

# Valoración económica de los fallos de suministro en los regadíos de la cuenca del Segura

JOSÉ MIGUEL MARTÍNEZ PAZ (\*)

ÁNGEL PERNI (\*)

PEDRO RUIZ CAMPUZANO (\*)

FRANCISCO PELLICER MARTÍNEZ (\*)

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural indispensable para el desarrollo de la agricultura de regadío. En España, con el fin garantizar su suministro, las administraciones públicas han llevado a cabo importantes infraestructuras, que van desde la construcción de embalses, canales de trasvase y modernización de los sistemas de riego, hasta el impulso más reciente de la reutilización de aguas y la desalación. Según datos del Censo Agrario, el 85% de los 3,6 millones de hectáreas de superficie regable en España fue efectivamente regada (INE, 2012). No obstante, las previsiones de cambio climático para la Península Ibérica indican que el mantenimiento del regadío español se encuentra amenazado como consecuencia de la mayor frecuencia e intensidad de periodos secos, con severos impactos sobre la producción y el empleo (Leal-García y Gómez-Cantero, 2015).

La satisfacción de las demandas de agua en territorios donde ésta es escasa conlleva conflictos entre los agentes económicos en competencia por el

---

(\*) Instituto Universitario del Agua y el Medio Ambiente. Universidad de Murcia .

---

- Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros, n.º 244, 2016 (35-67).  
Recibido noviembre 2015. Revisión final aceptada mayo 2016.

recurso, que en el caso español se ve frecuentemente reflejado en las instituciones que han de dirimir el problema de su asignación (Berga, 2010). Un claro ejemplo es el caso de las transferencias de agua inter-cuencas, que ha dado lugar a posiciones enfrentadas entre regiones: la fuerte oposición de la Comunidad Autónoma de Aragón a trasvases desde su territorio está recogida en su propio Estatuto de Autonomía, que asigna a los poderes públicos la tarea de “*velar especialmente para evitar transferencias de aguas de las cuencas hidrográficas de las que forma parte la Comunidad Autónoma que afecten a intereses de sostenibilidad*”. Mientras tanto, el Estatuto de la Comunidad Autónoma de Valencia reconoce explícitamente el derecho de redistribución de los sobrantes de aguas de cuencas excedentarias (Sánchez-Martínez et al., 2012).

El caso de la Demarcación Hidrográfica del Segura (DHS) resulta paradigmático dentro del contexto español. Esta área del sureste ibérico cuenta con un sector agrícola estratégico, dados sus niveles de producción y exportación con importantes efectos multiplicadores en la economía regional y nacional. Sin embargo, el desfase entre oferta y demanda de agua vulnera la sostenibilidad de la cuenca (Martínez-Fernández y Esteve-Selma, 2000), generando impactos económicos (p.ej. menor producción agraria), ambientales (p.ej. deterioro de las masas de agua), sociales (p.ej. desvalorización del agua como bien público) e institucionales (p.ej. conflictos entre usuarios). Además, cabe destacar que parte de las demandas son cubiertas por el Trasvase Tajo-Segura (TTS), infraestructura que da lugar a un recurrente debate acerca de si se debe suprimir, por la afección que supone a la cuenca cedente, o mantener, dado los impactos que su cese generaría en la cuenca receptora tras décadas de implantación (CROEM, 2010).

En aras de una mejor gestión y planificación del agua, la Directiva Marco del Agua estableció en el año 2000 los principios y criterios directores de la política de aguas en la Unión Europea (DOCE, 2000), dando un papel protagonista al análisis económico en la generación de información y la toma de decisiones de cara a la elaboración de los planes hidrológicos de cuenca (Martín-Ortega, 2012). En este sentido, desde el ámbito académico, el análisis económico del agua ya ha venido aportando interesantes evidencias para una mejor gestión pública del recurso en España (Gómez-

Limón et al., 2009). En el caso del agua de regadío, cabe destacar los trabajos sobre la productividad y el valor del agua (Berbel y Mesa, 2007; Gil et al., 2009; Berbel et al., 2011), los costes ambientales de la sobreexplotación (Martínez-Paz y Perni, 2011), los sistemas de tarificación (Gómez-Limón y Riesgo, 2004) o la implantación de mercados de agua (Palomo-Hierro et al., 2015). Para la DHS algunos trabajos analizan el valor económico del agua en la agricultura en diferentes casos de estudio a nivel local y provincial (Ballesteros et al., 2002; Colino y Martínez-Paz, 2007). Otros han estudiado el impacto del TTS desde una perspectiva económica. Por ejemplo, Alcalá-Agulló y Sancho-Portero (2002) y PWC (2013) estudian las relaciones agregadas entre la disponibilidad de recursos hídricos trasvasados y la producción agrícola; San Martín (2011) realiza un análisis coste-beneficio del TTS; y Calatrava y Martínez-Granados (2012) estiman el valor de uso del agua de regadío así como el impacto del TTS mediante programación matemática.

El objetivo de este trabajo es predecir y analizar los fallos de suministro de agua en las demandas de regadío en la DHS bajo diferentes escenarios de planificación hidrológica, con el fin de estimar indicadores cuantitativos de déficits en términos de volumen y valor económico. A diferencia de los trabajos antes citados, el análisis propuesto se basa en la modelización conjunta de las actividades de regadío y del sistema de explotación de recursos hídricos de la demarcación, el cual incluye todas las infraestructuras, ofertas y demandas existentes. De esta manera, se simulan las posibilidades de decisión de gestores y agricultores en el marco institucional y territorial actual, introduciendo las restricciones de la red de suministro existente.

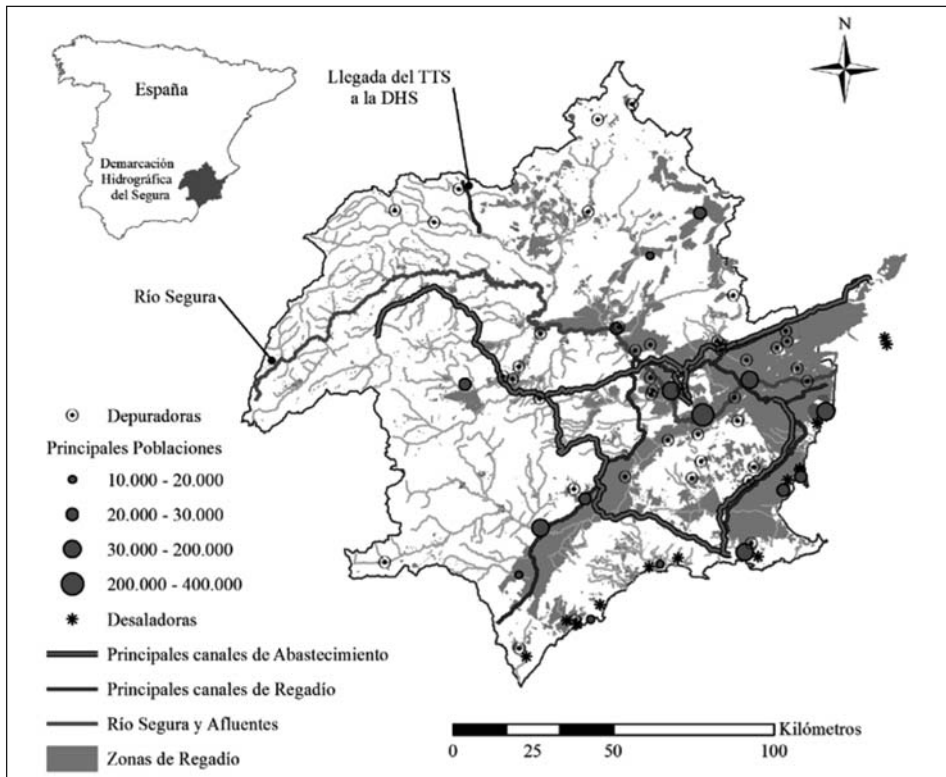
## 2. LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA

La DHS es la unidad territorial de gestión de los recursos hídricos de la cuenca del río Segura. Está ubicada en el sureste de la Península Ibérica y cuenta con una superficie de 18.740 km<sup>2</sup>, abarcando tanto la propia cuenca del río Segura, como otras pequeñas cuencas costeras sin cauces permanentes (Figura 1). La cuenca presenta en su conjunto un clima semiárido (Grindlay et al., 2011), siendo la precipitación media de 400

mm/año con una fuerte variabilidad espacial y temporal: en el noroeste son superiores a 1.000 mm/año y en las zonas de costa pueden llegar a ser inferiores a 200 mm/año. Las temperaturas medias anuales son elevadas, entre 10 y 18°C, lo que implica una elevada evapotranspiración potencial media, en torno a 700 mm/año, y un bajo coeficiente de escoorrentía (0,15). La variabilidad temporal de la temperatura, y por ende la de la evapotranspiración potencial, presenta un marcado patrón estacional en el que los valores son mínimos en los meses de invierno y máximos en los meses de verano. Por otro lado, las precipitaciones máximas se producen en los meses de invierno y primavera, siendo escasas durante los meses de verano.

Figura 1

LOCALIZACIÓN Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE LA DHS



Fuente: elaboración propia.

