evaluados mediante la modelización de los elementos climáticos básicos que intervienen en el ciclo del agua. Estos elementos son los registros de las temperaturas (T), precipitaciones (P) y el cálculo de las evapotranspiraciones potencial (ETP) y reales (ETR). Elementos de cuyas interacciones surge el concepto básico de la escorrentía total o recursos hídricos disponibles (E) o aportaciones en régimen anual:

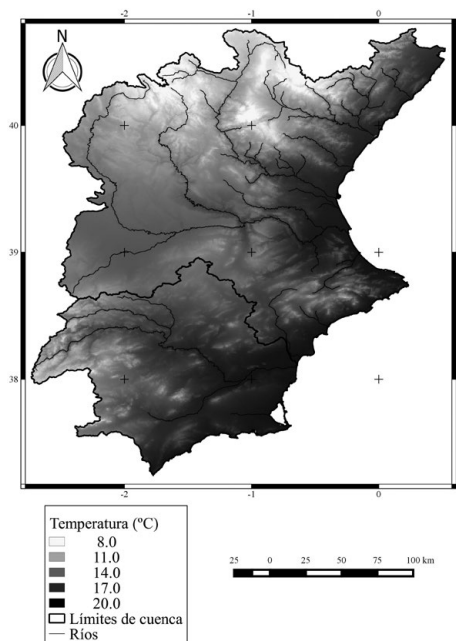


Figura 2. Temperaturas medias anuales sobre las cuencas de los ríos Júcar y Segura (1950-2000). La temperatura media regional es de 13,82 °C.

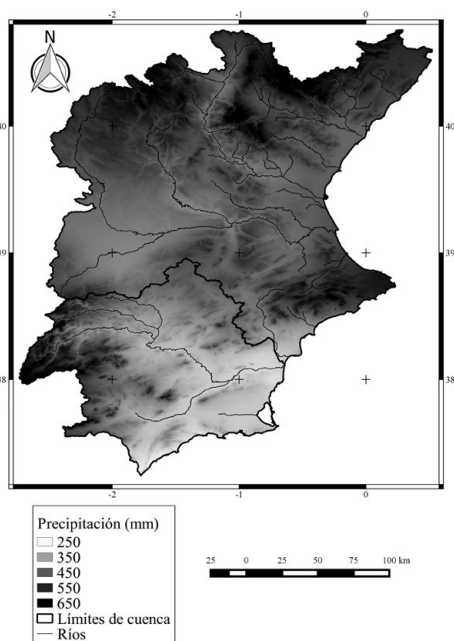


Figura 3. Precipitaciones medias anuales sobre las cuencas de los ríos Júcar y Segura (1950-2000). El valor medio de la precipitación regional es de 453,45 mm.

$$E = P - ETR$$

Este método permite alcanzar buenos resultados. Incluso por definición estos resultados pueden ser óptimos sobre la base de reunir dos condiciones.

1. La primera es que la red meteorológica disponible no presente sesgos de localización que falseen la modelización cartográfica posterior.
2. La segunda es la medida rigurosa de la evapotranspiración.

El análisis de la evapotranspiración se revela crucial. En efecto, si bien la aportación pluviométrica constituye la fuente por excelencia de las provisiones acuíferas, los recursos hídricos disponibles no son todos esos volúmenes de agua precipitados ya que una gran parte de los mismos es consumida en los procesos de evaporación física y la biológica. Ello es tan cierto, que los denominados países áridos deben esa característica climática más a la fortísima evaporación que a la misma escasez de precipitaciones. De ahí la gran importancia que tiene conocer con la mayor precisión posible la magnitud de la evaporación, el factor clave del ciclo del agua.

