



The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

Análisis de alternativas para la eliminación de la sobreexplotación de acuíferos en el Valle de Guadalentín

Javier Calatrava¹, Amanda Guillem¹ y David Martínez-Granados¹

RESUMEN: Este trabajo analiza el impacto económico del uso de diferentes instrumentos de gestión del agua para eliminar la sobreexplotación en los acuíferos del Valle del Guadalentín (cuenca del Segura). Dicho impacto se evalúa, con un enfoque de equilibrio parcial, mediante un modelo de programación matemática que maximiza el margen neto derivado de utilizar las diferentes fuentes de suministro de agua disponibles en la zona para el regadío. Nuestros resultados muestran cómo la compra de derechos de aguas subterráneas es la opción con mayor coste para la Administración e impacto económico. Por el contrario, la combinación de una tasa sobre las extracciones de aguas subterráneas y la sustitución de éstas por agua desalada subvencionada permiten eliminar la sobreexplotación de los acuíferos compatibilizando la contención del coste presupuestario con la minimización del impacto sobre el sector agrario.

PALABRAS CLAVES: Aguas subterráneas, economía del agua, demanda de agua, programación matemática, regadío.

JEL classification: Q25, C61.

Analysis of alternatives to eliminate aquifer overdraft in the Guadalentín Valley, SE Spain

ABSTRACT: In this paper we analyse the economic impact of alternative water management instruments that allow addressing the problem of non-renewable groundwater pumping in the aquifers of the Guadalentín Valley (southeast Spain). Their impact is assessed using a partial equilibrium mathematical programming model that maximises the farm net margin resulting from the use of the available water resources for irrigation in the area. Our results show that the buyback of groundwater pumping rights is the option with the greatest public budgetary cost and economic impact. On the contrary, the combination of an environmental tax on groundwater pumping and the substitution of groundwater by subsidised desalinated water allow eliminating aquifer overdraft in the area while minimising the public budgetary cost and the economic impact on the agricultural sector.

KEYWORDS: Groundwater, water economics, water demand, mathematical programming, irrigation.

Clasificación JEL: Q25, C61.

¹ Departamento de Economía de la Empresa, ETSIA, Universidad Politécnica de Cartagena.

Agradecimientos: Los autores agradecen sus valiosos comentarios a dos revisores anónimos. Este trabajo ha sido financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) a través del proyecto con referencia RTA2010-00109-C04-03.

Dirigir correspondencia a: Javier Calatrava Leyva. E-mail: j.calatrava@upct.es.

Recibido en mayo de 2011. Aceptado en octubre de 2011.

1. Introducción

El eje fundamental de la aplicación de la DMA en España son los Planes Hidrológicos de Cuenca, en los cuales se establece una ordenación de los usos del agua dentro del ámbito de cada cuenca, de manera que se satisfagan las necesidades de los distintos usuarios sin renunciar al respeto por el medio ambiente. Los Planes de Cuenca deben incluir, entre otras medidas, el establecimiento de objetivos medioambientales (OMAs) para todas las masas de agua, así como la implantación de medidas o instrumentos económicos específicos para alcanzar cada objetivo ambiental (programa de medidas). Además de evaluar el potencial de dichos instrumentos para alcanzar los OMAs, las autoridades deben analizar el impacto económico de su aplicación.

En el caso de la cuenca del Segura, las presiones de origen agrario que mayor degradación ambiental generan, poniendo en riesgo el cumplimiento de los objetivos medioambientales, son tres: la ausencia de un régimen de caudales ecológicos, la contaminación difusa de origen agrario y la explotación no sostenible de los acuíferos (CHS, 2008). Estos problemas son especialmente graves en el Valle del Río Guadalentín, si bien destaca por su importancia social y económica el tercero de ellos debido a su especial gravedad y a que el Guadalentín es una de las regiones agrícolas más productivas de España.

Los instrumentos más utilizados para reducir las extracciones de los acuíferos en España no se basan en la tarificación del agua de riego, sino en la restricción de extracciones mediante el establecimiento de cuotas, los pagos por reducir el consumo y la compra de derechos (Iglesias, 2002; Carmona *et al.*, 2011). Pese a sus inconvenientes, la compra de derechos de agua de riego ha sido utilizada en las cuencas del Guadiana y del Júcar, siendo uno de los instrumentos propuestos para la cuenca del Segura (CHS, 2008). Sus principales inconvenientes son su alto coste presupuestario y sus potencialmente elevados impactos sobre el empleo y la economía de las zonas rurales (Carmona *et al.*, 2011).

El uso de recursos desalados para sustituir los subterráneos sobreexplotados en zonas del Sureste de España es la otra opción barajada por la Administración hidráulica (Downward y Taylor, 2007; CHS, 2008), siendo también una de las defendidas por Albiac *et al.* (2006) por presentar menores costes privados y sociales. Sin embargo, el uso de recursos desalados puede no suponer en la práctica una alternativa efectiva para reducir la sobreexplotación de los acuíferos, debido a que el coste para los usuarios de los recursos provenientes de la desalación es muy superior al de los subterráneos.

El objetivo de este trabajo es analizar el impacto económico de diferentes instrumentos de gestión que permiten eliminar la sobreexplotación en los acuíferos del Valle del Río Guadalentín. Dichos instrumentos son el establecimiento de una tasa sobre las extracciones de aguas subterráneas, la compra de derechos de agua y la sustitución de los recursos subterráneos por agua desalada subvencionada. Se busca así identificar y analizar las combinaciones de estos instrumentos que permiten alcanzar dicho objetivo ambiental compatibilizando, en la medida de lo posible, la contención del coste presupuestario y del impacto sobre la rentabilidad de las explotaciones, la producción y el empleo agrario.

2. El regadío en la cuenca del Guadalentín

La cuenca del Guadalentín se ubica en el suroeste de la cuenca del Segura en torno al río Guadalentín, un río-rambla que es el afluente más grande de la margen derecha del río Segura (Mapa 1). Su superficie es de aproximadamente 3.300 Km² y se divide entre las regiones de Murcia y Andalucía (Mapa 1). La parte de la cuenca que corresponde a la Región de Murcia tiene aproximadamente 2.200 Km² y es donde se localiza la mayor parte de la población y de la agricultura de regadío de la cuenca (Calatrava *et al.*, 2011).

El Valle del Río Guadalentín constituye una de las regiones agrícolas más productivas del país. La importancia del sector agrario en la zona se debe en gran medida a sus características climáticas, entre el clima Mediterráneo y el semiárido, que la convierten en un marco idóneo para la producción agrícola temprana. Sin embargo, esta zona presenta unas precipitaciones escasas que, aunque oscilan entre 250 y 500 mm/año, en la mayor parte de su territorio no alcanzan los 350 mm/año, provocando un fuerte déficit hídrico y frecuentes periodos secos.

Dentro de la cuenca del Guadalentín, hay que resaltar la notable dualidad que existe en la agricultura entre la parte alta de la cuenca, en la que el almendro y los cereales son los principales cultivos, y el Valle del Río Guadalentín en el que se localiza la horticultura intensiva de regadío (Calatrava *et al.*, 2011). Los más importantes cultivos de regadío en la zona analizada son hortofrutícolas (lechuga, brócoli, alcachofa, cítricos, uva de mesa, tomate, melón y sandía), si bien existe una cierta superficie de cultivos tradicionalmente de secano (cereales de invierno, almendro y olivar).

MAPA 1

Ubicación de la cuenca de Guadalentín en la del río Segura



Fuente: Elaboración propia.

3. Demandas y recursos hídricos para el regadío

En este trabajo se consideran siete Unidades de Demanda Agraria o UDAs¹ (MMA, 2001), cuyas superficies y demandas se muestran en el Mapa 2 y el Cuadro 1. Seis de estas UDAs se incluyen dentro del perímetro de la cuenca del Guadalentín, mientras que la UDA 68 se sitúa fuera de dicho perímetro, aunque se considera porque sus recursos subterráneos proceden principalmente del acuífero Alto Guadalentín que está ubicado dentro del área estudiada. Las siete UDAs ocupan una superficie bruta (inventariada y cartografiada) de 84.909 has y una superficie neta (útil o regable) de 50.633 ha. Las demandas de agua bruta ascienden a 298,39 hm³/año, mientras que las netas (en cabecera de las redes de distribución secundarias) ascienden a 258,35 hm³/año (Cuadro 1).

Las aportaciones medias de agua recibidas por las UDAs de la cuenca del Guadalentín ascienden a 211,9 hm³/año, lo que incluye tanto recursos superficiales como subterráneos, procedentes del trasvase Tajo-Segura y reutilizados (Cuadro 2). De las 7 UDAs de la zona, 4 reciben aportaciones de origen superficial procedentes del Río Guadalentín con un volumen total bruto de 21,8 hm³/año (Cuadro 2). Cinco de las UDAs reciben aportaciones de aguas de trasvase Tajo-Segura por un volumen estimado en 65 hm³/año, recursos que se distribuyen a través de las comunidades de regantes de Lorca, Totana, Alhama de Murcia, Librilla y Sangonera La Seca. Los recursos disponibles para el regadío de la zona procedentes de la reutilización de aguas residuales suponen un total de 7 hm³/año (MMA, 2001; CHS, 2007). Actualmente no se utilizan recursos desalados en la agricultura de la zona.