La coexistencia de suelos de calidad, un clima benigno y una larga tradición hortofrutícola ha favorecido el desarrollo de una agricultura de regadío muy productiva, que actualmente ocupa una superficie neta en riego de unas 270.000 hectáreas y consume más del 80% de los recursos hídricos disponibles en la demarcación. El segundo uso de agua más importante es el urbano, con un 13% de la demanda total de la DHS, el cual ha experimentado un fuerte incremento en los últimos años tanto por el crecimiento de la población residente en la zona, que en total supera los dos millones de personas, como por la creciente demanda del sector turístico en la costa (Grindlay et al., 2011).

Debido al peso de los sectores agrario y turístico en la economía de la cuenca, la demanda de agua tiene un marcado carácter estacional, requiriendo un mayor volumen de agua en el periodo estival. Por el contrario, los recursos en régimen natural se generan principalmente en invierno y primavera, y son mínimos en verano. Este desfase estacional, junto a los frecuentes periodos de sequía que sufre la cuenca, viene propiciando la construcción de importantes infraestructuras hidráulicas ya desde principios del siglo XX, principalmente canales y embalses. Estas últimas infraestructuras, si bien son actualmente capaces de almacenar más de 1.100 hm<sup>3</sup>, que es un volumen mayor a los recursos hídricos superficiales medios anuales, no han terminado de solucionar los problemas de suministro. Es por ello que en 1979 comenzó a funcionar el TTS, y desde 1998 se han acometido otras actuaciones complementarias, principalmente la desalación y la depuración de los retornos urbanos y su reutilización directa en regadío. Sin embargo, aún hoy la DHS es la única demarcación de España con un déficit estructural reconocido a nivel institucional (CHS, 2013a).

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. Estructura general de la modelización

En planificación hidrológica, un fallo de suministro de agua tiene lugar cuando la cantidad total de agua suministrada es inferior al volumen de agua demandada para su uso en una actividad económica (MARM,

2008a). Así, la magnitud de dicho fallo vendrá determinada por la diferencia entre ambas. El volumen de agua demandada que debe satisfacerse es usualmente estimado por el propio gestor, que establece las dotaciones necesarias de recurso para cada actividad en función de las características propias de los usos existentes en la cuenca. En situaciones de escasez, el objetivo del gestor será minimizar el fallo de suministro en las demandas, y su decisión estará sujeta a factores tales como las características de las masas de agua de la cuenca (p.ej. cantidad y calidad de recurso disponible para su uso), la normativa vigente en materia de aguas (p.ej. requerimientos medioambientales, derechos de uso y criterios de garantía) y la infraestructura de regulación dedicada al almacenamiento, distribución y generación de recursos hídricos. En el caso en el que se centra el presente trabajo, las actividades agrícolas de regadío, la demanda de agua estará determinada por la distribución de cultivos existente en la cuenca y por las posibilidades de asignación del recurso. Si se produce un fallo de suministro en una demanda de regadío, y dependiendo del nivel de éste, el agricultor modifica su plan de cultivos y manejo, con el fin de buscar un óptimo para la cantidad de recurso disponible. Dado el carácter limitante del agua en la función de producción de las explotaciones de regadío, singularmente en la zona de análisis, la renta generada en la situación de déficit será menor que en la situación de abastecimiento completo de la demanda.

En este trabajo, la predicción de los fallos de suministro de agua se ha realizado utilizando el Sistema de Soporte de Decisión (1) Aquatool-Optiges (Optiges), programa que combina modelos matemáticos y bases de datos georreferenciadas para explicar el comportamiento del sistema de explotación de recursos hídricos de una cuenca (Andreu *et al.*, 1996). Optiges permite estudiar y cuantificar el rendimiento de una cuenca frente

---

(1) Los Sistemas Soporte a la Decisión (SSD) son formulaciones capaces de simular de forma integrada el sistema de recursos de una cuenca hidrográfica para un escenario determinado. De una parte, simplifican el funcionamiento del sistema de explotación preservando adecuadamente las interrelaciones entre los principales elementos que lo componen (Pulido *et al.*, 2013). De otra, simulan un mismo escenario bajo diferentes situaciones de caudal, generalmente la serie de caudales histórica ya acontecida, proporcionando como principales resultados series de volúmenes suministrados a las demandas, con los que además generan indicadores de garantía de suministro (Huang and Chou, 2008). En definitiva, sirven para ayudar a conocer el funcionamiento de la gestión actual y para predecir los efectos de posibles actuaciones en la misma (Peterson *et al.*, 2013), por lo que su uso se ha generalizado en la planificación hidrológica de la mayoría de cuencas en las que se disponen datos para implementarlos.

a distintas actuaciones, optimizando la satisfacción de las demandas de acuerdo con unas hipótesis, objetivos y restricciones de partida (Paredes-Arquiola et al., 2014). El módulo de optimización Optiges ha sido testado en varias ocasiones en la demarcación hidrográfica de estudio (CHS, 2007a; 2008; 2013a) para analizar el estado actual y evaluar escenarios futuros.

Por otra parte, la modelización del sistema de cultivos se ha realizado mediante programación matemática lineal basada en el uso de modelos de asignación de superficie, agua y otros factores de producción entre distintas actividades de cultivo (Dury et al., 2012). Esta técnica ha sido ampliamente utilizada en la literatura para la evaluación de políticas, planes y proyectos con impacto sobre el sistema agrario (Viaggi et al., 2009; Das et al. 2015; Galán-Martín et al., 2015), así como para estudiar los efectos derivados de las sequías (Salami et al., 2009).

El acoplamiento de ambos modelos es el siguiente: el modelo de optimización del sistema de explotación de recursos hídricos calcula, para cada escenario, la cantidad de agua disponible para la atención de cada unidad de demanda agraria de la cuenca, que posteriormente es utilizada en el modelo de optimización del sistema de cultivos para estimar indicadores de productividad y valor económico del agua. Dichos indicadores son calculados en relación al escenario óptimo en el que el suministro es igual a la demanda total fijada por el organismo gestor de cuenca para el año de referencia 2009 (CHS, 2013a), es decir, sin fallos de suministro.

### 3.2. Modelización de cuencas con el SSD-OPTIGES

Optiges simula a escala mensual el sistema de recursos hídricos completo de una cuenca hidrográfica mediante la optimización de una red de flujo que recrea sus principales características (conducciones, nudos, embalses, retornos, recursos hídricos, entre otros). Su objetivo es distribuir los recursos hídricos disponibles (principalmente en forma de series históricas de caudales en régimen natural) entre los diferentes tipos de demandas, siguiendo un orden de prioridad de usos, con el fin de minimizar y repartir los déficits en periodos de escasez. Los déficits son la diferencia entre el volumen total requerido, ya sea por una demanda o por una con-

ducción, y el volumen realmente suministrado a la misma por el modelo. La prioridad entre caudales y demandas establecida en la red de flujo se plasma en los coeficientes ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) de la función objetivo ( $F$ ), optimizada para un periodo de  $N$  años con el fin de alcanzar su valor mínimo:

$$\text{Min } F = \text{Min} \left[ \sum_{t=1}^{N12} \left[ \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_j} \alpha_{ij} d_{ijt} + \sum_{p=1}^{n_d} \sum_{q=1}^{n_q} \beta_{pq} d'_{pqt} \right] - \sum_{r=1}^{n_e} \delta_r V_{rN12} \right] \quad (1)$$

Siendo:

- $N$ : número de años de optimización. El intervalo temporal del modelo es mensual, realizando un reparto de recursos hídricos disponibles, pero la optimización se realiza para  $N$  años a la vez.
- $\alpha_{ij}$ : coeficiente asignado al déficit  $d_{ijt}$  del nivel  $j$  del caudal ecológico de la conducción  $i$  en el mes  $t$ .
- $\beta_{pq}$ : coeficiente asignado al déficit  $d'_{pqt}$  del nivel  $q$  de suministro de la demanda  $p$  en el mes  $t$ .
- $\delta_r$ : coeficiente asignado al volumen almacenado en el embalse  $r$  al final del periodo de optimización  $N12$ . Este coeficiente sirve para indicar los embalses prioritarios a la hora de almacenar agua en la cuenca.
- $V_{rN12}$ : volumen almacenado en el embalse  $r$  en la última iteración de la optimización  $N12$ .
- $n_c$ : número de conducciones introducidas en la red de flujo, cada una de ellas con el caudal mínimo dividido en  $n_j$  niveles.
- $n_d$ : número de demandas en la red de flujo, cada una de ellas dividida en  $n_q$  niveles.
- $n_e$ : número de embalses en la red de flujo.
- $n_j$ : número de niveles en que se divide el caudal mínimo de la conducción  $i$ .
- $n_q$ : número de niveles en que se divide la demanda  $p$ .

Las demandas y los caudales ecológicos se pueden dividir hasta en cuatro niveles ( $n_j$ ,  $n_q$ ) de suministro, teniendo mayor prioridad los primeros. Estos



niveles garantizan el suministro de un volumen mínimo a cada demanda y un caudal mínimo en las conducciones naturales con caudal ecológico establecido. Hasta que no se han satisfecho los primeros niveles de suministro en todas las demandas/conducciones, no se suministran los segundos niveles, y así sucesivamente. Los porcentajes de estos niveles los establece el gestor y depende del tipo de demanda. Por ejemplo, y para este caso en concreto, el primer nivel de satisfacción de una demanda urbana es el 90%, mientras que el de una demanda para riego es el 50%.