### *La evapotranspiración potencial*

La ETP ha sido calculada mediante el método de Turc. Este método es el que, junto a su buena adaptación a los datos meteorológicos existentes, muestra la mejor aplicabilidad a la planificación hidrológica (PHN, 2001), por su mejor concepción para evaluar la ETR y consecuentemente para las proyecciones de cambio climático. Los cálculos requieren de dos variables: la temperatura y la radiación solar

Estas vinculaciones constituyen la base de la formulación de Turc para la ETP en mm (Turc, 1954, 1961):

$$ETP = \frac{t}{t+15} (Rs + 50(0,37))$$

donde  $t$  es la temperatura media del mes y  $Rs$  es la radiación solar global día en cal.  $\text{cm}^{-2}$  (Quereda Sala y Calvo Cases, 1982; Quereda Sala et al., 2015). Este factor, junto al Atlas de la Radiación Solar en España (Sancho Ávila et al., 2012), se puede calcular mediante

$$Rs = RA (0,29 \cos \phi + 0,54I)$$

donde  $RA$  es la radiación solar media recibida en el límite de la atmósfera en cal.  $\text{cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ;  $\phi$ , la latitud e  $I$ , el cociente de insolación.

### *La evapotranspiración real*

Sin embargo, dado que las cantidades de agua disponibles en el suelo no son siempre suficientes para que las evapotranspiraciones alcancen el valor total potencial exigido por la atmósfera:

$$ETR \leq ETP$$

Las diferencias son más acusadas a medida que el territorio es más seco. Estas diferencias llegan a superar el 50% en la mayor parte de nuestra región. El valor medio supera el 70% de la ETP. De este modo, la ETR viene pues a representar el valor real de las pérdidas de agua por evapotranspiración. La diferencia entre las precipitaciones y las evapotranspiraciones reales representa el valor de la escorrentía total o recursos hídricos disponibles.

El valor de la ETR ha sido calculado igualmente mediante el método de Turc. La formulación de Turc para el cálculo medio anual de la ETR en cada observatorio:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

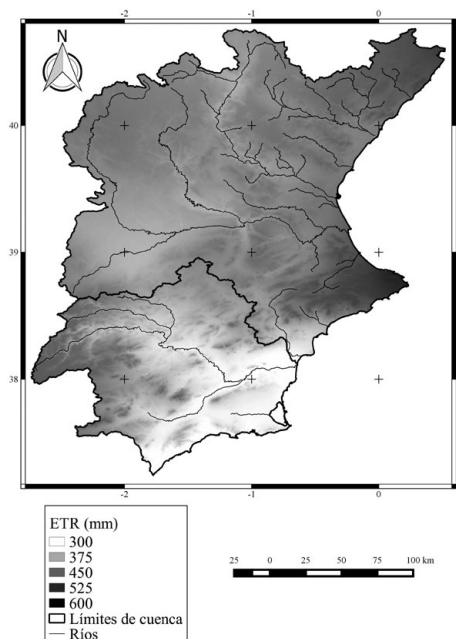


Figura 4. Valor de la ETR sobre las cuencas de los ríos Júcar y Segura (1950-2000). El valor medio de la evapotranspiración real (ETR) es de 395,5mm.

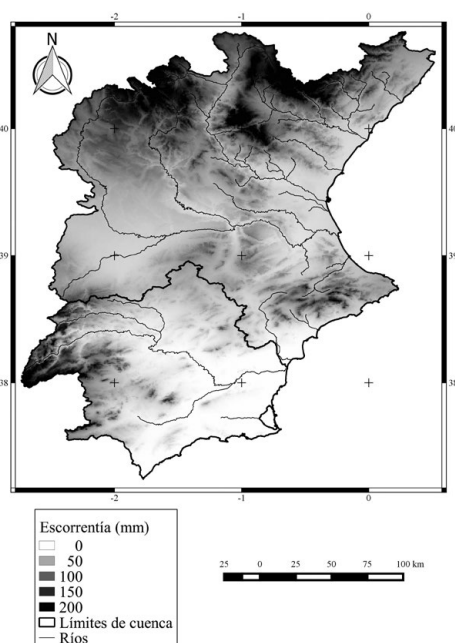


Figura 5. Valor de la escorrentía sobre las cuencas de los ríos Júcar y Segura (1950-2000). El valor medio regional de la escorrentía es de 58,53 mm. Escorrentía que equivale a un total de 3.614,70 Hm<sup>3</sup> en los recursos hídricos disponibles, sobre los 61.789,89 Km<sup>2</sup> de cuenca integrada,

siendo ETR, la evapotranspiración total media anual (mm); P, la precipitación media anual (mm);  $L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$  y T, la temperatura media anual (°C).