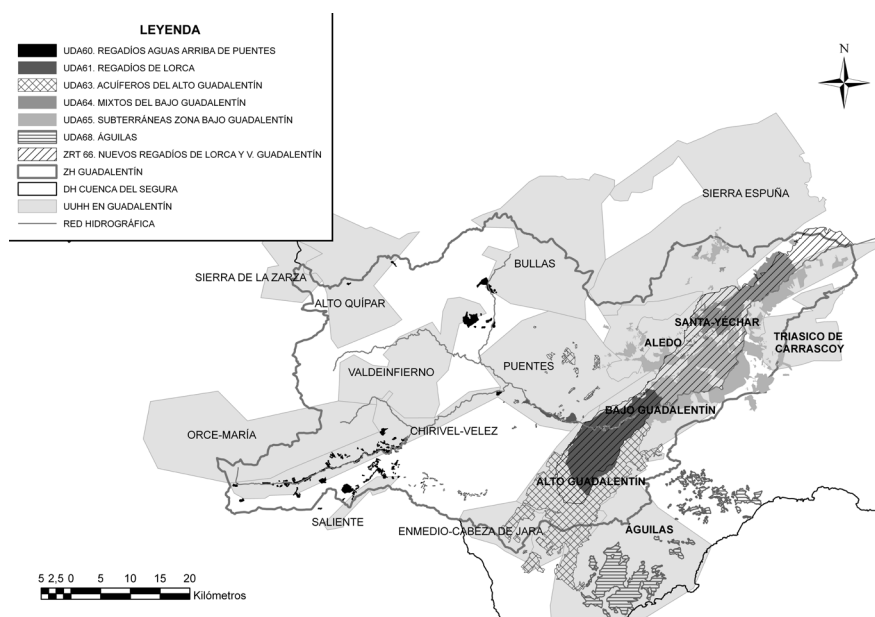
Las aportaciones de aguas subterráneas suponen un total de 118 hm³/año, de los cuales 44,6 hm³/año son recursos renovables y 73,6 hm³/año son no renovables (Cuadro 2). El uso masivo de recursos subterráneos para el regadío durante las últimas décadas ha generado la sobreexplotación de seis de los acuíferos en el ámbito de la cuenca del Guadalentín (Mapa 3), siendo los más sobreexplotados los del Alto y Bajo Guadalentín² (CHS, 2008).

¹ Las UDAs son zonas regables que se caracterizan bien por ser una unidad diferenciable de gestión, bien por el origen de sus recursos, por sus condiciones administrativas, por sus características hidrológicas, o por consideraciones territoriales (MMA, 2001).

² La sobreexplotación acumulada es aproximadamente 1.500 hm³ en el acuífero Alto Guadalentín y 660 hm³ en el acuífero Bajo Guadalentín. Si cesaran por completo las extracciones de agua, se necesitarían alrededor de 150 años para que el acuífero Alto Guadalentín volviese a su estado inicial y alrededor de 70 años para que lo hiciera el acuífero Bajo Guadalentín.

MAPA 2

UDAs y masas de agua subterráneas de la cuenca del Guadalentín



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 1

Superficie y demanda de las UDAs de la cuenca del Guadalentín

Nombre de la UDA	Nº de UDA	Superficie bruta (ha)	Superficie neta (ha)	Demanda bruta (Hm³/año)	Demanda neta (Hm³/año)
Regadíos aguas arriba de Puentes	60	2.411	1.742	7,53	5,65
Regadío de Lorca	61	11.782	9.013	54,10	45,99
Acuíferos del Alto Guadalentín	63	21.266	9.942	55,37	49,83
Mixtos del Bajo Guadalentín	64	7.885	5.027	30,87	26,24
Subterráneas del Bajo Guadalentín	65	21.362	12.710	73,43	62,41
Nuevos regadíos Lorca y Valle del Guadalentín	66	10.798	7.802	50,05	42,54
Águilas	68	9.405	4.397	27,04	25,69
TOTAL		84.909	50.633	298,39	258,35

Fuente: Elaboración propia a partir de CHS (2008).

CUADRO 2

Aportaciones totales de agua en las UDAs de la cuenca del Guadalentín

Nº de UDA	Aportaciones superficiales	Aportaciones del Trasvase Tajo-Segura	Aportaciones de aguas residuales depuradas	Recursos subterráneos renovables	Recursos subterráneos no renovables	Aportaciones totales
60	2,6	0,0	0,0	2,7	2,1	7,4
61	14,0	30,0	4,4	1,5	4,2	54,1
63	0,0	0,9	0,3	9,4	27,6	38,2
64	4,1	5,1	0,5	5,8	7,6	23,1
65	1,1	6,2	0,5	16,6	20,5	44,9
66	0,0	22,7	0,0	0,0	0,0	22,7
68	0,0	0,0	1,3	8,6	11,6	21,5
TOTAL	21,8	64,9	7,0	44,6	73,6	211,9

Fuente: Elaboración propia a partir de MMA (2001) y CHS (2008).

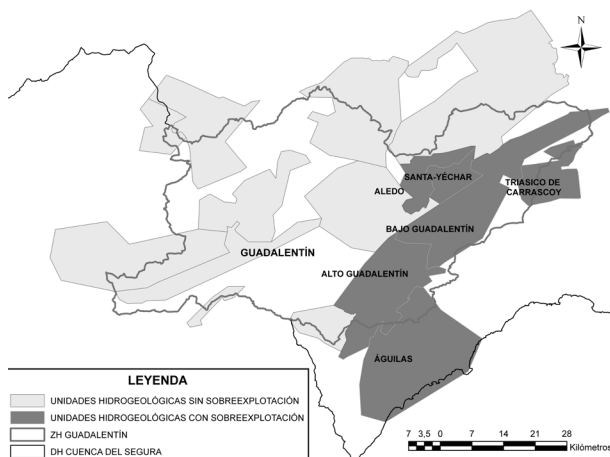
Pese a que las aportaciones totales de agua suponen 211,9 hm³/año (Cuadro 2), la demanda hídrica requerida asciende a 298,3 hm³/año (Cuadro 1). Esto supone que se están aportando de media 86,4 hm³/año menos de lo necesario agronómicamente, lo que genera situaciones de infradotación de cultivos. Si a estos 86,4 hm³/año de déficit de aplicación a los cultivos se suman los 73,6 hm³/año correspondientes a bombeos no renovables utilizados para compensar parcialmente esa insuficiencia de recursos hídricos, el déficit hídrico total de la zona asciende a 160 hm³/año.

Para hacer frente al problema de la sobreexplotación de acuíferos en la zona, se han planteado una serie de actuaciones que buscan limitar el volumen de agua que se extrae de los mismos (CHS, 2008). Por un lado, se están elaborando planes de ordenación de algunos de los acuíferos que incluyen el cierre de pozos no sujetos a concesión y la reordenación de las concesiones existentes (CHS, 2008). Por el otro, en la elaboración del próximo plan de cuenca se están considerando opciones como la expropiación de derechos de riego, la sustitución de caudales subterráneos por nuevos recursos procedentes de las desaladoras de Águilas y Valdelentisco³, y un incremento de más del 50% en las tarifas del agua en la zona, si bien esta última medida se plantea como instrumento de recuperación de costes y no de gestión de la demanda y solo afecta a los recursos superficiales (CHS, 2008).

³ Cuando estas desaladoras estén en pleno funcionamiento aportarán un total de 130 hm³/año para el abastecimiento urbano y el regadío en el campo de Cartagena, la zona litoral sudoeste y el Valle del Guadalentín (CHS, 2007).

MAPA 3

Acuíferos sobreexplotados en la cuenca del Guadalentín



Fuente: Elaboración propia.

4. Instrumentos económicos para la gestión de acuíferos

Existen numerosos trabajos que han analizado el uso de instrumentos económicos para la gestión de acuíferos, si bien existen pocos trabajos a nivel nacional (Iglesias, 2002; Carmona *et al.*, 2011). Muchos estudios sobre la gestión de agua en España se centran en la gestión de las aguas superficiales, en tanto que las subterráneas y las características específicas de su gestión han recibido una atención considerablemente menor (Iglesias, 2002).

Un instrumento que ha recibido especial atención en la literatura es el establecimiento de precios al uso del agua, cuya efectividad sin embargo es bastante cuestionada. En la mayoría de los países, los regantes no pagan a las autoridades tarifa alguna por el agua subterránea (Berbel *et al.*, 2007). Los regantes que utilizan recursos subterráneos normalmente pagan la totalidad de los costes financieros de la inversión, el mantenimiento y los costes de energía para el bombeo del agua, pero nada de los costes sociales o ambientales, los cuales suelen ser significativos (Garrido y Calatrava, 2010). Esto genera un uso no sostenible de los recursos subterráneos. La excepción son países como Francia, Holanda, Dinamarca e Inglaterra, que han impuesto tasas ambientales para las aguas subterráneas (Hellegers and van Ierland, 2003), si bien éstas apenas permiten internalizar una parte de todos los costes (Garrido y Calatrava, 2010).

Muchos de los numerosos trabajos sobre tarificación del agua de riego sugieren que su demanda es muy inelástica en el corto plazo, al menos para precios del agua bajos o reducida disponibilidad de agua (Mejías *et al.*, 2004; Scheierling *et al.*, 2004;

Bazzani *et al.*, 2005; Riesgo y Gómez-Limón, 2005 y 2006; Scheierling *et al.*, 2006; Bartolini *et al.*, 2007; Molle y Berkoff, 2007; Wheeler *et al.*, 2008). Esto se debe principalmente a la reducida elasticidad de sustitución del agua por otros inputs, a lo inelástico de la demanda de los productos agrarios y el pequeño porcentaje de los costes de producción que supone el agua (García Mollá, 2002). La demanda del agua de riego se vuelve más elástica a medida que las tarifas del agua se incrementan.

En sistemas intensivos de regadío, como los del sudeste español, la elasticidad de la demanda del agua de riego es especialmente baja, lo que puede reducir aun más el potencial de la tarificación para ahorrar agua. Esto es debido a que los cultivos que pueden soportar mayores precios del agua suelen ser cultivos hortofrutícolas de gran rentabilidad, en los que además ya se utilizan tecnologías de riego para hacer frente a la reducida disponibilidad de agua (Mejías *et al.*, 2004; Berbel y Gutiérrez, 2005).