La función objetivo está sujeta a las siguientes restricciones:

1. La suma de caudales entrantes ( $Qe_i$ ) en cualquier nudo de la red de flujo ha de ser igual a la suma de caudales salientes ( $Qs_i$ ) del mismo para cada mes.

$$\sum_i Qe_i = \sum_i Qs_i \quad (2)$$

2. En los embalses, para cada mes, la suma de volúmenes entrantes ( $Qe_i$ ) más el volumen embalsado a principio de mes ( $Vi$ ) ha de ser igual a la suma de volúmenes salientes ( $Qs_i$ ) más el volumen embalsado a final de mes ( $Vf$ ), más el volumen de evaporación ( $Ev$ ).

$$\sum_i Qe_i + Vi = \sum_i Qs_i + Vf + Ev \quad (3)$$

3. El caudal circulante ( $Q_i$ ) por una conducción  $i$  es inferior a su capacidad máxima ( $Qmax_i$ ).

$$Q_i \leq Qmax_i \quad (4)$$

4. Todas las variables ( $X_i$ ) son positivas o nulas.

$$X_i \geq 0 \quad (5)$$

Los primeros dos sumatorios de la función objetivo (1) representan los déficits de suministro en demandas y caudales ecológicos. La optimiza-

ción hace que sean nulos si hay recursos suficientes, en caso contrario reparte los recursos hídricos disponibles con el fin de que los déficits sean mínimos. El último sumatorio hace que el modelo almacene la mayor cantidad de agua posible al final del periodo de optimización ( $N12$ ).

La simulación del sistema de explotación proporciona una gran información, desde evaporación en los embalses hasta las series de volúmenes realmente suministrados ( $Q_{sum,i}$ ) a los diferentes usos. De estos volúmenes, los suministrados a las demandas agrarias son los que se emplean en el modelo del sistema de cultivos de regadío. La diferencia entre el volumen demandado y el realmente suministrado es el déficit de la demanda, también denominado como fallo de suministro.

Para la DHS, el sistema de explotación se ha diseñado a partir de la documentación oficial elaborada por su organismo gestor (CHS, 2013a). Para ello, la red de flujo creada simula de forma completa el sistema de explotación de recursos hídricos, destacando las siguientes características:

Se consideran todas las demandas existentes y se incluyen los recursos subterráneos y la reutilización de las aguas residuales.

Las zonas de regadío de la DHS, que están distribuidas en un total de 64 unidades de demanda agraria (CHS, 2013a), se han agregado en 27 demandas de regadío con el fin de hacer operativa la modelización del sistema de explotación con la red de flujo. En su diseño se ha tenido en cuenta criterios de proximidad geográfica, orígenes de las aguas de riego, tipos de cultivo predominantes y conectividad de la red de flujo.

Se incorporan los recursos provenientes de la capacidad de desalación disponible, en función de las necesidades de las demandas y no como un caudal de entrada constante.

Se emplea toda la serie histórica de recursos hídricos en régimen natural que proporciona el modelo SIMPA (González-Zeas et al., 2012). El periodo utilizado es 1940 - 2010, que amplía el utilizado en CHS (2013a) que es 1940-2005, siendo el periodo de optimización  $N=1$ .

En la modelización del sistema de explotación las demandas urbanas e industriales se han incorporado al modelo siguiendo los mismos criterios de la CHS: proximidad y origen de recursos. Asimismo, también se han

incluido los caudales ecológicos y demandas ambientales establecidos por la CHS. Los datos empleados se detallan posteriormente en la Tabla 2.

La prioridad de usos fijada en la modelización es la prevista en el plan de cuenca, según la normativa de la Instrucción de Planificación Hidrológica (MARM, 2008a): una vez cubiertos los requerimientos ambientales, que actúan como una restricción, la prioridad en la asignación por usos es, de mayor a menor, urbano, agropecuarios e industriales, respectivamente.

### 3.3. Modelización del sistema de cultivos de regadío

La modelización del plan de cultivos óptimo para cada unidad de demanda agraria agregada (UDAA) viene determinada por la siguiente función objetivo de maximización del margen bruto ( $Z$ ):

$$\text{Max } Z = \text{Max} \sum_i (R_i \cdot P_i - C_i) \cdot S_i \quad (6)$$

Donde  $i$  denota las actividades de cultivo bajo diferentes opciones de manejo,  $R_i$  es el rendimiento de la actividad  $i$ ,  $P_i$  el precio percibido por el agricultor,  $C_i$  los costes directos de producción por unidad de superficie, y  $S_i$  es la superficie dedicada a cada actividad.

La función objetivo está sujeta a las siguientes restricciones:

$$\sum_i S_i \leq S_T \quad (7)$$

$$\sum_i q_i \cdot S_i \leq Q_T \quad (8)$$

$$S_i^R + S_i^S = S_i^E \quad (9)$$

$$S_i^R + S_i^M + S_i^P = S_i^E \quad (10)$$

$$S_i^I \leq S_i^E \quad (11)$$

$$S_i \geq 0 \quad (12)$$

Donde:

- $S_T$  es la superficie total disponible regable.
- $q_i$  es el requerimiento hídrico de cada cultivo.
- $Q_T$  es la disponibilidad de agua para toda la campaña y zona de regadío.
- $S_i^R$  es la superficie de leñosos de regadío.
- $S_i^S$  es la superficie de leñosos de regadío que pasan a régimen de secano
- $S_i^M$  es la superficie de leñosos de regadío en régimen de riego de mantenimiento
- $S_i^P$  es la superficie de leñosos de regadío perdida
- $S_i^I$  es la superficie de invernaderos en regadío existentes
- $S_i^E$  es la superficie existente de cada actividad en la cuenca en el año de referencia.

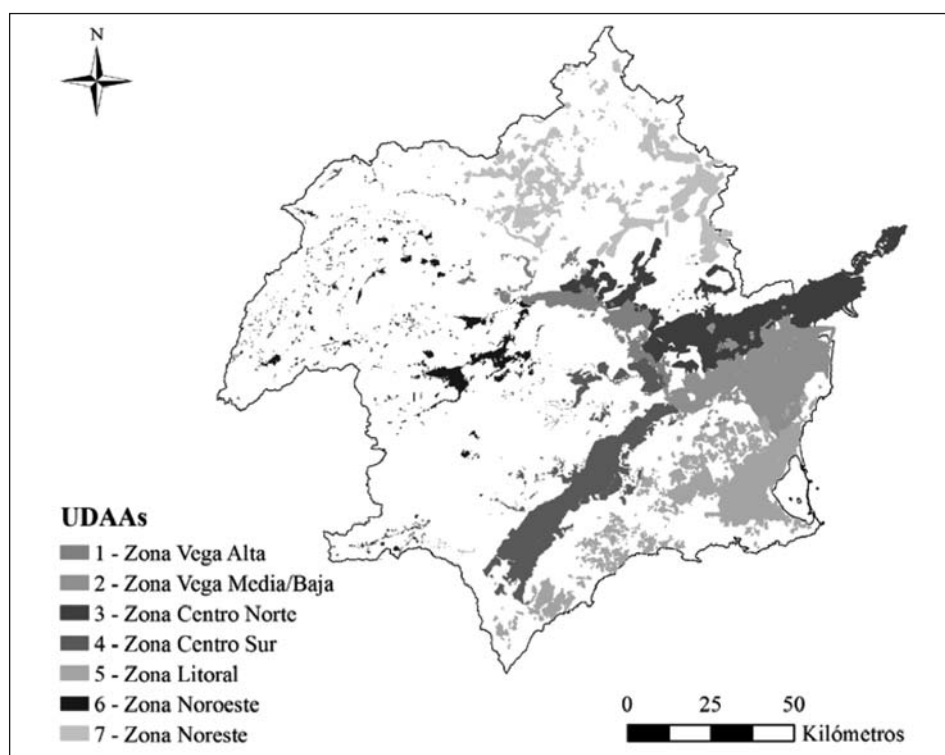
Las restricción (7) impide que en cada unidad de demanda se cultive más de la superficie regable neta disponible. La restricción (8) representa la limitación de la disponibilidad de agua para cada unidad de demanda. El conjunto de restricciones definidas en la expresiones (9), (10) y (11) permiten simular opciones de manejo específicas para ciertos grupos de cultivo. La restricción (9) fija la superficie total de cultivos leñosos como almendro, olivo y vid de vino, distribuyéndose entre regadío y secano en función de la disponibilidad de agua. La restricción (10) representa el caso de cítricos y frutales, cuya superficie total es igual a la superficie efectivamente regada más, en situaciones de escasez de recursos, la superficie bajo riego de mantenimiento y/o superficie perdida por no poder realizar dicho riego mínimo. La restricción (11) fija la superficie máxima destinada a cultivos de invernadero a la observada en el año de referencia. Por último, la expresión (12) impide que el modelo asigne valores negativos a la superficie de cada cultivo.

El modelo de programación matemática permite estimar el margen bruto generado bajo diferentes supuestos de disponibilidad de agua, así como derivar las curvas de demanda de agua y el valor marginal del recurso (Griffin, 2006).

La modelización de cultivos descrita se aplica en las zonas de regadío de la DHS, considerando siete Unidades de Demanda Agraria Agregadas (UDAAs) para toda la cuenca, con el fin de hacer operativo tanto el proceso de modelización como sus resultados. Estas siete UDAAs, representadas geográficamente en la Figura 2, comparten orígenes de las aguas de riego, tipos de cultivo predominantes, características edafo-climáticas y conectividad de la red de recursos hídricos.