Los resultados obtenidos son el fundamento de la cartografía representada en la figura 4. El valor medio de la ETR es de 395,5mm.

#### *El cálculo de la escorrentía*

La evaluación de la escorrentía media anual ha sido efectuada con la metodología de Turc. Este método analítico, si bien mantiene la misma dependencia de la temperatura que el método de Thornthwaite utilizado en la ETP/ETR, integra en su formulación el valor de las precipitaciones para hallar la escorrentía media total anual o recursos hídricos disponibles. Un método que al utilizar la precipitación (P) y la temperatura (T), permite proyecciones basadas en la alteración de esos elementos. Este método analítico, aplicable a los distintos observatorios termopluviométricos, está basado en la siguiente ecuación:

$$A = P - \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{300 + 25 + 0,05T^3}\right)^2}}$$

siendo A, la escorrentía total media anual (mm); P, la precipitación media anual (mm) y T, la temperatura media anual (°C).

La cartografía elaborada (figura 5) permite calcular un valor medio de la escorrentía actual de 58,5 mm. Ello equivale a un total de recursos hídricos, sobre los 61.789,89 Km<sup>2</sup> de cuenca integrada, de 3.614,70 Hm<sup>3</sup>.

#### PROYECCIÓN DE LOS IMPACTOS QUE UN CAMBIO CLIMÁTICO PODRÍA TENER SOBRE EL PROCESO HIDROLÓGICO Y LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL SEGURA

Finalmente, sobre el fundamento del análisis climático y de la modelización del proceso hidrológico es posible alcanzar el segundo objetivo: proyectar los impactos que un cambio climático podría tener sobre el proceso hidrológico y los recursos hídricos del Sistema Hidrográfico integrado Júcar-Segura. Objetivo principal a tenor de las actuales predicciones de desertificación que los modelos desarrollados establecen sobre la región mediterránea. A tal efecto y dadas las estrechas relaciones existentes entre los elementos climáticos que intervienen en el ciclo hidrológico natural, ha sido posible establecer funciones de ajuste que vinculen las escorrentías totales con las precipitaciones y la temperatura. Asimismo, la formulación de Turc, basada en esos elementos del clima regional, ha permitido aproximar la magnitud del impacto que un cambio climático podría tener sobre los recursos hídricos. En este orden de conocimientos de planificación, y sin menoscabo de las grandes incertidumbres inherentes a la hipótesis de cambio climático, es posible realizar una proyección de posibles impactos sobre los recursos hídricos bajo los escenarios climáticos derivados de la tendencia observada en el análisis climático.

#### *El escenario climático en el horizonte del año 2050*

Viene configurado por las tendencias que las temperaturas y precipitaciones han venido registrando durante los últimos 65 años. Las series térmicas de los 22 observatorios regionales con datos desde 1950, debidamente homogeneizadas mediante el SNHT (Alexandersson, 1986; Alexandersson and Moberg, 1997; Moberg and Alexandersson, 1997), han mostrado una elevación de la temperatura. El valor medio de la tendencia entre los observatorios urbanos y los correspondientes a núcleos de población inferior a 3.000 habitantes, podría situarse en 0,02. Este valor, extrapolado al año 2050 permitiría situar un escenario térmico



con un aumento de 1 °C en la temperatura media anual (figuras 6 y 7).