El impacto económico de incrementar los precios del agua para riego puede ser notable tanto para los agricultores como para la economía de las zonas rurales (Giannocarro *et al.*, 2010). La aplicación de cualquier instrumento de gestión del agua supone un intercambio entre la rentabilidad privada del regadío, el coste presupuestario y el ahorro efectivo de agua, es decir, entre la sostenibilidad económica y la ambiental (Bartolini *et al.*, 2007).

El impacto de la tarificación será muy diferente según el sistema de regadío considerado (Varela-Ortega *et al.*, 1998). En sistemas intensivos, en los que la demanda es inelástica, puede esperarse que el incremento de las tarifas del agua apenas reduzca el consumo de agua y sólo lo haga con la renta de los agricultores, mientras que en zonas de regadío tradicional, menos rentable, un incremento en el precio del agua reducirá el consumo y, paralelamente, la superficie de regadío, la renta de los agricultores y el empleo agrario (Berbel y Gutiérrez, 2005). Los efectos netos sobre la renta agraria de las políticas de precios del agua de riego serán por tanto menores cuanto mayor sea la productividad del agua de riego y mayor flexibilidad tengan los agricultores para adaptar sus demandas de agua, por ejemplo, mediante el cambio de cultivos (Mejías *et al.*, 2004; Garrido y Calatrava, 2010).

En general, en situaciones de sobreexplotación de acuíferos, no suele recurrirse a establecer tarifas, sino cuotas fijas, restricciones o zonificaciones. Diversos trabajos han analizado otras opciones como la restricción de extracciones mediante planes de gestión que incluyen el establecimiento de cuotas y su intercambio en mercados o bancos de agua, los pagos por reducir el consumo, la compra de derechos o la cooperación entre los usuarios del recurso (Iglesias, 2002; Hellegers and van Ierland, 2003; Albiac *et al.*, 2006 y 2008; Carmona *et al.*, 2011; Esteban y Albiac, 2011). Por ejemplo, Iglesias (2002) demuestra que un sistema cuotas a las extracciones de recursos subterráneos con pagos compensatorios puede plantear conflictos a largo plazo, ya que los pagos van a suponer una compensación cada vez menor de las pérdidas impuestas por las cuotas, a medida que el nivel freático se recupere. Por el contrario, la gestión a través de un banco de agua contribuiría a reconciliar los intereses de los agricultores con la recuperación de acuífero.

La compra de derechos de agua de riego ha sido uno de los instrumentos más aplicados en España, a través del Plan Especial del Alto Guadiana y los centros de intercambio de las cuencas del Júcar y Guadiana (Garrido y Calatrava, 2009; Calatrava y Gómez-Ramos, 2009). Los inconvenientes de la compra de derechos de riego son su elevado coste presupuestario y que, al reducirse el uso del agua, pueden tener un importante impacto sobre el empleo y la economía de las zonas rurales. Carmona *et al.* (2011) muestran como, para conseguir una recuperación parcial de los niveles de los acuíferos en la cuenca del Alto Guadiana, es necesario restringir la disponibilidad de agua a los agricultores y establecer un precio de compra de los derechos de agua elevado. Sin embargo, el cumplimiento de las restricciones de agua reducirá los ingresos agrícolas sino se adoptan medidas adicionales para compensar dichas pérdidas.

Finalmente, el uso de recursos desalados para sustituir los recursos subterráneos sobreexplotados en zonas del Sureste de España es una de las opciones barajadas por la Administración hidráulica (Downward y Taylor, 2007; CHS, 2008). Albiac *et al.* (2006 y 2008) muestran cómo las alternativas de menor coste para afrontar los problemas de escasez de agua en el regadío del sudeste español son aquellas que combinan el control de la sobreexplotación con los mercados de agua y la desalación, mientras que la prohibición de la sobreexplotación de acuíferos y el incremento de los precios del agua pueden provocar fuertes pérdidas de renta agraria, generando oposición social y el fracaso de las medidas.

Sin embargo, existen dudas sobre el potencial de la desalación para abastecer las necesidades del regadío, y sobre todo para favorecer la reducción del uso de los recursos subterráneos. El uso de recursos desalados puede no suponer en la práctica una alternativa efectiva para reducir la sobreexplotación de los acuíferos, entre otros motivos porque su coste es muy superior al del agua subterránea. Incluso en zonas en las que la agricultura puede asumir el coste de la desalación, existe un incentivo para optar por la extracción de aguas subterráneas a un menor coste. Mientras que el coste en baja de las aguas subterráneas en la zona del Guadalentín está en el entorno de los 0,15-0,18 €/m³, el coste del agua desalada es muy superior. Al coste estimado por la administración para la producción de agua desalada (0,34 €/m³) hay que añadirle los costes de elevación necesarios para llevar el agua hasta las zonas regables: por ejemplo, el precio del agua de la desaladora de Valdelentisco para los regantes del Guadalentín sería de aproximadamente 0,50 €/m³ (CHS, 2008). El planteamiento actual de la Administración hidráulica es la simple permuta de caudales subterráneos por desalados sin compensación alguna por la diferencia de coste entre ambos.

5. Metodología

5.1. Instrumentos analizados

Los instrumentos económicos analizados en este trabajo son⁴:

- Compra de derechos de uso de aguas subterráneas para reducir la demanda de agua.
- Sustitución de recursos subterráneos no renovables por recursos desalados con una subvención de su precio por parte del Estado.
- Establecimiento de una tasa ambiental para reducir las extracciones de recursos subterráneos, tasa que puede justificarse como un modo de internalizar todo o parte del coste ambiental que supone su sobreexplotación.

Los dos primeros instrumentos están incluidos en el paquete de posibles medidas a establecer por la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS, 2008) para eliminar la sobreexplotación de acuíferos, no contemplándose por el momento la consideración de diferentes niveles de aplicación de cada instrumento que permitan evaluar diferentes alternativas de utilización conjunta, y en diferente proporción, de los mismos. Asimismo, la CHS (2008) solo contempla el incremento de las tarifas para el agua superficial y con el objetivo exclusivo de incrementar el grado de recuperación de costes.

En nuestro caso, se han analizado diferentes alternativas de gestión que consisten en combinaciones de los tres instrumentos mencionados. Se han considerado diferentes niveles de aplicación de los instrumentos que permitan evaluar alternativas de utilización conjunta de los mismos. En concreto, se han considerado los siguientes rangos de valores:

- Precios de compra de derechos de aguas subterráneas: entre 0 y 1,75 €/m³.
- Subvención por parte del Estado del precio del agua desalada: entre 0 y 0,50 €/m³.
- Tasa ambiental: entre 0 y 0,50 €/m³.

5.2. Evaluación económica de las diferentes alternativas

El impacto económico de los instrumentos analizados se evalúa utilizando un modelo de programación matemática que maximiza el margen neto derivado de utilizar las diferentes fuentes de suministro de agua disponibles en la zona para el regadío.

La función objetivo del modelo es:

$$\text{Max} \sum_z \left[\text{MN}_z(w_{uz}) - \sum_o (p_{w_{zo}} \times w_{uzo}) - t_a \times w_{uz, \text{subt}} + p_c \times w_{vz, \text{subt}} + s_d \times w_{uz, \text{desalsubv}} \right] \quad [1]$$

⁴ Otro instrumento potencialmente utilizable es el intercambio de derechos de uso del agua. Sin embargo, y pese a que su uso se permite desde el año 2000, el nivel de intercambios dentro de la cuenca del Segura ha sido muy reducido y su impacto económico casi nulo (Calatrava y Gómez-Ramos, 2009), por lo que no se considera en este trabajo.

donde z representa cada una de las UDAs o zonas consideradas (60, 61, 63, 64, 65, 66 y 68); o representa cada uno de los orígenes del agua disponible (superficial, trasvase Tajo-Segura, residual depurada, subterránea, desalada y desalada subvencionada); wu_z es la cantidad de agua total utilizada en la UDA z contando todas las fuentes de suministro ($\text{hm}^3/\text{año}$); $MN_z(wu_z)$ es una función que relaciona la cantidad de agua utilizada en la UDA z con el margen neto generado en esa zona (euros); pw_{zo} es el coste medio en cada UDA z de cada fuente de suministro o (euros/ $\text{m}^3/\text{año}$); wu_{zo} es la cantidad de agua utilizada en cada UDA z de cada fuente de suministro o ($\text{hm}^3/\text{año}$); ta es la cuantía de la tasa ambiental sobre las extracciones de recursos subterráneos (euros/ $\text{m}^3/\text{año}$); pc es el precio de compra de derechos de aguas subterráneas (euros/ $\text{m}^3/\text{año}$); $wv_{z,subt}$ es la cantidad de agua subterránea cuyos derechos son adquiridos por la administración en cada UDA z ($\text{hm}^3/\text{año}$); sd es la subvención al precio del agua desalada subvencionada (euros/ $\text{m}^3/\text{año}$); $wu_{z,desal,subv}$ es la cantidad de agua desalada cuyo precio es subvencionado a cambio de reducir los bombeos de recursos subterráneos en cada UDA z ($\text{hm}^3/\text{año}$). Las variables de decisión del modelo son wu_{zo} (y por lo tanto wu_z) y $wv_{z,subt}$.