Figura 2

### UNIDADES DE DEMANDA AGRARIA AGREGADAS (UAA)



Fuente: elaboración propia.

Los datos relativos a la distribución de las superficies de los grupos de cultivos y las demandas de agua se han obtenido a partir de los Planes e Informes elaborados por la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS, 2007a, 2007b y 2013a), ajustados a partir de: la información con-

tenida en el último censo agrario (INE, 2012), de los resultados de las “Encuestas sobre superficies y rendimientos de cultivos” (MARM, 2008b; 2009a y 2010a), y de la clasificación de usos del suelo Corine Land Cover (EAA, 2006). Los consumos de agua de cada cultivo se recogen en los datos del Anejo II del “Plan Especial de Sequía” (CHS, 2007a).

El margen bruto de cada grupo de cultivos se ha determinado a partir de los datos de rendimiento, precios percibidos y costes directos, actualizados al año de referencia 2009. Los rendimientos de cada cultivo se han tomado de las ya mencionadas “Encuestas sobre superficies y rendimientos de cultivos” y de los “Anuarios de Estadística del Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino” (MARM, 2009b). Los precios percibidos se han obtenido de la serie de precios medios anuales para el período 1998-2009 en la Región de Murcia, publicados por el Servicio de Estadística Agraria Regional de la Consejería de Agricultura de la Región de Murcia (CREM, 2012). Los costes directos de producción de los cultivos se han establecido a partir de la consulta de distintas fuentes, tales como el Libro Blanco de la Agricultura (MAPA, 2003), Análisis de la Campaña Hortofrutícola de la Región de Murcia 2009-2010 (Arcas et al., 2011), informes sobre costes de producción de cultivos en Andalucía y Comunidad Valenciana (MARM 2010b y 2010c), el Plan de Desarrollo Rural de la Región de Murcia para el periodo 2007-2013 (CARM, 2007), y los trabajos de Albiac y Tapia (2001) y García-Brenes (2004).

Los cultivos de regadío fueron agrupados en las siguientes actividades: almendro, cereal primavera, cereal verano, cereal invierno, cítricos, cultivos industriales, forrajes, frutales, hortalizas, hortalizas de invernadero, patatas, leguminosas, olivo, vid de mesa y vid de vino. Las opciones de manejo (regadío, secano, riego de mantenimiento o pérdida) y sus respectivos coeficientes han sido especificados de acuerdo a las particularidades de cada actividad. Una descripción detallada y los valores concretos asignados a cada uno de los coeficientes técnicos utilizados en este trabajo están disponibles en Ruiz-Campuzano (2013).

Los cultivos predominantes en las vegas del Segura (UDAAs 1 y 2) son cítricos y frutales, aunque también se dan regadíos tradicionales de productos hortícolas y explotaciones bajo invernadero. La zona Centro Norte (UDAA 3) presenta características similares a las vegas del río Segura, de-

dicando a su vez importantes superficies a almendro, olivo y viñedo en regadío. En las áreas Centro Sur y Litoral (UDAAs 4 y 5, respectivamente) cabe destacar la mayor fracción de regadío dedicada a cultivo intensivo de hortalizas bajo invernadero. Los regadíos del Noroeste (UDAA 6) destacan por los cultivos extensivos como los cereales, almendros y olivos, mientras que en el Noreste (UDAA 7) predomina la producción frutícola y vitivinícola. En términos agregados la superficie neta de regadío en la DHS es de unas 270.000 ha, cuyo mantenimiento requeriría una asignación neta de 1.363 hm<sup>3</sup> anuales. Las superficies y demandas de agua de cada UDAA se muestran en la Tabla 1 (CHS, 2013a).

Tabla 1

SUPERFICIES Y DEMANDAS NETAS DE REGADÍO EN LAS UNIDADES DE DEMANDA AGRARIA AGREGADAS (UDAA)

UDAA	Superficie neta (ha)	Demanda neta (hm <sup>3</sup> /año)
1. Vega Alta	21.285,75	136,38
2. Vega Media	48.713,29	263,41
3. Centro Norte	47.000,61	243,58
4. Centro Sur	52.389,93	267,00
5. Litoral	46.261,64	256,78
6. Noroeste	21.544,26	93,18
7. Noreste	31.833,31	103,12
<b>Total DHS</b>	<b>269.028,79</b>	<b>1.363,45</b>

Fuente: elaboración propia a partir de CHS (1998) y CHS (2013).

Uno de los parámetros fundamentales de este modelo, y que permite la conexión con los resultados obtenidos con Optiges, es la disponibilidad de agua para toda la campaña y zona de regadío ( $Q_T$ ). Este valor se corresponde al realmente suministrado a las demandas agrarias por Optiges, ( $Q_{sum_j}$ ), y dado que este último estaba definido para 27 demandas de regadío, se ha agregado para las siete UDAAs.

### 3.4. Escenarios evaluados

La Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) regula la elaboración de los planes hidrológicos de cuenca (MARM, 2008a), estableciendo para

ello la realización de balances entre recursos hídricos disponibles y demandas para diferentes escenarios. Estos balances se pueden realizar mediante una red de flujo que representa el funcionamiento del sistema de explotación de la cuenca de forma simplificada (para este caso con Optiges) para el escenario de un año determinado y, para evaluar su comportamiento, se simula con las series de aportaciones históricas ya acontecidas en los principales puntos de gestión. Por lo tanto, se evalúa el comportamiento actual y futuro del sistema de explotación con series de caudales pasadas asumiendo que el comportamiento estadístico de las mismas será similar en el futuro.

En este trabajo se han evaluado cuatro escenarios: los tres propuestos en la IPH y otro hipotético que sirve para poner en valor el TTS. El año 2009 es el primer escenario de la IPH y el primero también que la planificación hidrológica debía seguir los principios establecidos en la Directiva Marco del Agua. El escenario de 2009 es el de referencia para el análisis económico, que contempla la situación de partida del plan de cuenca, con las aportaciones reales anuales del TTS. El segundo, 2015, tiene en cuenta las previsiones de aumento en la demanda urbana fruto de un crecimiento poblacional. El tercero, 2027, además de considerar el crecimiento adicional de la demanda urbana, tiene como objetivo principal analizar los efectos del cambio climático, para lo que se aplica un coeficiente de reducción de un 11% de las aportaciones hídricas de la cuenca en régimen natural, y de un 8% a los recursos procedentes desde el Tajo (MARM, 2008a). Por último, se ha definido un cuarto escenario hipotético en el que se simula el cese del TTS para el escenario del año 2015. Para ello, se simula el mismo escenario 2015 de la IPH eliminando la aportación de caudales del TTS. La caracterización de los volúmenes concretos de cada escenario está recogida en la Tabla 2.

Respecto a la evolución de las demandas (Tabla 2), si bien las demandas urbanas aumentan en los escenarios futuros, las de tipo agrario se consideran constantes dado que no se permiten aumentos de la superficie cultivada en riego y, en todo caso, sí que podría producirse una disminución puntual de la misma debido a cambios de uso de suelo agrario a urbano. De hecho, estas cifras apenas han variado en las sucesivas revisiones del plan hidrológico de cuenca. Por último, las demandas ambientales son constantes (CHS, 2013a).



Tabla 2

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS ESCENARIOS EVALUADOS (HM3)

		Escenarios evaluados			
		2009	2015	2027	2015 <sup>c</sup>
Requerimientos Ambientales	Q ecológico y Demanda ambiental	32	32	32	32
Demandas	Abastecimiento y Turismo	249	253	297	253
	Regadío	1.552	1.530	1.533	1.530
	Industrial	20	21	29	21
Recursos Hídricos	Superficiales y Subterráneos	1.010	1.010	921 <sup>a</sup>	1.010
	Desalación <sup>b</sup>	81	129	334	129
	Trasvase	337	337	310 <sup>a</sup>	0

<sup>a</sup> En el escenario 2027 se considera un descenso del 11% de los recursos naturales debido al cambio climático en la cuenca del Segura y del 8% en la cuenca del Tajo.

<sup>b</sup> Capacidad máxima de desalación instalada en la cuenca.

<sup>c</sup> Escenario 2015 sin considerar el trasvase.

Fuente: elaboración propia a partir de MARM (2008a) y CHS (2008, 2013).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Cuantificación de los fallos de suministro

La Tabla 3 presenta, en términos de volumen, el fallo de suministro promedio y máximo de la serie histórica simulada con Optiges para cada escenario, mientras que las Figuras 3 y 4 lo hacen en términos relativos sobre el total demandado.

En el escenario 2009, se observa que los mayores déficits en términos absolutos se producen en las unidades Vega Media – Baja (UDAA 2), Centro Sur (UDAA 4) y Litoral (UDAA 5), que son las que requieren mayores volúmenes de agua. En términos relativos, los regadíos del Nordeste (UDAA 7) son los que presentan el mayor fallo de suministro, lo que se debe a su menor capacidad de hacer frente a eventos extremos por el bajo porcentaje que las aguas superficiales tienen en sus aportaciones, dado que las aguas subterráneas son su principal origen de recurso. Por el contrario, el valor mínimo se observa en los regadíos del Noroeste

(UDAA 6), zona de la cabecera del Segura con mayores recursos hídricos superficiales en régimen natural. Cabe destacar el buen comportamiento obtenido para las zonas Centro-Norte (UDAA 3) y Litoral (UDAA 5), dado que en ambos casos los valores de suministro se sitúan por encima del 95% respecto a lo demandado, fruto del *mix* más diverso en los orígenes disponibles para el recurso: TTS, natural y desalación.