Este escenario atmosférico podría venir caracterizado simultáneamente por una reducción de las precipitaciones regionales. En efecto, en los primeros modelos basados en las interacciones atmósfera-oceano sobre el funcionamiento del sistema climático, el desplazamiento hacia el Norte de la zona subtropical boreal de altas presiones reducía considerablemente la extensión de la zona de lluvias invernales, ahora responsable de la alimentación en agua de la región mediterránea (Flohn, 1979; Montón Chiva y Quereda Sala, 1997). Como consecuencia de ello sobre la región Mediterránea se produciría una marcada disminución de la lluvia del orden de un 20 a un 25 % en el transcurso de los próximos 40-50 años (Parry, 2000 y Quereda Sala et al., 2000).

Éste era muy aproximadamente el escenario climático previsto por el IPCC en su segundo informe para el año 2030 y basado en la simulación del *Atmosphere-Ocean Model* bajo un incremento del CO<sub>2</sub> del 1 % anual. Las medidas de escala global tratadas (Hulme, 1994) mostraron un efecto coincidente sobre el periodo 1981-1995, acorde con el dipolo «deseccación mediterránea-humidificación sobre Europa occidental y nórdica» (André et Royer, 1999). Bajo estas condiciones atmosféricas la severidad de la sequía se iría acusando hacia el sur. La cuenca del río

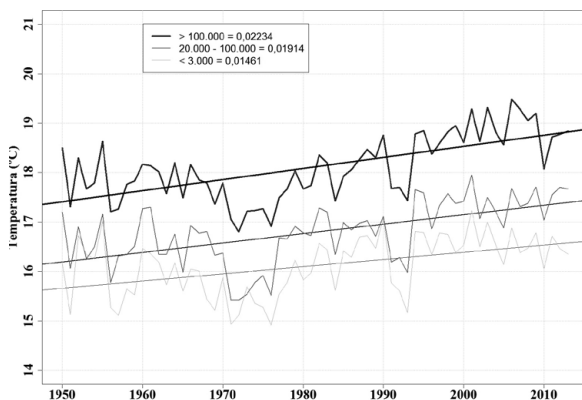


Figura 6. Evolución térmica regional. Series homogeneizadas mediante el SNHT.

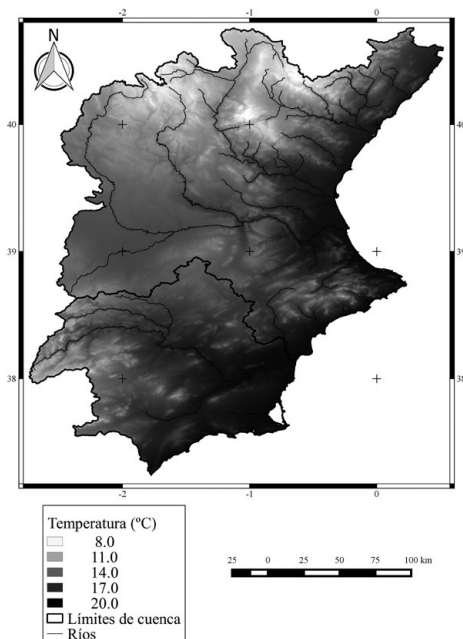


Figura 7. La temperatura bajo el escenario climático previsto en las cuencas de los ríos Júcar y Segura (2050). El valor medio regional sería de 14,82° C.

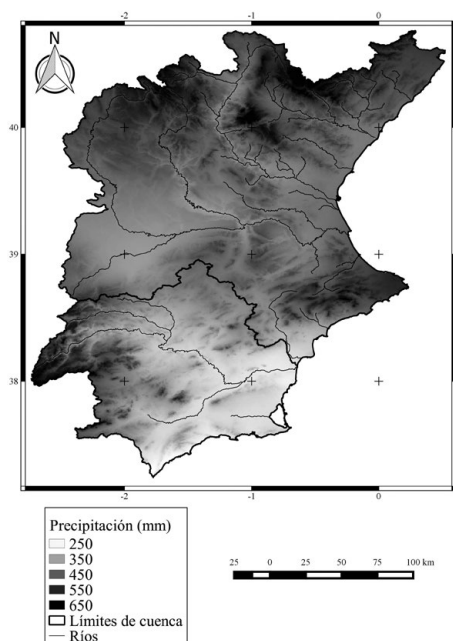


Figura 8. La precipitación bajo el escenario climático previsto en las cuencas de los ríos Júcar y Segura en el horizonte del 2050. El valor medio de la precipitación regional sería de 430,78 mm.