La función objetivo [1] está sujeta a las siguientes cinco restricciones:

La cantidad total de agua utilizada en cada UDA es la suma de las cantidades de agua de cada origen utilizadas en esa UDA:

$$wu_z = \sum_o wu_{zo} \quad \forall z \quad [2]$$

Disponibilidad de agua subterránea, del trasvase y depurada en cada zona:

$$wu_{zo} \leq \text{dot}_{zo} \quad \forall z, o = \text{superficial, trasvase Tajo - Segura, residual depurada} \quad [3]$$

Disponibilidad de agua subterránea (contabiliza las ventas de derechos de agua y obliga a que el uso de agua desalada con precio subvencionado sustituya a bombeos de aguas subterráneas):

$$wu_{z,subt} + wv_{z,subt} + wu_{z,desal,subv} \leq \text{dot}_{z,subt} \quad \forall z \quad [4]$$

Disponibilidad de agua desalada (restringe que las cantidades utilizadas de agua desalada, tanto con precio subvencionado como sin subvencionar, no sobrepasen a la cantidad de agua desalada disponible):

$$wu_{z,desal} + wu_{z,desal,subv} \leq \text{dot}_{z,desal} \quad \forall z \quad [5]$$

No negatividad:

$$wu_z \geq 0; wu_{zo} \geq 0; wv_{z,subt} \geq 0 \quad \forall z \quad [6]$$

El modelo se ejecuta para cada posible combinación de valores de los parámetros ta , pc y sd , que representan los tres instrumentos analizados. A partir de los valores óptimos de las variables de decisión (wu_{zo}^* , wv_{subt}^*) obtenidos para cada combinación de instrumentos se calculan una serie de indicadores económicos (valor de la producción, margen neto, empleo agrario, superficie regada, coste para la administración) que permiten evaluar las diferentes alternativas o escenarios de gestión propuestos. Para ello se utilizan una serie de curvas de valor del agua de riego que relacionan la cantidad total de agua utilizada y los cuatro primeros indicadores mencionados, y que provienen del modelo de simulación de la agricultura de regadío de la cuenca del Segura descrito en Martínez-Granados *et al.* (2011)⁵. La utilización de dichas curvas permite realizar tan sólo un análisis de equilibrio parcial, en el que los costes de oportunidad de los factores de producción y los precios de los productos no varían cuando lo hace la cantidad de agua utilizada, la superficie cultivada, la demanda de inputs y la producción obtenida.

Los indicadores económicos se han calculado de la siguiente forma:

$$\text{Valor de producción} = \sum_z PFA_z(wu_z^*) \quad [7]$$

Margen neto:

$$\sum_z \left[MN_z(wu_z^*) - \sum_o (pw_{zo} \times wu_{zo}^*) - ta \times wu_{z,subt}^* + pc \times wv_{z,subt}^* + sd \times wu_{z,desalsubv}^* \right] \quad [8]$$

Empleo agrario:

$$\sum_z MO_z(wu_z^*) \quad [9]$$

Superficie regada:

$$\sum_z SR_z(wu_z^*) \quad [10]$$

Coste a asumir por parte de la Administración:

$$\sum_z \left[pc \times wv_{z,subt}^* + sd \times wu_{z,desalsubv}^* - ta \times wu_{z,subt}^* \right] \quad [11]$$

⁵ Se trata de un modelo no lineal de optimización cuya función objetivo maximiza el margen neto de las actividades de cultivo, y las restricciones representan la disponibilidad de recursos productivos (superficie de riego y agua). El modelo determina, para cada UDA de la Cuenca del Segura, y en función de las disponibilidades de agua, los valores de superficie asignada a cada cultivo, a partir de la cuales se calcula el margen neto total. Parametrizando la cantidad de agua disponible y computando los valores de margen neto obtenidos es posible derivar una función que ligue el margen neto en cada UDA con su disponibilidad de agua. Asimismo, el modelo permite obtener funciones similares que relacionan la disponibilidad de agua con el valor de la producción agraria, el empleo agrario o la superficie regada.

Donde: $PFA_z(wu_z)$ es una función que liga la cantidad de agua utilizada en la UDA z con el valor de la producción agrícola de regadío generado en esa zona (euros); $MN_z(wu_z)$ es una función que liga la cantidad de agua utilizada en la UDA z con el margen neto generado en esa zona (euros); $MO_z(wu_z)$ es una función que liga la cantidad de agua utilizada en la UDA z con la mano de obra agraria utilizada en esa zona (euros); $SR_z(wu_z)$ es una función que liga la cantidad de agua utilizada en la UDA z con la superficie regada en esa zona (hectáreas).

6. Resultados

6.1. Impacto de la prohibición de las extracciones

Una opción para eliminar la sobreexplotación de acuíferos es limitar el uso de recursos subterráneos a la fracción renovable de los bombeos. En la situación actual, en la que no hay acceso a recursos desalados, este escenario supondría una reducción significativa de la superficie regada (34,4%), debido a la menor disponibilidad de agua en la zona, e importantes consecuencias económicas y sociales (tercera columna del Cuadro 3). En concreto, la producción agraria se reduciría en 146,23 millones de € al año (un 26,9%), el margen neto se reduciría en 52,55 millones de € anuales (un 23,7%) y el empleo agrario se reduciría en 1,39 millones de jornales al año, lo que supone una reducción de más del 30% (Cuadro 3).

Puesto que en el futuro los regantes podrán disponer de recursos procedentes de la desalación, se analiza también el escenario derivado de eliminar la sobreexplotación pero existiendo la posibilidad de sustituir el agua subterránea por agua desalada no subvencionada. El impacto económico y social de la limitación de las extracciones en este caso sería mucho menor, aunque superior al de la situación actual, ya que los recursos desalados son más caros y la demanda total de agua sería menor. Así, la prohibición de la sobreexplotación combinada con aportes de agua desalada supone sustituir los 73,6 hm³/año de recursos subterráneos no renovables por 48,5 hm³/año de agua desalada, ya que el elevado coste de esta última hace que su cantidad demandada sea menor. El uso de agua total en la zona disminuye casi un 12%, lo que reduce la producción agraria en 31,42 millones de €/año (un 5,8%), el margen neto en 26,92 millones de €/año (un 12,1%) y el empleo en 0,41 millones de jornales al año (un 8,9%) (cuarta columna del Cuadro 3).

CUADRO 3

Impacto económico de la eliminación de la sobreexplotación mediante la prohibición de extracciones y los diferentes instrumentos considerados de manera aislada

Indicador	Situación actual	Prohibición sin acceso a desalación	Prohibición con acceso a desalación	Compra de derechos (precio: 1,15 €/m ³ /año)	Tasa ambiental con acceso a desalación (0,40 €/m ³ /año)	Subvención al precio del agua desalada (0,40 €/m ³ /año)
Uso de aguas subterráneas (hm ³ /año)	118,20	44,60 (-62,27%)	44,60 (-62,27%)	44,60 (-62,27%)	35,39 (-70,06%)	43,06 (-63,57%)
Producción agraria (millones euros/año)	542,95	396,72 (-26,93%)	511,53 (-5,79%)	396,72 (-26,93%)	535,97 (-1,29%)	542,95 (+0,00%)
Margen neto (millones euros/año)	221,68	169,13 (-23,71%)	194,76 (-12,14%)	251,32 (+13,37%)	184,03 (-16,98%)	223,37 (+0,76%)
Empleo (millones jornales/año)	4,58	3,18 (-30,57%)	4,17 (-8,95%)	3,45 (-24,73%)	4,52 (-1,38%)	4,58 (+0,00%)
Coste presupuestario (millones de €/año)	0	0	0	83,55	-12,52	25,96
Superficie regada (ha/año)	39.076	25.636 (-34,39%)	35.023 (-10,37%)	25.824 (-33,91%)	37.597 (-3,78%)	39.076 (+0,00%)

Nota: Cambio porcentual con respecto a la situación actual entre paréntesis.

Fuente: Elaboración propia.

6.2. Impacto de la compra de derechos

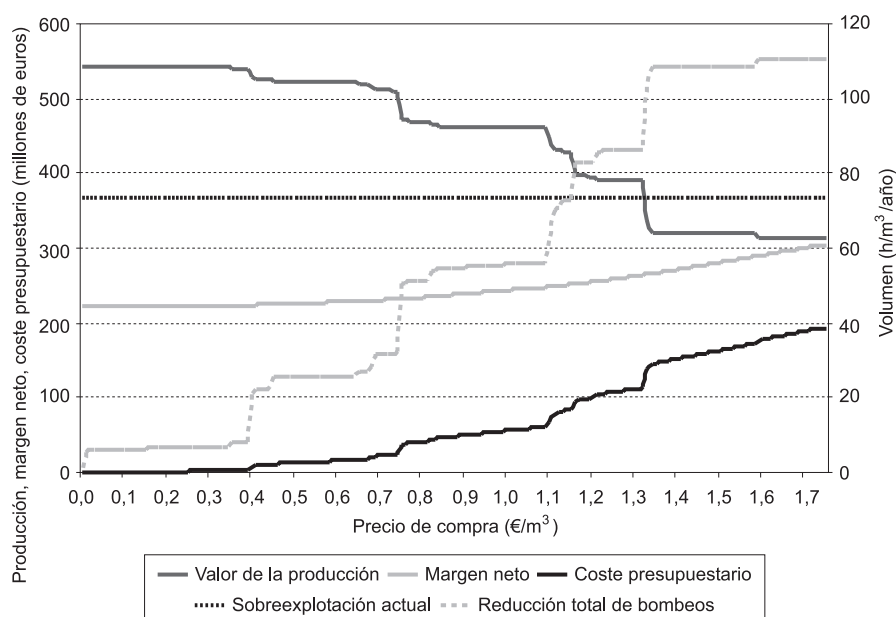
El Gráfico 1 muestra como, a medida que se incrementa el precio de compra del derecho de bombeo de agua subterránea, disminuyen las extracciones y, paralelamente, el valor de la producción agraria⁶, mientras que se incrementan tanto el margen neto de los agricultores como el coste presupuestario derivado de la compra de los derechos.