Tabla 3

FALLOS DE SUMINISTRO PROMEDIOS Y MÁXIMOS (HM<sup>3</sup>/AÑO) POR UNIDADES DE DEMANDA AGRARIA AGREGADAS (UDAA)

UDAA	2009		2015		2027		2015 sin TTS	
	Promedio	Máximo	Promedio	Máximo	Promedio	Máximo	Promedio	Máximo
1. Vega Alta	7,74	85,57	9,78	93,29	20,54	101,74	46,43	136,38
2. Vega Media	10,76	112,04	12,86	114,20	25,01	126,74	54,21	208,13
3. Centro Norte	5,34	49,13	5,54	47,04	9,26	42,35	20,70	66,92
4. Centro Sur	17,50	95,28	18,68	96,14	27,52	102,08	48,88	107,66
5. Litoral	11,43	119,55	13,83	123,34	38,61	187,84	76,34	188,04
6. Noroeste	1,35	15,91	1,49	15,91	3,92	16,14	7,81	23,05
7. Noreste	9,47	73,62	9,76	75,04	14,21	79,22	15,27	81,50
<b>TOTAL</b>	<b>63,59</b>	<b>551,10</b>	<b>71,94</b>	<b>564,96</b>	<b>139,07</b>	<b>656,11</b>	<b>269,64</b>	<b>811,68</b>

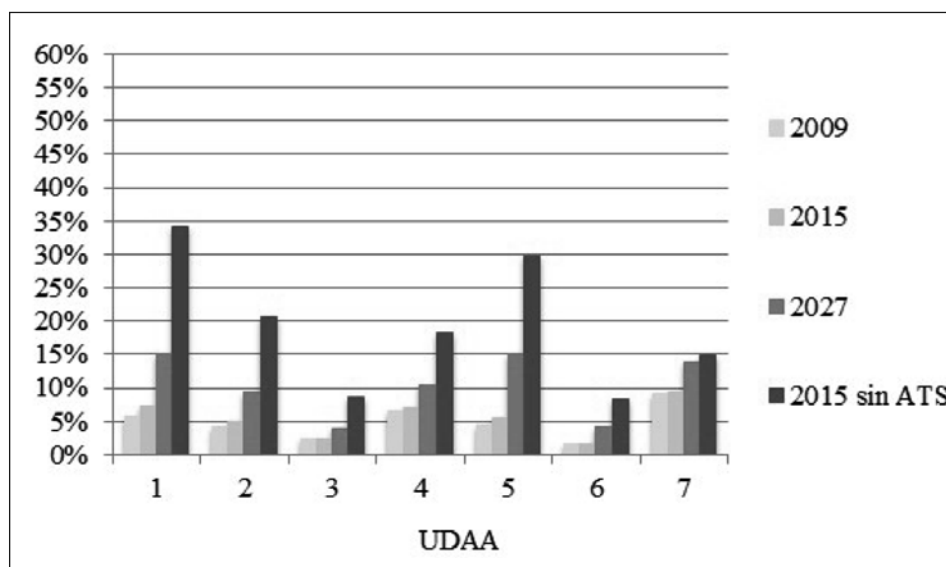
Fuente: elaboración propia.

Para 2015 se espera que aumente el valor de los fallos anteriores, localizándose los máximos y mínimos en las mismas UDAA's antes mencionadas. Estos resultados muestran el efecto del aumento demográfico sobre la distribución de agua en la cuenca, que se traduce en un menor suministro de agua para regadío para satisfacer los niveles de garantía de unas demandas urbanas crecientes. Este hecho puede apreciarse claramente en que el mayor aumento de fallo promedio respecto al escenario 2009 se produce en los regadíos situados en las zonas Vega Media - Baja (UDAA 2) y Litoral (UDAA 5), que son las que concentran las mayores concentraciones de población, en particular, el municipio y área metro-

politana de la ciudad de Murcia y la zona litoral de la DHS, respectivamente.

Figura 3

FALLOS DE SUMINISTRO PROMEDIOS (% SOBRE TOTAL DEMANDADO) POR UNIDADES DE DEMANDA AGRARIA AGREGADAS (UDAA)



Fuente: elaboración propia.

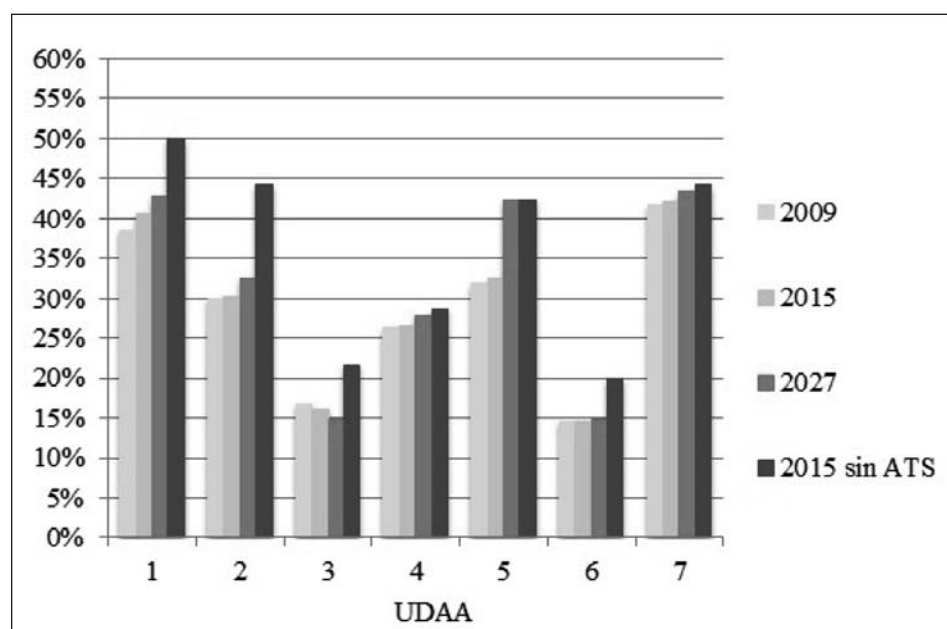
Para 2027, los valores promedio de fallo sufren incrementos importantes respecto a los escenarios anteriores, teniendo lugar los más elevados en la Vega Media-Baja (UDAA 2), Centro Sur (UDAA 4) y Litoral (UDAA 5), y el mínimo en las zonas Noroeste y Centro Norte. Así, las zonas más cercanas al litoral son más vulnerables que las que se localizan hacía el interior a la reducción de las aportaciones como consecuencia del cambio climático (Figura 3), llegándose a cuadruplicar el volumen del fallo medio (Tabla 3).

Si se analizan los fallos de suministros máximos producidos en periodos de sequía (Figura 4 y Tabla 3), se observa que en la mayoría de los casos triplica o cuadruplica los valores obtenidos para un año promedio. Además, de nuevo se pone de manifiesto la presión que de forma indirecta

tiene el aumento poblacional sobre la satisfacción de la demanda agraria, más aún si se considera la reducción del 11% en las aportaciones del escenario 2027, dado que la única forma de mantener las garantías de suministro a la población es destinar agua prevista para riego. Asimismo, los mayores aumentos en los fallos de suministro de agua se producen nuevamente en las demandas de regadío junto a los mayores núcleos de población.

Figura 4

FALLOS DE SUMINISTRO MÁXIMOS (% SOBRE TOTAL DEMANDADO) POR UNIDADES DE DEMANDA AGRARIA AGREGADAS (UDAA)



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, el escenario 2015 sin TTS muestra el aumento de los fallos en todas las UDAA cuando se eliminan los recursos que proceden de la cuenca del Tajo. Los déficits más significativos se producen en las demandas de regadío de la Vega Media - Baja (UDAA 2) y del Litoral (UDAA 5), que son las que concentran los principales núcleos de pobla-

ción. En términos absolutos para el conjunto de la cuenca, el aumento del déficit promedio es de 200 hm<sup>3</sup> (Tabla 3), valor inferior al volumen trasvasado medio (en torno a los 330 hm<sup>3</sup>/año), debido a que una importante parte se compensa con un aumento de la desalación y la presión sobre las aguas subterráneas.