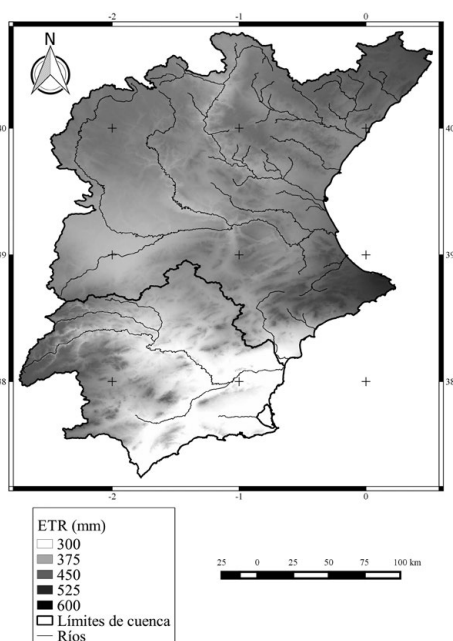


Figura 9. La evapotranspiración real (ETR) bajo el escenario climático previsto en las cuencas de los ríos Júcar y Segura, en el horizonte del 2050. El valor medio regional de la ETR sería de 42,19 mm.

Segura asistiría a una reducción media del 25-30 % de sus recursos pluviométricos en el horizonte del año 2030. Este es el modelo dinámico que ha continuado en las bases científicas de los cuarto y quinto informes del IPCC.

Sin embargo, esta tendencia regresiva no ha sido verificada en los registros actuales. En consecuencia, las proyecciones más recientes matizan esta tendencia de disminución pluviométrica sobre la vertiente mediterránea de España. La complejidad espacial y temporal de esta región determina que las incertidumbres persistan categóricamente en la proyección de este elemento climático. La conclusión más aceptada es que las precipitaciones no muestran tendencias significativas. Prueba de ello es el cambio de la precipitación anual previsto en la reciente generación de escenarios de cambio climático para España (MARM, 2007). Los resultados obtenidos a partir de los datos del modelo global HadCM2 presentan una reducción media en el valor de la precipitación del -4% en la Cuenca del Júcar (Chirivella Osma y Capilla Roma, 2010).

Consecuentemente con todas estas investigaciones, el objetivo final de nuestro estudio: proyectar los impactos que un cambio climático podría tener sobre

los recursos hídricos regionales, ha adoptado un escenario climático configurado por un aumento de 1 °C en la temperatura media (figura 7) y una reducción del 5 % en las precipitaciones medias (figura 8). Bajo estas condiciones atmosféricas, la ETR tendría un valor medio de 388,58 mm (figura 9).

Consecuentemente ha sido posible calcular la escorrentía final bajo ese escenario climático definido por una temperatura media de 14,82 °C y una precipitación media de 430,78. En el seno de estas condiciones climáticas, la escorrentía tendría un valor medio de 42,19 mm (figura 10). Los recursos hídricos futuros se reducirían a 2.606,9 Hm<sup>3</sup> a partir de los 3.614,70 Hm<sup>3</sup> actuales. Ello equivaldría a una disminución del 28 %.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo se inserta sobre uno de los principales retos científicos de la climatología mediterránea: el análisis del proceso de desertificación que podría sobrevenir bajo los efectos de un cambio climático. Su aplicación al Sistema Hidrográfico integrado de las cuencas de los ríos Júcar y Segura (61.789,89 Km<sup>2</sup>) ha comprendido un objetivo esencial: la determinación del proceso hidrológico actual como punto de partida para proyectar los impactos que un cambio climático podría tener sobre los actuales recursos hídricos de esa gran vertiente. Una región hidrográfica mediterránea a través de la cual se opera la transición entre la cuenca del Ebro y la zona esteparia y desértica del bajo Segura.