La eliminación de la sobreexplotación en los acuíferos mediante la compra de derechos de agua exigiría alcanzar un precio de compra de 1,15 €/m³/año. Como consecuencia, y con respecto a la situación actual, la superficie cultivada se vería reducida en 13.252 ha (34%), el empleo agrario en 1,13 millones de jornales (25%) y el valor de la producción en 146,23 millones de euros anuales (27%) (quinta columna del Cuadro 3). Por el contrario, la rentabilidad privada de los agricultores crecería en 29,64 millones de € anuales (un 13%). Finalmente, el coste presupuestario de esta medida ascendería a 83,55 millones de € anuales. Si se capitaliza dicho coste anual considerando un tipo de interés de entre 0,03 y 0,05 se obtiene un coste total de entre 2.785 y 1.671 millones de euros respectivamente.

⁶ En todos los análisis realizados, la variable “Empleo agrario” evoluciona de manera paralela a la variable “Valor de la producción agraria”, por lo que se muestra solo la segunda para simplificar los gráficos.

GRÁFICO 1

Impacto de la compra de derechos sobre el uso de aguas subterráneas, la producción, el margen neto y el coste presupuestario para la Administración



Fuente: Elaboración propia.

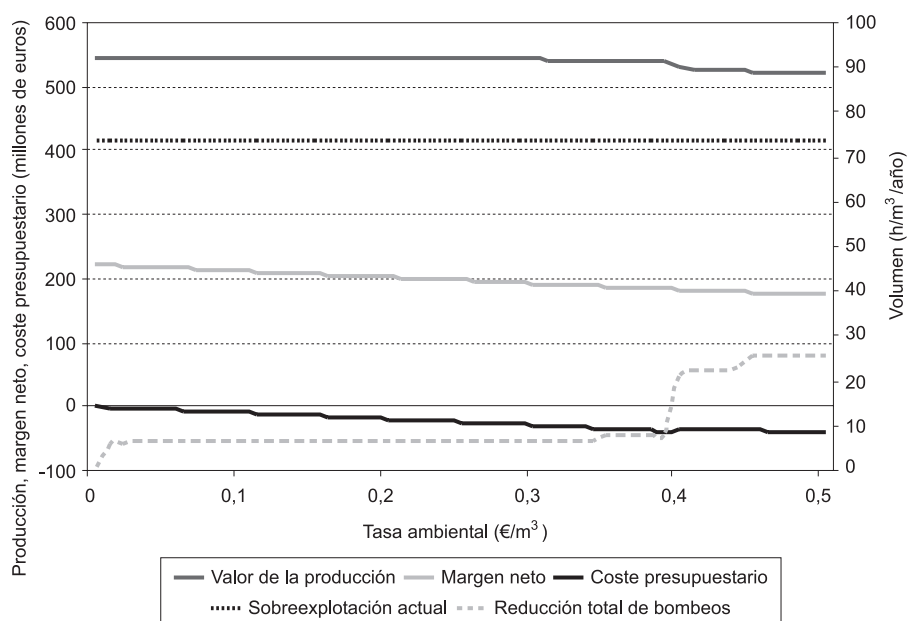
6.3. Impacto de la tasa ambiental

En los Gráficos 2 y 3 puede verse cómo a medida que se incrementa el valor de la tasa disminuye el uso de recursos subterráneos, pero también el valor de la producción agraria, el margen de los agricultores y el coste presupuestario para la Administración, que es negativo por tratarse de una recaudación por la tasa.

El establecimiento de una tasa ambiental en la situación actual, en la que no hay disponibilidad de recursos desalados, no permite eliminar la sobreexplotación para tasas inferiores a 0,50 €/m³/año, que es el mayor valor analizado (Gráfico 2). Para dicho valor, las extracciones se reducen tan solo en 25,6 hm³/año, lo que resultaría insuficiente ya que se mantendría un nivel de extracciones no renovables de 48 hm³/año. La tasa reduce el valor de la producción, el empleo agrario y la superficie de regadío, pero el mayor impacto es sobre la rentabilidad privada de los agricultores, cuyo margen neto se reduce en un 19,64% (43,53 millones de euros anuales) como consecuencia de lo elevado de la tasa, cuyo efecto es principalmente recaudatorio. Para eliminar la sobreexplotación en ausencia de recursos hídricos alternativos habría que establecer tasas muy superiores a 1 euro/m³/año.

GRÁFICO 2

Impacto de la tasa ambiental sobre las extracciones, la producción, el margen neto y el coste presupuestario (considerando que no hay agua desalada como recurso sustitutivo)



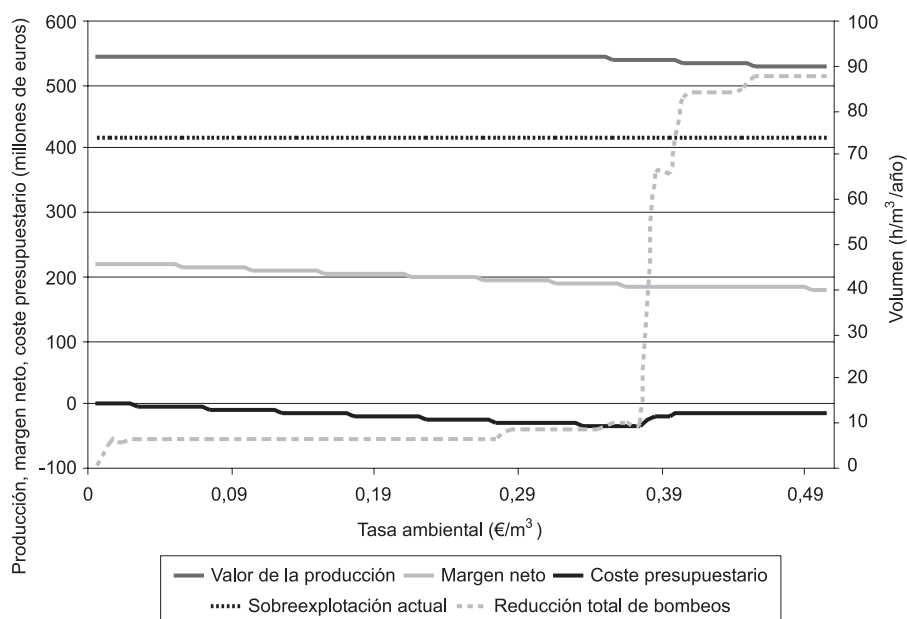
Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, en el caso en que existiera la posibilidad de utilizar recursos procedentes de la desalación para sustituir los subterráneos, la efectividad de la tasa ambiental sobre las extracciones mejora (Gráfico 3). Sin embargo, esta efectividad sigue siendo bastante limitada por lo elevado de la rentabilidad del regadío en la zona. La tasa no tiene apenas efecto por debajo de los 0,37 €/m³/año, valor a partir del cual a los agricultores les comienza a resultar más asequible utilizar recursos desalados que pagar la tasa por extraer recursos subterráneos. La eliminación de la sobreexplotación se alcanza para una tasa de 0,40 €/m³/año.

Al sustituirse el agua subterránea por desalada, el impacto sobre producción y empleo agrario de la tasa es reducido (1,3%), siendo mayor el impacto sobre la rentabilidad de los agricultores, cuyo margen neto se reduce en 37,65 millones de euros anuales (17%) como consecuencia del uso de un recurso más caro (sexta columna del Cuadro 3). La tasa genera una recaudación anual de 12,52 millones de € (sexta columna del Cuadro 3).

GRÁFICO 3

Impacto de la tasa ambiental sobre el uso de aguas subterráneas, la producción, el margen neto y el coste presupuestario (con disponibilidad de agua desalada)



Fuente: Elaboración propia.

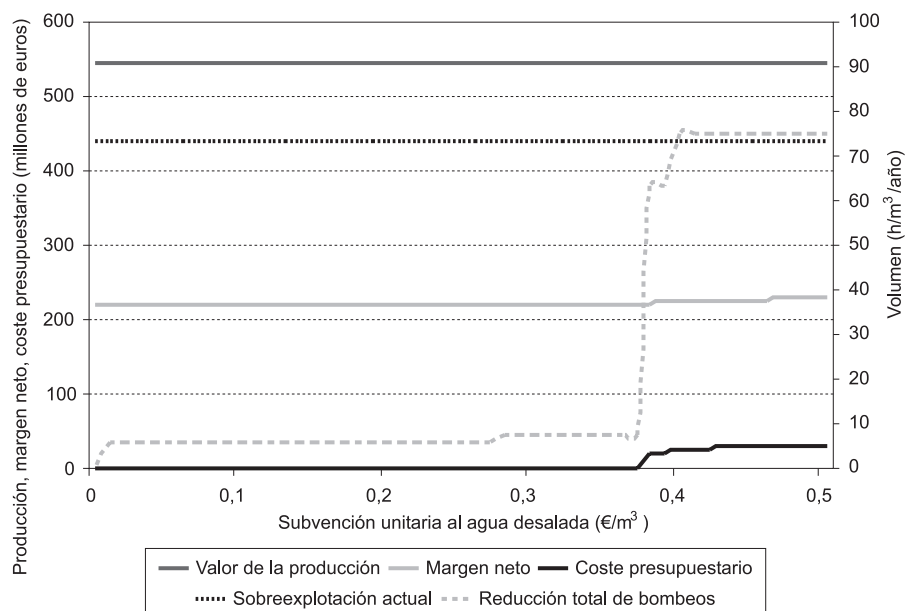
6.4. Impacto de la subvención al precio del agua desalada

La subvención del agua desalada reduce el precio que los agricultores pagan por este recurso, con lo cual les resulta más rentable utilizar agua desalada que subterránea. El Gráfico 4 muestra como al incrementarse el valor unitario de la subvención al precio del agua desalada disminuye la extracción de recursos subterráneos, mientras que el valor de la producción agraria y el empleo agrario se mantienen constantes, el margen de los agricultores asciende muy levemente, y el coste presupuestario lo hace a partir de una subvención de 0,27 €/m³/año. La cantidad final de agua destinada al regadío será la misma independientemente de la fuente de la que proceda, por lo que no hay impacto alguno ni sobre la producción ni sobre el empleo agrario, y muy poco sobre la rentabilidad del agricultor. Sin embargo, tiene un coste considerable para la Administración.