#### 4.2. Valor del agua y cuantificación económica de su escasez

La Tabla 4 muestra los resultados principales de la modelización del sistema de cultivos en el escenario de referencia, cuando los suministros se igualan a las demandas máximas presentadas anteriormente (Tabla 1), sin considerar como superficie regada aquella que solo recibe riegos de mantenimiento vegetativo en leñosos. Como cifra comparativa y a modo de validación del modelo, señalar que el 87,4% de la superficie regable de la cuenca se encontraría en régimen de regadío, valor similar los proporcionados por el Censo Agrario de 2009 para las provincias que forman parte de la cuenca del Segura (INE, 2012). Los regadíos de la unidad Litoral (UDAA 5) presentan la menor fracción de superficie regada, mientras que los regadíos del Noroeste (UDAA 6) y Noreste (UDAA 7) obtienen valores próximos al 100%. Por otra parte, el margen bruto obtenido para la totalidad de la DHS es aproximadamente de 1.600 millones de euros de 2009. A este respecto, el Anejo 3 del Plan de Cuenca del Segura para el periodo 2009-2015 cifró el margen neto de la producción agrícola de regadío en 1.270 millones de euros (CHS, 2013b). La diferencia entre ambas cifras viene explicada por las siguientes razones: (i) el modelo utilizado en este trabajo estima margen bruto, no el margen neto, dado que no se han considerado los costes indirectos de producción de cada UDAA; (ii) la solución del modelo proviene de una asignación de superficies y agua asumida como óptima, y que por tanto podría diferir de la asignación real observada; por último, (iii) el uso de fuentes de información heterogéneas y asunciones para la estimación de rendimientos, precios y costes pueden conducir a resultados diferentes a los de otras fuentes. Por tanto, consideramos que el modelo es válido para medir cambios relativos de margen bruto y derivación de curvas de demanda de agua con los que cuantificar el valor económico de los fallos de suministro.

Tabla 4

SUPERFICIE REGADA, MARGEN BRUTO Y VALOR MARGINAL DEL AGUA EN CADA UNIDAD DE DEMANDA AGRARIA AGREGADA (UDAA) EN EL ESCENARIO 2009 DE REFERENCIA ( $Q_T = 100\%$ )

UDAA	Superficie regada (%)	Margen Bruto ( $10^3$ €)	Margen Bruto Unitario (€/ha)	Valor Marginal del Agua (€/m <sup>3</sup> )
1. Vega Alta	86,7	142.159	6.679	1,17
2. Vega Media	92,7	211.579	4.343	0,95
3. Centro Norte	86,8	320.953	6.829	1,22
4. Centro Sur	84,3	378.702	7.229	1,05
5. Litoral	76,4	334.878	7.239	1,27
6. Noroeste	96,2	98.756	4.584	0,70
7. Noreste	96,1	109.474	3.439	0,45
<b>DHS</b>	<b>87,4</b>	<b>1.596.501</b>	<b>5.934</b>	<b>0,97</b>

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 4 también recoge los valores de margen bruto por hectárea obtenidos en el escenario de referencia. La mayor productividad de la tierra se obtiene en aquellas UDAA que concentran la superficie de agricultura intensiva de la cuenca, principalmente en la zona del litoral (UDAA 5) y centro de la cuenca (UDAA 3 y 4), en el que existe un predominio de la horticultura intensiva y del cultivo de frutales y cítricos. De forma similar ocurre con las estimaciones de valor marginal del agua en las mismas, cuyos valores oscilan entre los 0,95 y 1,27 €/m<sup>3</sup>, en línea con los resultados obtenidos con otras metodologías para estas zonas (Colino y Martínez-Paz, 2007). Por el contrario, en las zonas del interior de la DHS con mayor predominio de viñedos y frutales de rendimientos menores que en el resto de UDAA, dicho valor se sitúa entre 0,45 €/m<sup>3</sup> y 0,70 €/m<sup>3</sup>.

La Tabla 5 muestra la proporción de superficie de regadío efectivamente regada para cada UDAA y escenario. Se observa que las diferencias entre los escenarios 2009 y 2015 son mínimas, con variaciones de reducción de superficie regada entre el 0 (UDAA 7) y el 1,40% (UDAA 1). Por otra parte, los resultados para el escenario 2027 sugieren que los actuales sistemas de regadío de las zonas Centro Norte (UDAA 3), Centro Sur

(UDAA 4), Noroeste (UDAA 6) y Noreste (UDAA 7) tendrán una mayor resiliencia ante el descenso previsto en el régimen de precipitaciones, con reducciones de superficie regada menores al 4%, frente a la mayor afectación de las UDAAs con sistemas de cultivo más intensivos.

La supresión del TTS tendría mayores efectos, dejando algo más del 30% de la superficie neta de regadío de la DHS completamente desatendida. Los cambios más significativos vuelven a darse en las UDAAs 1, 2 y 5, y por ejemplo, en el caso de las demandas situadas en la Vega Alta (UDAA 1), se ha estimado una reducción de hasta el 29,79% de la superficie regada respecto al escenario de 2009.

Tabla 5

SUPERFICIE REGADA POR ESCENARIOS (%)

UDAA	2009	2015	2027	2015 sin TTS
1. Vega Alta	80,43	79,03	71,71	50,64
2. Vega Media-Baja	87,28	86,23	80,08	65,35
3. Centro Norte	83,79	83,68	81,84	77,64
4. Centro Sur	76,04	75,65	72,74	65,71
5. Litoral	72,36	71,60	63,84	52,02
6. Noroeste	93,65	93,38	90,98	86,87
7. Noreste	96,09	96,09	92,39	91,50
<b>DHS</b>	<b>82,92</b>	<b>82,38</b>	<b>77,83</b>	<b>68,93</b>

Fuente: elaboración propia.

Por grupos de cultivos, y a modo de ejemplo, son de destacar algunos efectos significativos en la composición del plan de cultivos motivados por los cambios de dotaciones respecto al escenario 2009 con aportaciones medias. Así, para el escenario 2027, en la Vega Alta (UDAA 1) se produciría un descenso del 47,65% en la superficie dedicada a la producción de hortalizas fuera de invernadero, debido a que la mayor parte de los recursos irían destinados a otros cultivos más productivos y al mantenimiento de los cultivos permanentes de regadío; en el caso de la zona Litoral (UDAA 5), dicha reducción en hortícolas de campo se limitaría a

un 13,98%; por su parte, en la Vega Media-Baja (UDAA 2) la superficie de cítricos bajo riego de mantenimiento ocuparía el 19,08% de la unidad, lo que a largo plazo, en el caso de ser persistentes y más intensas la situaciones de escasez, podría suponer su pérdida.

Para el escenario 2015 sin TTS, en la UDAA 1 (Vega Alta) los recursos disponibles se dedicarían principalmente a la producción y mantenimiento de los cultivos de frutales y cítricos, llegando a desaparecer la producción de hortalizas de campo. Las superficies dedicadas a secano aumentarían considerablemente, y pasarían a ocupar el 25,09% del área regable. En las Vegas Media-Baja (UDAA 2) el grupo de cultivo más perjudicado sería el de los cítricos, ya que aunque el 66,12% de la superficie de los mismos podría conservarse vegetativamente con riegos de mantenimiento, la persistencia de dicha situación conduciría a su abandono. En la zona Litoral (UDAA 5), las hortalizas de campo serían las más afectadas ya que de ocupar una superficie del 60,91% en el año 2009, la supresión del trasvase en las condiciones promedio de 2015 disminuiría ese porcentaje hasta el 40,58%.

La Tabla 6 muestra los valores promedio y máximo del valor económico de los fallos de suministro de agua para los cuatro escenarios analizados relativos a la superficie total de la UDAA donde tiene lugar. Para el conjunto de la DHS, el impacto económico de los fallos de suministro de agua promedios varía desde los 237 y 274 €/ha de los escenarios 2009 y 2015, hasta los 581 €/ha en 2027, siendo aún más elevado si se consideran estos escenarios en periodo seco, cuando se producen los fallos máximos. En ese caso, el valor económico de los fallos ascendería hasta los 1.732, 1.758 y 1.925 €/ha, respectivamente.

Como se observa en la Tabla 6, el cese de los volúmenes trasvasados por el TTS se traduce en un considerable aumento del valor económico de los fallos de suministro previstos por el modelo. La aportación anual directa media del TTS a la economía de la cuenca se puede aproximar multiplicando la diferencia en el valor promedio del fallo obtenido para el conjunto de la cuenca en los escenarios 2015 con y sin TTS por la superficie neta cultivable en la cuenca. Así, el TTS supondría un aporte anual en términos de margen bruto de 253 millones de €/año.



Tabla 6

VALOR ECONÓMICO DEL FALLO MEDIO Y MÁXIMO POR ESCENARIO EN CADA UNIDAD DE DEMANDA AGRARIA AGREGADA (UDAA) (€/HA)

UDAA	2009		2015		2015 sin TTS		2027	
	Media	Máx.	Media	Máx.	Media	Máx.	Media	Máx.
1. Vega Alta	431	3.464	556	3.681	2.990	4.667	1.217	3.903
2. Vega Media	209	1.528	250	1.548	1.054	2.383	486	1.663
3. Centro Norte	120	1.265	124	1.217	598	1.649	219	1.106
4. Centro Sur	378	1.944	414	1.957	1.309	2.136	676	2.053
5. Litoral	313	2.293	381	2.343	2.146	3.055	1.081	3.053
6. Noroeste	8	608	9	608	312	858	113	616
7. Noreste	134	1.172	138	1.193	304	1.281	272	1.251
<b>Total de la cuenca</b>	<b>237</b>	<b>1.732</b>	<b>274</b>	<b>1.758</b>	<b>1.217</b>	<b>2.250</b>	<b>581</b>	<b>1.925</b>

Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Análisis comparativo

Aunque este trabajo presenta diferencias metodológicas en la modelización y a los límites establecidos para las UDAA, los resultados muestran similitudes con las estimaciones de Calatrava y Martínez-Granados (2012). Estos autores también obtienen que el valor de uso del agua es mayor en las zonas centro y litoral de la cuenca del Segura, mientras que en las zonas de interior son notablemente inferiores. En términos marginales, sus estimaciones oscilan entre los 0,17 €/m<sup>3</sup> en los regadíos de la Sierra del Segura y Río Mundo (que se correspondería con la mitad norte de la UDAA 6 - Noroeste); los 0,50 €/m<sup>3</sup> en las vegas del Segura (UDAA 1 y 2); y los 1,05 €/m<sup>3</sup> en los regadíos de Mazarrón, Águilas y Almería, estos últimos situados en la mitad suroeste de la UDAA 7 - Litoral. Cabe destacar el valor de 0,64 €/m<sup>3</sup> para los regadíos del Campo de Cartagena (mitad noreste de la UDAA 7 - Litoral), que es inferior al de otras zonas de similar orientación productiva y condicionantes agronómicos, que los autores atribuyen al coste añadido que supone aplicar recursos procedentes de plantas desalinizadoras. Asimismo, estos autores estiman el impacto del TTS, en términos de margen neto, en 169 millones de euros anuales.