Los valores obtenidos, mediante la aplicación de los algoritmos de Turc, sobre los puntos de observación meteorológica han sido cartografiados mediante técnicas de kriging para obtener una malla regular. Los valores promedios regionales se han calculado mediante el uso de QGIS, un sistema de información geográfica de código abierto. En síntesis, una cartografía, sobre los 61.789,89 Km<sup>2</sup> de las cuencas de los ríos Júcar y Segura, que ha permitido conocer de cuantos

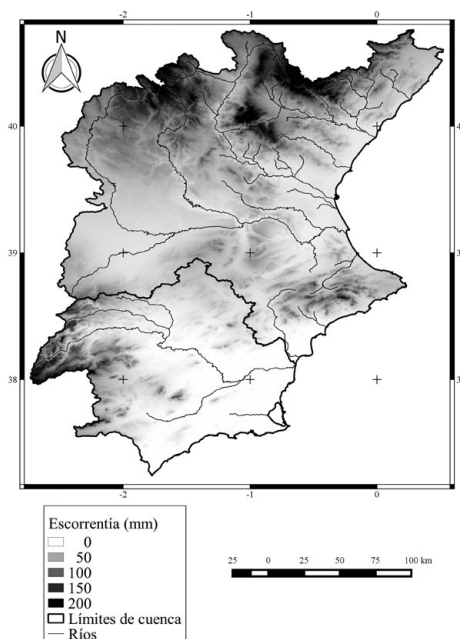


Figura 10. La escorrentía bajo el escenario climático previsto en las cuencas de los ríos Júcar y Segura en el horizonte del 2050. El valor medio de los recursos hídricos disponibles sería de 2.606,9 Hm<sup>3</sup>. Ello equivaldría a una disminución del 28 %.

recursos hídricos se dispone actualmente y especialmente de cuantos recursos se dispondría bajo el impacto de un cambio climático. Este escenario futuro ha sido estimado, a partir de las tendencias observadas, con un aumento de 1 °C en la temperatura media y un 5 % de reducción de las precipitaciones. El resultado obtenido permite situar las disponibilidades hídricas en tan sólo 2.606,9 Hm<sup>3</sup> a partir de los 3.614,70 Hm<sup>3</sup> actuales. Ello equivaldría a una disminución del 28 % en los recursos hídricos. Un proceso de desertificación dramático ya que las demandas estimadas, para el año 2030, se situarían en 5.126 Hm<sup>3</sup> (PHN, 2001).

La metodología y técnicas geoestadísticas de interpolación tipo spline para obtener un mallado con una muy alta resolución de 30 segundos de grado (aproximadamente 1 km<sup>2</sup>) han determinado que los resultados obtenidos presenten sensibles diferencias con los que han sido presentados en estudios anteriores y recientes planificaciones hidrográficas. Sin duda, la metodología en el establecimiento de la base pluviométrica del WorldClim – Global Climate Data (WORLDCLIM) es la principal responsable de una reducción en el valor presente y futuro de los recursos hídricos resultantes.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDERSSON, H. (1986): «A homogeneity test applied to precipitation data». *International Journal of Climatology*, 6, 661-675.
- ALEXANDERSSON, H. and MOBERG, A. (1997): «Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends». *International Journal of Climatology*, 17, 25-34. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088(199701)17:1<25::AID-JOC103>3.0.CO;2-J
- ALMARZA, C. (1984): *Fichas hídricas normalizadas y otros parámetros hidrometeorológicos*, INM, 3 vols.
- ANDRÉ, J-C., ROYER, J., (1999): «Fluctuations à court terme du climat et l'interprétation des observations récentes en termes d'effet de serre», *La Météorologie*, 8.<sup>a</sup>, série, 28, 12-22.
- AWSET (2001): *Potential Evapotranspiration Program for Automatic Weather Stations*, Cranfield University, 35 pp.
- ALLEN, R.G. and PRUITT, W.O. (1986): «Rational use of the FAO Bladney-Criddle formula», *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 112, No. 2, pp. 139-155,
- BROCHET, P., GERBIER, N., RÉMOIS, P., ALLOUIS, R. et LAMBERT. C. (1977): *Etude agrométéorologique du blé tendre d'hiver*. Monographie de la Météorologie Nationale, n.º 101.
- CHJ (Confederación Hidrográfica del Júcar) (1999): *Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar*, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 32 pp.
- CHIRIVELLA OSMA, V. y CAPILLA ROMA, J. (2010): *Caracterización de los futuros escenarios climáticos en la Comunidad Valenciana: propuestas de mejora para la evaluación de la oferta y demanda de recursos hídricos*, Tesis doctoral, UPV. 314 pp.