La subvención del agua desalada tiene una eficacia limitada para subvenciones inferiores a 0,37 €/m³/año, pero permite eliminar la sobreexplotación a partir de valores de 0,40 €/m³/año sin impacto económico para el sector pero con un coste para la Administración de casi 26 millones de € anuales (séptima columna del Cuadro 3), lo que le resta efectividad.

GRÁFICO 4

Impacto del valor de la subvención al agua desalada en la producción, el margen neto y el coste presupuestario



Fuente: Elaboración propia.

6.5. Combinaciones de instrumentos

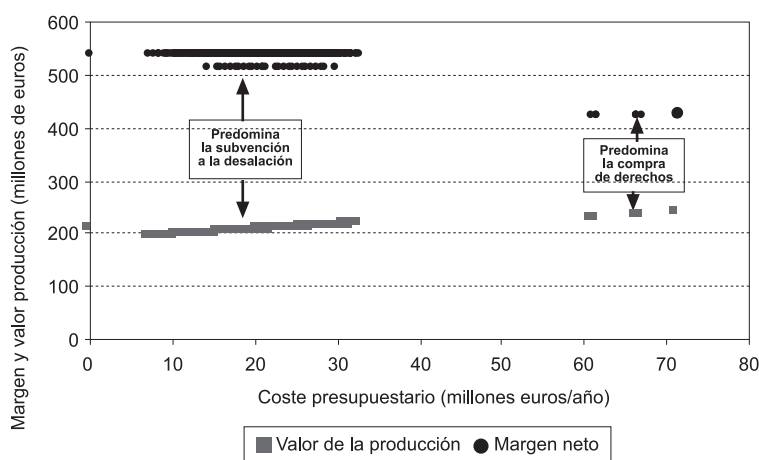
De todas las combinaciones de los tres instrumentos, se han seleccionado aquellas que permiten alcanzar una reducción total en el volumen de bombeos no renovables en los acuíferos del Guadalentín que asciende a 73,6 hm³/año. Puesto que ninguna combinación permite alcanzar exactamente dicha cifra se han considerado aquellas combinaciones de instrumentos que permiten alcanzar una reducción de entre 72 y 76 hm³/año, las cuales se muestran en los Gráficos 5 y 6.

El Gráfico 5 ilustra la relación que existe entre el coste para la administración y el margen neto y el valor de la producción agraria respectivamente para las diferentes combinaciones de instrumentos que permiten eliminar la sobreexplotación en los acuíferos del Guadalentín, mientras que el Gráfico 6 muestra la relación entre el margen neto y el valor de la producción. En ambos Gráficos puede verse la existencia de dos grandes grupos de combinaciones de los instrumentos: uno en el que la reducción de la sobreexplotación se debe principalmente a la compra de derechos y otro en el que se debe principalmente al uso de recursos desalados subvencionados, si bien una mayoría de casos se utiliza más de un instrumento a la vez. En el Cuadro 4

se muestran los valores de los indicadores económicos para aquellas combinaciones de instrumentos situadas en los extremos de las nubes de puntos de los Gráficos 5 y 6 (menor y mayor coste presupuestario dentro de cada conjunto).

GRÁFICO 5

Diagramas de dispersión del coste presupuestario frente al margen neto y al valor de la producción para las combinaciones de instrumentos que eliminan la sobreexplotación



Nota: Los puntos redondos representan la situación actual.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 5 el coste presupuestario se incrementa a medida que lo hacen el precio de compra del derecho de extracción y la subvención al agua desalada y a medida que se considera un tasa sobre las extracciones más reducida.

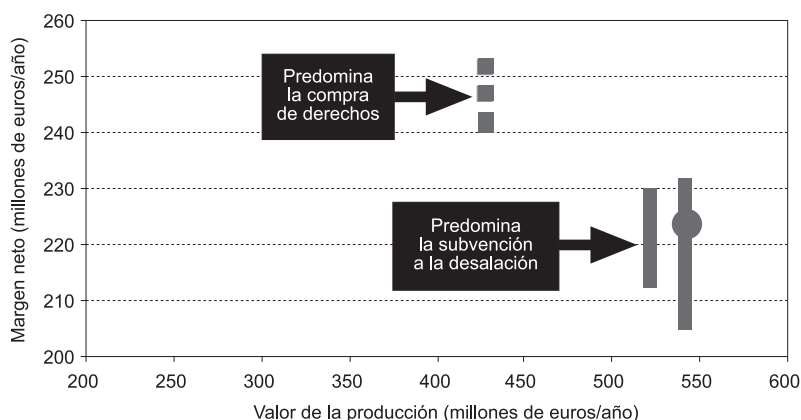
A la derecha del Gráfico 5 puede verse el conjunto de soluciones en las que predomina la compra de derechos. El valor de la producción se mantiene casi constante con un valor de aproximadamente 428,7 millones de euros anuales, mientras que el margen neto oscila entre los 240 y los 251 millones de euros anuales, creciendo a medida que lo hace el coste presupuestario, que oscila entre 60,7 y 71 millones de euros anuales, y cuyo incremento se explica principalmente por un mayor precio de rescate de los derechos de agua (Cuadro 4).

Como ya se ha comentado, el rescate de derechos tiene un impacto negativo notable tanto en términos de producción agraria (21%) como de empleo en el sector (24,7%), si bien no afecta, sino que incluso incrementa, la renta privada de los agricultores, al ver éstos compensada la reducción de su actividad por el pago recibido por la cesión de sus derechos (Cuadro 4). El hecho de que se subvencione el agua

desalada hace que el impacto no sea tan negativo como en el caso en que el único instrumento utilizado es la compra de derechos. El incremento del margen neto oscila entre el 8,7% y el 13,4% dependiendo de los instrumentos utilizados y de que se asuma un mayor o menor coste presupuestario.

GRÁFICO 6

Diagrama de dispersión del margen neto frente al valor de la producción para aquellas combinaciones de instrumentos que permiten eliminar la sobreexplotación



Nota: El punto redondo representa la situación actual.

Fuente: Elaboración propia.

A la izquierda del Gráfico 5 puede verse el conjunto de soluciones en las que predomina la subvención de recursos desalados. Si nos centramos en el valor de la producción, puede verse cómo existen dos subconjuntos dentro de éste. En primer lugar, en el subconjunto superior, caracterizado por la subvención a la desalación combinada con diferentes niveles de tasa ambiental y reducidos precios de adquisición de derechos, el valor de la producción se mantiene casi constante en torno a los 542,5 millones de euros anuales, mientras que el valor del margen neto oscila entre los 205 y los 230 millones de euros anuales, creciendo a medida que lo hace el coste presupuestario, que oscila entre los 7 y los 31,7 millones de euros anuales en función del precio de rescate de los derechos de bombeos (Cuadro 4). La sustitución de recursos subterráneos no renovables por desalados hace que el uso total de agua en la zona no se reduzca, por lo que el impacto sobre el sector agrario es casi insignificante. En la solución de menor coste presupuestario, que coincide con una elevada tasa sobre las extracciones, el margen neto se ve reducido en un 7,2% (15,9 millones de euros) con respecto a la situación actual, mientras que en la de mayor coste presupuestario, que coincide con una tasa ambiental nula, el margen neto se ve incrementado en un 4% (8,8 millones de euros) debido al ingreso por la venta de derechos.

CUADRO 4

Valores de los indicadores económicos en los extremos de las posibles combinaciones de instrumentos y de la situación inicial (no actuación)

	Situación inicial	Compra de derechos principalmente		Desalación, tasa y precio de compra bajo		Desalación, tasa y precio de compra medio	
		Menor coste	Mayor coste	Menor coste	Mayor coste	Menor coste	Mayor coste
Precio de compra del derecho (€/m ³ /año)	0,00	1,05	1,15	0,00	0,20	0,35	0,60
Tasa ambiental sobre bombeos (€/m ³ /año)	0,00	0,10	0,00	0,24	0,00	0,12	0,00
Subvención al coste de la desalación (€/m ³ /año)	0,00	0,26	0,36	0,26	0,50	0,26	0,38
Reducción bombeos por compra de derechos (hm ³ /año)	0,00	71,38	71,38	0,00	6,53	25,60	25,78
Reducción bombeos por uso de desalación (hm ³ /año)	0,00	1,28	1,28	69,40	69,40	50,20	50,20
Valor de la producción agraria (millones euros/año)	542,95	428,67	428,67	542,58	542,58	521,83	521,83
Margen neto (millones euros/año)	221,68	240,97	251,36	205,81	230,52	213,36	228,64
Superficie regada (ha/año)	39.076	26.249	26.249	38.876	38.876	35.023	34.977
Empleo (millones jornales / año)	4,58	3,45	3,45	4,58	4,58	4,32	4,31
Coste compra derechos (millones euros/año)	0,00	64,63	70,79	0,00	1,09	7,56	13,04
Ingresos por la tasa ambiental (millones euros/año)	0,00	4,13	0,00	8,90	0,00	4,61	0,00
Subvención total a la desalación (millones euros/año)	0,00	0,25	0,34	15,94	30,66	11,40	16,66
Coste total para el Estado (millones euros/año)	0,00	60,75	71,13	7,04	31,75	14,35	29,70

Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar, existe otro subconjunto de soluciones caracterizado también por la subvención a la desalación pero ahora combinada con una tasa ambiental menor que en el caso anterior y precios intermedios de adquisición de derechos de agua. En estas soluciones, el valor de la producción se mantiene casi constante con valores cercanos a los 522 millones de euros anuales, mientras que el valor del margen neto oscila entre los 213,3 y los 228,6 millones de euros anuales y el coste presupuestario entre los 14,3 y los 29,7 millones de euros anuales (Cuadro 4).