Por otra parte, también se deben considerar los efectos multiplicadores de una merma en la producción agraria, como consecuencia de los fallos de suministro, sobre la producción de otras actividades de la cuenca. Sancho (2008) propone un multiplicador conservativo de valor tres para estimar el efecto de cambios en la actividad agraria sobre el conjunto de la economía de la Región de Murcia. Aplicando dicho multiplicador a la contribución del trasvase a la producción de regadío estimada en este trabajo, las pérdidas generadas por el cese del trasvase serían de aproximadamente 759 millones de euros anuales. En este sentido, el informe elaborado por la consultora *Price Waterhouse Coopers* (PWC) para el sindicato de regantes del acueducto Tajo Segura cifra la aportación total del TTS en 2.364 millones de euros, considerando actividades de comercialización y transformación asociadas a la industria agroalimentaria (PWC, 2013).

Si bien las cifras arrojadas en este y otros trabajos pueden resultar nada desdeñables, una valoración objetiva de su significado debe construirse a partir de una evaluación de la rentabilidad de la infraestructura, que contemple todos los flujos de caja monetarios de su construcción y funcionamiento. Aunque este tipo de evaluación fue llevada a cabo *ex ante* en 1968 por el entonces Ministerio de Obras Públicas, San Martín (2011) hace una revisión *ex post* usando información observada a lo largo de la vida útil del TTS, lo cual ayuda a explicar mejor cual ha sido su rentabilidad real. El autor incluye en su análisis los beneficios generados por los abastecimientos agrarios y urbanos, así como los costes de inversión, explotación y mantenimiento de las infraestructuras del pre-trasvase, acueducto y post-trasvase. De acuerdo a sus resultados, tras treinta años de trasvase Tajo-Segura, su rentabilidad financiera en términos de valor presente neto sería todavía negativa, la cual se tornaría positiva en un horizonte de 50 años, periodo de amortización completo de la obra. Ahora bien, el indudable interés socioeconómico del regadío en la zona, tanto por su generación de empleo directo, su cuota en las exportaciones hortofrutícolas españolas (Colino et al, 2014), así como el efecto arrastre sobre otras actividades económicas que conforman, por ejemplo, el denominado clúster agroindustrial regional de Murcia (Martínez-Carrasco y Martínez-Paz, 2011), hace que la rentabilidad de esta infraestructura de-

biera ser analizada mediante un análisis coste-beneficio integral que incluyera también estos otros factores.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha determinado el impacto económico de los fallos de suministro de agua en la agricultura de la cuenca del Segura mediante la modelización combinada del sistema de explotación de recursos hídricos y el sistema de regadío, considerando los principales escenarios de planificación hidrológica. Los fallos de suministro identificados para los diferentes escenarios, en términos de volumen de demanda de agua no atendida, ponen de manifiesto el reto que supondrá atender las demandas agrarias a medida que aumenten las necesidades de abastecimiento urbano. En general, las zonas situadas en el centro y litoral de la cuenca son más sensibles a padecer fallos de suministro de agua que las que se localizan en el interior. Además, los previsibles efectos del cambio climático, con reducción de aportaciones y mayor recurrencia de sequías, ahondarán aún más este problema.

Por otra parte, en un escenario sin las aportaciones procedentes del trasvase Tajo-Segura (TTS), supondría que los fallos de suministro casi se cuadruplicasen respecto al escenario con TTS, pasando de un porcentaje de volúmenes no atendidos del 5,25% al 19,57%. Se ha estimado que el TTS aporta unos 253 millones de €/año a la economía de la cuenca. Si se consideran los efectos multiplicadores que el sistema agrario tiene sobre el resto de actividades de la cuenca, la aportación media anual del trasvase se puede cifrar en 759 millones €/año.

Finalmente, cabe señalar que este trabajo podría suponer un primer paso para la implementación de un mercado de agua intra-cuenca, mecanismo de reasignación de recursos hídricos escasamente utilizado hasta ahora en España (Palomo-Hierro et al., 2015). Las diferencias observadas en los valores marginales de agua en cada UDAA junto con la modelización de la infraestructura ya existente permitirían establecer el destino y volúmenes de agua que serían transferidos desde las zonas de menor valor marginal hasta las de mayor valor. Este tipo de intercambios minimizarían el impacto de los fallos de suministro de agua tanto en las demandas agra-

rias como en el conjunto de la cuenca. No obstante, este mercado debe formularse atendiendo también a criterios de índole social y ambiental, que contemplen principios de eficiencia y de equidad intra e intergeneracional.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a los dos revisores anónimos sus comentarios, sugerencias y colaboración. Todos los posibles errores que hayan quedado, son responsabilidad exclusiva de los autores.

Este artículo es resultado del proyecto de investigación 19342/PI/14 financiado por la “Fundación Séneca-Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia” en el marco de PCTIRM 2011-2014.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALBIAC, J. y TAPIA, J. (2001). La gestión de demanda de agua frente a la política de oferta del trasvase del Ebro. Documento de Trabajo 01/2.
- ALCALÁ-AGULLÓ, F. y SANCHO-PORTERO, I. (2002). Agua y producción agrícola: un análisis econométrico del caso de Murcia. *Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 197: p. 129-157.
- ANDREU, J., CAPILLA, J. y SANCHIS, E. (1996). AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management. *Journal of Hydrology*, 177(3-4): 269-291.
- ARCAS, N. et al. (2011). Análisis de la campaña hortofrutícola de la Región de Murcia 2009-2010. Fundación Cajamar. Almería.
- BALLESTERO, E.; ALARCÓN, S. y GARCÍA-BERNABEU, A. (2002). Establishing politically feasible water markets: a multi-criteria approach. *Journal of Environmental Management*, 65(4): p. 411-429
- BERBEL, J. y MESA, P. (2007). Valoración del agua de riego por el método de precios quasi-hedónicos: aplicación al Guadalquivir. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 7(14): p. 127-144.
- BERBEL, J.; MESA-JURADO, M. y Pistón, J. (2011). Value of Irrigation Water in Guadalquivir Basin (Spain) by Residual Value Method. *Water Resources Management*, 25(6): p. 1565-1579.
- BERGA, L. (2010). La gobernanza del agua en España. *Revista de Obras Públicas*, 3507: p. 7-20.

- CALATRAVA, J. y MARTÍNEZ-GRANADOS, D. (2012). El valor de uso del agua en el regadío de la cuenca del Segura y en las zonas regables del trasvase Tajo-Segura. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 12(1): p. 5-32.
- CARM (2007). Programa de Desarrollo Rural de la Región de Murcia 2007-2013. Consejería de Agricultura y Agua. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Murcia.
- CHS (1998). Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura. Confederación Hidrográfica del Segura. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- CHS (2007a). Plan de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía en la Cuenca del Segura. Confederación Hidrográfica del Segura. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Murcia.
- CHS (2007b). Estudio General sobre la Demarcación Hidrográfica del Segura (versión del 2 de julio de 2007). Confederación Hidrográfica del Segura. Murcia.
- CHS (2008). Esquema provisional de Temas Importantes de la Demarcación Hidrográfica del Segura. Confederación Hidrográfica del Segura. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Murcia.
- CHS (2013a). Esquema de Temas Importantes de la Demarcación del Segura. Confederación Hidrográfica del Segura. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Murcia.
- CHS (2013b). Plan Hidrológico de la cuenca del Segura 2009/2015. Anejo 3. Usos y demandas. Confederación Hidrográfica del Segura. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Murcia.
- COLINO, J. y MARTÍNEZ-PAZ, J.M. (2007). Productividad, disposición al pago y eficiencia técnica en el uso del agua: la horticultura intensiva de la Región de Murcia. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 7(14): p. 109-125.
- COLINO, J.; MARTÍNEZ-CARRASCO, F. y MARTÍNEZ-PAZ, J.M. (2014). El impacto de la PAC renovada sobre el sector agrario de la Región de Murcia. CES Región de Murcia. Murcia.
- CREM (2012). Series de precios percibidos por los agricultores. Servicio de Estadística Agraria Regional de la Consejería de Agricultura de la Región de Murcia. Disponible on-line: <http://www.carm.es/econet/home.html>.
- CROEM (2010). *El Traspase Tajo Segura en el Estatuto de Autonomía de Castilla La Mancha y la Región de Murcia*. Confederación Regional de Organizaciones Empresariales de Murcia. Murcia.
- DAS, B. et al. (2015). Optimal land and water resources allocation policies for sustainable irrigated agriculture. *Land Use Policy*, 42: p. 527-537.
- DOCE (2000). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de