- DAS, M.M and SASKIA, M.D. (2009): *Water Power Engineering*, Raj. Press, New Delhi, 425 pp.
- DOORENBOS J., PRUITT W.O (1974): *Las necesidades de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje n.º 24. Roma.
- DOORENBOS, J. and PRUITT, W. O. (1975): *Guidelines for predicting crop water requirements, Irrigation and Drainage Paper 24*, FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- DOORENBOS, J. and PRUITT, W. O. (1977): *Guidelines for predicting Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 24*, (rev) FAO, Rome.
- DOORENBOS, J y KASSAM, A.K. (1979): *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos*. Estudio FAO.: Riego y drenaje, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- DOORENBOS, J. y PRUITT W.O. (1990): *Las necesidades de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje n.º 24. Roma.
- ELIAS CASTILLO, F, y CASTELVI SENTIS, F (1996): *Agrometeorología*, Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 516 pp.
- FLOHN, H. (1979): «Notre avenir climatique: un Ocean Artique libre de glaces?», *La Météorologie*, VI, 16, pp. 35-51.
- HARGREAVES, G. (1988): Discussion of «Rational Use of the FAO Blaney-Criddle Formula» by Richard G. Allen and William O. Pruitt (May, 1986, Vol. 112, No. 2):» *J. Irrig. Drain Eng.*, 114(2), 373-375.
- HIJMANS, R.J., CAMERON, S.E., PARRA, J.L., JONES, P.G. and JARVIS, A. (2005): «Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas». *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978.
- HULME, M. (1994): «Century-scale time series of regional rainfall anomalies in Africa». pp 964-973. En T. A. BODEN, D. P. KAISER, R.J. SEPANSKI and F. W. STOSS (eds.), *Trends '93: A compendium of data on global change*, ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn. U.S.A.
- IPCC, (2007a): Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- IPCC, (2007b): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- 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., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.