En este segundo subconjunto de soluciones, y pese a que la sustitución de recursos subterráneos no renovables por desalados permite que el uso de agua en la zona no se reduzca mucho, la consideración de valores intermedios de precios de compra del derecho hace que se produzca un cierto impacto negativo sobre el sector agrario, tanto en términos de producción agraria (3,9%) como de empleo en el sector (5,8%). El impacto en términos de margen neto depende del conjunto de instrumentos considerados y de que se asuma un mayor o menor coste presupuestario. En la solución de menor coste presupuestario, que coincide con una mayor tasa sobre las extracciones,

el margen neto se ve reducido en un 3,8% (8,32 millones de euros), mientras que en la de mayor coste presupuestario, que coincide con una tasa ambiental nula, el margen neto se ve incrementado en un 3.1% (6,96 millones de euros) debido al ingreso por la venta de derechos y al mayor grado de subvención del agua desalada.

En el Gráfico 6, que muestra el valor de la producción agraria de cada solución frente a sus valores de margen neto, puede verse cómo cada uno de los grupos de soluciones resulta en un mismo valor de la producción para muy diferentes valores de margen neto. La tasa de intercambio entre margen neto y valor de la producción solo es relevante a la hora de optar por soluciones basadas predominantemente en la compra de derechos o por soluciones basadas en la subvención a la desalación y la tasa ambiental. Por lo tanto, dentro de cada subgrupo de soluciones, e independientemente de cuál se seleccione, lo relevante es el análisis de la alternativa entre el margen neto de los agricultores y el coste presupuestario público.

La combinación óptima de instrumentos dependerá de la importancia relativa que el decisor da a cada criterio (minimizar el coste presupuestario, minimizar el impacto sobre la renta agraria, minimizar el impacto sobre producción y empleo agrario). Sin embargo, sí que se puede reducir el número de posibles soluciones en base a algunos criterios sobre los que puede haber un cierto grado de consenso:

- Se eliminan aquellas soluciones dominadas por otras, en las que los valores de los dos primeros instrumentos (por ejemplo, precio de compra y tasa ambiental) son iguales y cuyos valores del tercer instrumento no son el menor (por ejemplo, subvención a la desalación) lo que implica un mayor coste presupuestario.
- Si minimizar el coste presupuestario es el criterio principal, lo óptimo es seleccionar soluciones basadas en la subvención a la desalación (aislada o en combinación con una tasa ambiental), ya que la compra de derechos tiene un coste presupuestario mucho más elevado, el cual sólo se ve reducido por la recaudación de una tasa ambiental que tiene poco efecto sobre la reducción de las extracciones. Se elimina por tanto el grupo de soluciones en las que predomina la compra de derechos.
- Se eliminan aquellas soluciones que incrementan el margen neto de los agricultores con respecto de la situación actual a costa de un mayor coste presupuestario.
- De las soluciones en las que predomina la subvención a la desalación, se eliminan aquellas basadas en precios de compra de los derechos de agua intermedios y menores tasas ambientales, ya que presentan un rango de costes presupuestarios e impacto sobre el margen neto similares a los basados en precios de compra de derechos más reducidos y mayores tasas ambientales, pero con un cierto, aunque no elevado, impacto sobre la producción y el empleo agrario (3,9% y 5,8% respectivamente). De esa forma, quedan solo aquellas soluciones sin impacto sobre la producción y el empleo agrario.

Las soluciones restantes se muestran en el Cuadro 5 y el Gráfico 7, en las que puede verse como existe una relación lineal inversa entre margen neto y coste presupuestario. La pendiente de la recta que se ajusta a la nube de puntos en el Gráfico 7 es la tasa de intercambio entre ambos criterios y es igual a la unidad, lo que significa que por cada euro que se incrementa el coste presupuestario el margen neto se incrementa también en un euro.

CUADRO 5

Valores de los indicadores económicos de las posibles combinaciones de instrumentos seleccionadas y de la situación inicial (no actuación)

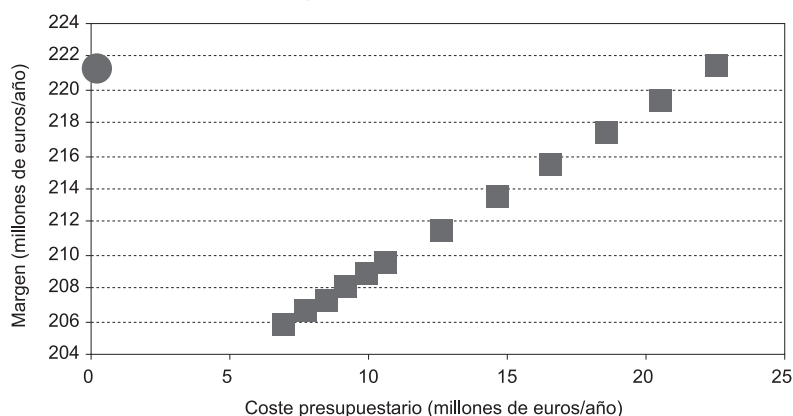
Precio de compra del derecho (€/m ³ /año)	Tasa ambiental sobre bombeos (€/m ³ /año)	Subvención al coste de la desalación (€/m ³ /año)	Margen neto (millones euros/año)	Coste compra derechos (millones euros/año)	Ingresos por la tasa ambiental (millones euros/año)	Coste de subvención a la desalación (millones euros/año)	Coste total (millones euros/año)
0,00	0,00	0,00	221,68	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,24	0,26	205,81	0,00	8,90	15,94	7,04
0,00	0,22	0,26	206,55	0,00	8,15	15,94	7,79
0,00	0,20	0,26	207,30	0,00	7,41	15,94	8,53
0,00	0,18	0,26	208,04	0,00	6,68	15,94	9,26
0,00	0,16	0,26	208,78	0,00	5,94	15,94	10,00
0,00	0,14	0,26	209,52	0,00	5,22	15,94	10,72
0,00	0,12	0,28	211,50	0,00	4,47	17,17	12,70
0,00	0,10	0,30	213,47	0,00	3,73	18,40	14,67
0,00	0,08	0,32	215,44	0,00	2,98	19,62	16,64
0,00	0,06	0,34	217,41	0,00	2,24	20,85	18,61
0,00	0,04	0,36	219,38	0,00	1,49	22,08	20,59
0,00	0,02	0,38	221,36	0,00	0,75	23,30	22,55

Nota: La primera fila representa la situación actual.

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 7

Diagrama de dispersión del coste presupuestario frente al margen neto una vez eliminadas las soluciones de mayor coste, las que incrementan el margen neto, las que reducen el valor de la producción y el empleo agrario y las dominadas



Nota: El punto redondo representa la situación actual.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 7 y el Cuadro 5 se observa cómo a medida que disminuye la tasa ambiental es necesario incrementar la subvención a la desalación para alcanzar el objetivo de eliminar la sobreexplotación. Las soluciones óptimas oscilan por tanto entre la de menor coste (7,04 millones de euros/año), en la que se combina una tasa ambiental de 0,24 €/m³/año con una subvención al agua desalada de 0,26 €/m³/año, y la de mayor coste presupuestario (22,55 millones de euros/año), en la que se combina una tasa ambiental de 0,02 €/m³/año con una subvención al agua desalada de 0,38 €/m³/año (Cuadro 5). La opción de menor coste presupuestario supondría una reducción del margen neto del 7,2% con respecto a la situación inicial (15,87 millones de euros/año), mientras que la de mayor coste presupuestario no tendría impacto sobre el margen neto de los agricultores.

A modo de ejemplo, para una tasa ambiental de 0,06 €/m³/año, sería necesaria una subvención al agua desalada de 0,34 €/m³/año, lo que permitiría alcanzar el objetivo sin impacto sobre la producción y el empleo, con una reducción del margen neto del 2% (4,27 millones de euros al año) y un coste presupuestario anual de 18,61 millones de euros. En el caso de una tasa ambiental de 0,12 €/m³/año (cifra que se acerca al coste medio de las aguas subterráneas en el Guadalentín), bastaría con una subvención al agua desalada de 0,28 €/m³/año, lo que permitiría alcanzar el objetivo sin impacto sobre la producción y el empleo, con una reducción del margen neto del 4,6% (10,18 millones de euros al año) y un coste presupuestario anual de 12,70 millones de euros. En ambos casos, el coste total para la sociedad de eliminar la sobreexplotación sería de 22,88 millones de euros al año (suma del coste presupuestario y la pérdida de margen neto), lo que equivale a 0,305 €/m³/año.

7. Conclusiones

La sobreexplotación de acuíferos es uno de los principales problemas ambientales de la cuenca del Segura y, muy especialmente de la cuenca del Río Guadalentín, una de las regiones agrícolas más productivas de España. Las opciones barajadas por la administración para hacer frente a este problema son la compra de derechos de aguas subterráneas y la sustitución de recursos subterráneos por desalados, recursos estos últimos cuya disponibilidad en el futuro inmediato amplía el abanico de opciones a considerar en la zona. La elección del instrumento, o conjunto de instrumentos, adecuado requiere de una evaluación de su efectividad e impacto económico en términos de rentabilidad de la actividad agraria, impacto social y coste presupuestario. Este trabajo realiza una primera aproximación al análisis del impacto de algunas de las posibles alternativas que pueden utilizarse.

Una primera opción para eliminar la sobreexplotación de acuíferos es prohibir el uso de los recursos subterráneos que corresponden a bombeos no renovables. En una situación como la actual, en la que no existe todavía disponibilidad de recursos desalados, este escenario tendría importantes consecuencias negativas, tanto económicas como sociales, al verse reducido el uso de agua (reducción del 27% de la producción agraria, 24% del margen neto agrario y 30% del empleo agrario).