- actuación en el ámbito de la política de aguas. DOCE n° L 327: 1-73, de 22 de diciembre. Bruselas.
- DURY, J. et al. (2012). Models to support cropping plan and crop rotation decisions. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32: p. 567-580.
- EEA (2006). Corine Land Cover 2000. Aseamless vector database European Environment Agency. Disponible on-line: <http://www.ign.es/ign/layoutIn/coberturaUsoSuelo.do>
- GALÁN-MARTÍN, A. et al. (2015). Multi-stage linear programming model for optimizing cropping plan decisions under the new Common Agricultural Policy. *Land Use Policy*, 48: p. 515-524.
- GARCÍA-BRENES, M.D. (2004). La reestructuración de la cadena de valor del aceite de oliva en Andalucía. Impactos Ecológicos, Sociales y Económicos. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas. Sevilla.
- GÓMEZ-LIMÓN, J.A., CALATRAVA, J., GARRIDO, A., SÁEZ, F.J. y Xabadia, A (2009). *La economía del agua de riego en España*. Fundación Cajamar, Almería.
- GÓMEZ-LIMÓN, J.A. y Riesgo, L. (2004). Irrigation water pricing: differential impacts on irrigated farms. *Agricultural Economics*, 31(1): p. 47-66.
- GIL M.; GARRIDO, A. y GÓMEZ-RAMOS, A. (2009). Análisis de la productividad de la tierra y del agua en el regadío español. En Gómez-Limón, J.A., Calatrava, J., Garrido, A., Sáez, F.J. y Xabadia, A. (Eds.): *La economía del agua de riego en España*. Fundación Cajamar, Almería: p. 95-114.
- GONZÁLEZ-ZEAS, D. et al. (2012). Improving runoff estimates from regional climate models: a performance analysis in Spain. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(6): p. 1709-1723.
- GRIFFIN, R.C. (2006). Water resource economics: the analysis of scarcity, policies and projects. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge.
- GRINDLAY, A.L. et al. (2011). Implementation of the European Water Framework Directive: Integration of hydrological and regional planning at the Segura River Basin, southeast Spain. *Land Use Policy*, 28(1): p. 242-256.
- HUANG, W.C. y Chou, C.C. (2008). Risk-based drought early warning system in reservoir operation. *Advances in Water Resources*, 31(4): p. 649-660.
- INE (2012). Censo Agrario 2009. Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: <http://www.ine.es>
- LEAL-GARCÍA, D. y Gómez-Cantero. (2015). Implicaciones del cambio climático en la transición hacia un modelo productivo de futuro. *Panorama Social*, 21: p. 101-114.
- MAPA (2003). Libro Blanco de la Agricultura. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible en <http://www.libroblancoagricultura.com>

- MARM (2008a). Instrucción de planificación hidrológica. Orden MARM/2656/2008 de 10 septiembre por la que se aprueba la instrucción de la planificación hidrológica. BOE núm. 229, de 22 de septiembre de 2008
- MARM (2008b). Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ES-YRCE). Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino. (2008, 2009 y 2010). Disponible en: <http://www.marm.es>
- MARM (2009a). Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ES-YRCE). Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino. (2008, 2009 y 2010). Disponible en: <http://www.marm.es>
- MARM (2009b). Anuario de Estadística 2008 y 2009. Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino. Disponible en: <http://www.marm.es/es>
- MARM (2010a). Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ES-YRCE). Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino. (2008, 2009 y 2010) Disponible en: <http://www.marm.es>
- MARM (2010b). Resultados técnico-económicos de explotaciones de invernadero de Andalucía en campaña 2009-2010. Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino.
- MARM (2010c). Resultados técnico-económicos de explotaciones hortofrutícolas de la Comunidad Valenciana en 2009. Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino.
- MARTIN-ORTEGA, J. (2012). Economic prescriptions and policy applications in the implementation of the European Water Framework Directive. *Environmental Science & Policy*, 24: p. 83-91.
- MARTÍNEZ-CARRASCO, F. y MARTÍNEZ PAZ, J.M. (2011). El “clúster” agroalimentario de la región de Murcia. *Cuadernos de estudios agroalimentarios*, 2, 175-198
- MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J. y ESTEVE-SELMA, M.A. (2000). Sequía estructural y algunas externalidades ambientales en los regadíos de la cuenca del Segura. *Ingeniería del Agua*, 7(2): p. 165-172.
- MARTÍNEZ-PAZ, J.M. y PERNI, A. (2011). Environmental Cost of Groundwater: a Contingent Valuation Approach. *International Journal of Environmental Research*, 5(3): p. 603-612.
- PALOMO-HIERRO, S.; GÓMEZ-LIMÓN, J.A. y RIESGO, L. (2015) Water Markets in Spain: Performance and Challenges. *Water*, 7(2): p. 652-678.
- PAREDES-ARQUIOLA, J. et al. (2014). Integrating water management, habitat modelling and water quality at the basin scale and environmental flow assessment: case study of the Tormes River, Spain. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 59(3-4): p. 878-889.

- PETERSON, H.M. et al. (2013). Water Resources Sustainability Indicator: Application of the Watershed Characteristics Approach. *Water Resources Management*, 27(5): p. 1221-1234.
- PULIDO, M. y ÁLVAREZ-MENDIOLA E.; Andreu J. (2013). Design of Efficient Water Pricing Policies Integrating Basinwide Resource Opportunity Costs. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(5): p. 583-592.
- PWC. (2013). *Impacto económico del trasvase Tajo-Segura*. Pricewaterhouse Coopers. 79 pp.
- RUIZ-CAMPUZANO, P. (2013) Valoración económica de los fallos de suministro de agua en las demandas agrarias de la Cuenca del Segura. Trabajo Fin de Master. Universidad de Murcia. Disponible en: <https://digitum.um.es/xmlui/>
- SALAMI, H., SHAHNOOSHI, N. y THOMSON, K.J. (2009). The economic impacts of drought on the economy of Iran: An integration of linear programming and macroeconometric modelling approaches. *Ecological Economics*, 68(4): p. 1032-1039.
- SAN MARTÍN, E. (2011). *Un análisis económico de los trasvases de agua intercuencas: el trasvase Tajo-Segura*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, M.T.; SALAS-VELASCO, M. y RODRÍGUEZ-FERRERO, N. (2012). Who Manages Spain's Water Resources? The Political and Administrative Division of Water Management. *Water Resource Development*, 28(1): p. 27-42.
- SANCHO, I. (2008). El trasvase Tajo-Segura: debate, impacto y propuestas. Universidad de Murcia. Disponible en: <http://servicios.laverdad.es/textos/>
- VIAGGI, D.; BARTOLINI, F. y RAGGI, M. (2009). Combining linear programming and principal-agent models: An example from environmental regulation in agriculture. *Environmental Modelling & Software*, 24(6), p. 703-710.



## RESUMEN

### Valoración económica de los fallos de suministro en los regadíos de la cuenca del Segura

El objetivo de este trabajo es la valoración económica de los fallos de suministro de agua en los regadíos de la cuenca del Segura. La metodología consiste en la modelización conjunta del sistema de explotación de recursos hídricos, utilizando el SSD Aquatool-Optiges, y las actividades de regadío, mediante programación matemática. Se han simulado los escenarios recogidos en la Instrucción de Planificación Hidrológica para los años 2009, 2015 y 2027. Los resultados muestran como el aumento de las demandas urbanas en los sucesivos escenarios se traslada a un mayor déficit de agua en la agricultura de regadío, aún mayor en 2027 como consecuencia del cambio climático. El impacto económico directo sobre el sector agrario varía desde los 237 €/ha, en el caso de un año hidrológico de aportaciones medias, hasta los 1.925 €/ha, en el escenario más desfavorable. Por otra parte, se ha estimado que el Trasvase Tajo-Segura aporta unos 253 millones de €/año.

**PALABRAS CLAVE:** valoración económica, fallos de suministro, regadíos, planificación hidrológica, trasvase Tajo-Segura.

**CLASIFICACIÓN JEL:** Q150, Q250.

## ABSTRACT

### Economic valuation of water shortages in the irrigated agriculture in the Segura river basin

The aim of this paper is the economic valuation of the water shortages in the irrigated agriculture in the Segura river basin. The methodology consists in the modelling of the water resource system, using the DSS Aquatool-Optiges, and the irrigated activities, by means of mathematical programming. This work includes the policy scenarios proposed in the Spanish Water Planning Law for the years 2009, 2015 y 2027. The results show that the increment in urban water demands in the successive scenarios is translated to a higher water deficit in the irrigated agriculture; even higher in 2027 due to climate change. The direct economic impact on the agricultural sector varies from 237 €/ha for an average year in terms of water availability, to 1.925 €/ha for the more unfavourable scenario. Finally, the contribution of the Tagus-Segura Transfer has been estimated in 253 million euros per year.

**KEYWORDS:** economic valuation, supply failures, irrigation, water resources management, Tajo-Segura transfer.

**JEL CODES:** Q150, Q250.