- MAGRAMA. *Descargas del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente* <<http://www.magrama.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/default.aspx>> [Consulta: 2 de septiembre de 2015].
- MARM (2007): *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. (Madrid: Secretaría de Estado de Cambio Climático).
- MOBERG, A. and ALEXANDERSSON, H. (1997): «Homogenization of Swedish temperature data, Part II: Homogenized gridded air temperature compared with a subset of global gridded air temperature since 1861». *International Journal of Climatology*, 17, 35-54. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088(199701)17:1<35::AID-JOC104>3.0.CO;2-F
- MONTEITH J.L. (1965): «Evaporation and environment», *Symposia of the Society for Experimental Biology*, 19: 205-224. PMID 5321565.
- MONTEITH, J.L. (1985): «Evaporation from land surfaces: Progress in analysis and prediction since 1948», pp. 4-12. In *Advances in Evapotranspiration*, Proc. National Conference on Advances, Evapotranspiration, Dec. 16-17, Chicago, IL, Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Mi.
- MONTÓN CHIVA, E y QUEREDA SALA, J. (1997): *¿Hacia un cambio climático? La evolución del clima mediterráneo desde el siglo XIX*. Fundación Dávalos-Fletcher, 537 pp.
- PARRY, M.L. (Ed.) (2000): *Assessment of the Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project*. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, UK, 320pp
- PENMAN, H.L. (1948): *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Proc. Roy. Soc. London A (194), S. 120-145.
- PENMAN, H.L. (1953): *The physical basis of irrigation control*. Rep. 13th Intl. Hort. Congr., 2, 913-914.
- PRIESTLEY, CH.B. and TAYLOR, R.J. (1972): «On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters», *Monthly Weather Review*, 100, (2):81-82. doi:10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2.
- PHN (Plan Hidrológico Nacional) (2001): *Plan Hidrológico Nacional, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente*, 5 vols.
- QGIS. *QGIS – Un sistema de información geográfica libre y de código abierto*. <<http://www.qgis.org/es/site/>> [Consulta: 4 de agosto de 2015].
- QUEREDA SALA, J. (2008): *Curso de Climatología General*, Colección Universitas, 280 pp.
- QUEREDA SALA, J. y CALVO CASES, A. (1982): «El ciclo del agua y su importancia», *Millars VII*, pp.25-48.
- QUEREDA SALA, J., GIL OLCINA, A., PÉREZ CUEVA, A., OLCINA CANTOS, J., RICO AMORÓS, A. and MONTÓN CHIVA, E. (2000): «Climatic warming in the Spanish Mediterranean: Natural Trend or Urban effect», *Climatic Change*, 46, 4. Univ. of Stanford, Kluwer Academic.
- QUEREDA SALA, J., MONTÓN CHIVA, E. y ESCRIG BARBERA, J. (2009a): *Escenario de cambio climático y de su impacto sobre los recursos hídricos en las cuencas del Júcar y del Segura*. Actas III Congreso Nacional de la Ingeniería Técnica Agrícola,

- Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Valencia y Castellón*. pp. 71-87.
- QUEREDA SALA, J., MONTON CHIVA, E. y ESCRIG BARBERA, J. (2009b): *Evaluación del cambio climático y de su impacto sobre los recursos hídricos en la Cuenca del Júcar*. Gv-Fundación Agua y Progreso, 165 pp.
- QUEREDA SALA, J., MONTÓN CHIVA, E. y ESCRIG BARBERA, J. (2010): «Los recursos hídricos en el Sistema Hidrográfico del río Mijares-La Plana», *Investigaciones geográficas*, n.º 51, pp. 185-202.
- QUEREDA SALA, J., MONTÓN CHIVA, E., MOLLA CANTAVELLA, B. y QUEREDA VÁZQUEZ, V. (2015): «La radiación solar en la vertiente mediterránea del Sistema Ibérico», *BSCC*. Tomo LXXXIX, pp. 5-20.
- SANCHO ÁVILA, J.M., RIESCO MARTÍN, J., JIMÉNEZ ALONSO, C., SÁNCHEZ DE COZ ESCUIN, M.C. y LÓPEZ BARTOLOMÉ, M. (2012): *Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT*, Agencia Estatal de Meteorología.
- THORNTHWAITE, C.W. (1948): «An approach toward a rational classification of climate». *Geographical Review*: 55-94.
- THORNTHWAITE, C.W. (1948): «Micrometeorology of the surface layer of the atmosphere». *Public. Climat.* 1 bis, 5.
- THORNTHWAITE, C.W. and MATHER, J.R. (1955): «The water balance». *Publications in Climatology*, 8 (1):Laboratory of Climatology. Centerton, N.J.
- TURC, L. (1954): «Le bilan d'eau des sols: Relations entre les Precipitations, l'Evapotranspiration et l'Écoulement», *Annales Agronomiques*, pp. 491-595.
- TURC, L. (1961): «Evaluation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle». *Annales Agronomiques*, pp.13-49.
- WORLDCLIM. *WorldClim – Free climate data for ecological modelling and GIS*. <<http://www.worldclim.org/download/>> [Consulta: 4 de agosto de 2015].