Puesto que en los próximos años habrá disponibilidad de recursos procedentes de la desalación en la zona, el impacto negativo de la prohibición podría verse reducido con respecto a la situación actual (reducción del 5,8% de la producción agraria, 12,1% del margen neto y 9% del empleo agrario), ya que los agricultores podrían sustituir parcialmente los recursos subterráneos por desalados.

La opción de compra de derechos de agua de riego por parte de la administración es indudablemente atractiva, ya que resuelve el problema de la sobreexplotación de manera definitiva y no supone merma alguna para la renta de los agricultores. Sin embargo, se trata de la alternativa de mayor coste presupuestario (83,55 millones de €/año) y con un notable impacto social (reducción del 21% del valor de la producción y 25% del empleo agrario).

El establecimiento de una tasa a las extracciones de aguas subterráneas tiene una efectividad reducida, tal y como muestra la literatura sobre tarificación del agua de riego, siendo necesario establecer tasas muy por encima del coste actual del agua para comenzar a reducir los bombeos. Su principal ventaja es el reducido coste presupuestario ya que de hecho genera ingresos por la recaudación de la tasa. Sin embargo, la elevada rentabilidad del regadío en la zona, junto a los elevados costes actuales del agua de riego y al reducido margen de ahorro de agua existente, hace que la demanda del agua sea muy inelástica frente a cambios en su precio vía tasa sobre las aguas subterráneas. En una situación como la actual, en la que no hay disponibilidad de recursos desalados, esta elasticidad es aún más reducida al no existir recursos hídricos alternativos que permitan sustituir a los subterráneos.

Sin embargo, en el caso en que exista una fuente alternativa de suministro, caso de las desaladoras que se están construyendo, la efectividad de la tasa ambiental mejora. Pese a ello, para eliminar la sobreexplotación sería necesario establecer una tasa muy elevada (0,40 €/m³/año) que haga que a los agricultores les resulte más asequible utilizar agua desalada que pagar la tasa por extraer agua subterránea. Al sustituirse los recursos subterráneos por desalados, el impacto sobre la producción y el empleo agrario es muy reducido (1,4%), si bien el margen neto de los agricultores se reduce un 17% al utilizar un recurso más caro.

Una cuarta opción es la de subvencionar el precio del agua desalada para reducir el diferencial de precio con el agua subterránea y hacer así que a los agricultores les resulte igual o más rentable utilizar agua desalada que subterránea. La cantidad final de agua destinada al regadío será la misma, por lo que no habría impactos negativos ni en términos del valor de la producción ni del empleo generado, y estos serían muy reducidos en términos de la rentabilidad de los agricultores. El principal inconveniente de subvencionar el agua desalada es que el esfuerzo recae totalmente sobre la Administración, ya que para eliminar la sobreexplotación es necesaria una subvención de 0,40 €/m³/año, con un coste presupuestario anual de casi 26 millones de €.

Una solución más equilibrada y que permite compatibilizar un cierto impacto sobre el sector agrario con un coste presupuestario más reducido es el uso combinado de los instrumentos. Nuestro análisis muestra que las alternativas en las que existe un cierto grado de compra de derechos siempre presentan un mayor coste presupuestario y un mayor impacto en términos de producción y empleo que aquellas en las que no se contempla el uso de ese instrumento. Aunque la compra de derechos es una opción atractiva para la administración hidráulica su elevado coste presupuestario e impacto económico sugiere evitar su uso, al menos en la zona de estudio.

El uso combinado de una tasa ambiental con la subvención de la desalación es la opción que permite mantener en niveles similares a los actuales la producción y el empleo agrario. La elección de la combinación a utilizar depende del criterio que se priorice a la hora de tal decisión: minimizar el coste presupuestario o minimizar la pérdida de margen neto. En el conjunto de soluciones óptimas existe una relación inversa lineal entre margen neto y coste presupuestario, siendo la tasa de intercambio entre ambos criterios igual a uno.

El coste total de la medida (coste presupuestario más reducción de margen neto) es de aproximadamente 22,8 Millones de euros anuales, lo que equivale a 0,305 €/m³/año, un coste unitario similar al obtenido por Albiac *et al.* (2006). Este coste se repartirá entre los regantes y la administración dependiendo de si se opta por una mayor tasa y una menor subvención o al revés. El coste presupuestario se incrementa a medida que lo hace la subvención al agua desalada y disminuye a medida que se incrementa la tasa ambiental considerada.

Si bien la elección de la solución óptima supone un intercambio entre margen neto y coste presupuestario, hay que tener en cuenta que su selección estará limitada por la fuerte oposición que puede encontrar la tasa ambiental por parte de los regantes. Gran parte de la reducción de las extracciones no renovables se debe a su sustitución por recursos desalados subvencionados, siendo el impacto de la tasa sobre los

bombes muy reducido. La tasa tiene por tanto un papel principalmente recaudatorio, permitiendo compensar mediante los ingresos que ésta genera parte del coste de subvencionar el agua desalada, por lo que puede resultar difícil justificar tasas muy elevadas en base a lo reducido de su impacto real.

Referencias

- Albiac, J., Hanemann, M., Calatrava, J., Uche, J. y Tapia, J. (2006). "The rise and fall of the Ebro water transfer". *Natural Resources Journal*, 46(3): 727-757.
- Albiac, J., Tapia, J., Meyer, A., Hanemann, M., Mema, M., Calatrava, J., Uche, J. y Calvo, E. (2008). "Los problemas económicos de la planificación hidrológica". *Revista de Economía Aplicada*, XVI(47): 25-50.
- Bartolini, F., Bazzani, G.M., Gallerani, V., Raggi, M. y Viaggi, D. (2007). "The impact of water and agriculture policy scenarios on irrigated farming systems in Italy: An analysis based on farm level multi-attribute linear programming models". *Agricultural Systems*, 93(1-3): 90-114.
- Bazzani, G.M., Pasquale, S.D., Gallerani, V., Morganti, S., Raggi, M. y Viaggi, D. (2005). "The sustainability of irrigated agricultural systems under the Water Framework Directive: First results". *Environmental Modelling & Software*, 20(2): 165-175.
- Berbel, J. y Gutiérrez, C. (Eds.) (2005). *Sustainability of European Irrigated Agriculture under Water Framework Directive and Agenda 2000. EUR 21220*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Berbel, J., Calatrava, J. y Garrido, A. (2007). "Water pricing and irrigation: a review of the European experience". En Molle, F. y Berkoff, J. (Eds.): *Irrigation Water pricing Policy: The Gap Between Theory and Practice*. CAB International, Oxon: 295-327.
- Calatrava, J. y Gómez-Ramos, A. (2009). "El papel de los mercados de agua como instrumento de asignación de recursos hídricos 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: 295-319.
- Calatrava, J., Barberá, G.G. y Castillo, V.M. (2011). "Farming practices and policy measures for agricultural soil conservation in semi-arid Mediterranean areas: The case of the Guadalentín basin in southeast Spain". *Land Degradation and Development*, 22(1): 58-69.
- Carmona, G., Varela-Ortega, C. y Bromley, J. (2011). "The Use of Participatory Object-Oriented Bayesian Networks and Agro-Economic Models for Groundwater Management in Spain". *Water Resources Management*, 25(5): 1509-1524.
- CHS (2007). *Estudio General sobre la Demarcación Hidrográfica del Segura (versión del 2 de julio, 2007)*. Confederación Hidrográfica del Segura, Murcia.

- CHS (2008). *Esquema provisional de temas importantes de la Demarcación Hidrográfica del Segura (julio, 2008)*. Confederación Hidrográfica del Segura, Murcia.
- Downward, S.R. y Taylor, R. (2007). "An assessment of Spain's Programa AGUA and its implications for sustainable water management in the province of Almería, southeast Spain". *Journal of Environmental Management*, 82(2): 277-289.
- Esteban, E. y Albiac, J. (2011). "Groundwater and ecosystems damages: Questioning the Gisser-Sánchez effect". *Ecological Economics*, 70(11): 2062-2069.
- García Mollá, M. (2002). *Análisis de la influencia de los costes en el consumo de agua en la agricultura valenciana. Caracterización de las entidades asociativas para riego*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Garrido, A. y Calatrava, J. (2009). "Trends in water pricing and markets". En Garrido, A. y Llamas, M.R. (Eds.): *Water Policy in Spain*. CRC Press, Taylor & Francis, Leiden, The Netherlands: 129-142.
- Garrido A. y Calatrava, J. (2010). *Agricultural water pricing: EU and Mexico*. Consultant report prepared for the OECD. OECD, Paris.
- Giannoccaro, G., Prosperi, M. y Zanni, G. (2010). "Assessing the Impact of Alternative Water Pricing Schemes on Income Distribution". *Journal of Agricultural Economics*, 61(3): 527-544.
- Hellegers, P. y van Ierland, E. (2003). "Policy instruments for groundwater management in the Netherlands". *Environmental and Resource Economics*, 26(1): 163-172.
- Iglesias, E. (2002). "La gestión de las aguas subterráneas en el acuífero Mancha Occidental". *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 2(1): 69-88.
- Martínez-Granados, D., Maestre-Valero, J.F., Calatrava, J. y Martínez-Álvarez, V. (2011). "The economic impact of water evaporation losses from water reservoirs in the Segura basin, SE Spain". *Water Resources Management*, 25(13): 3153-3175.
- Mejías, P., Varela-Ortega, C. y Flichman, G. (2004). "Integrating agricultural policies and water policies under water supply and climate uncertainty". *Water Resources Research*, 40, W07S03. doi:10.1029/2004WR002877.
- MMA (2001). *Plan Hidrológico Nacional*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Molle, F. y Berkoff, J. (Eds.) (2007). *Irrigation Water pricing Policy: The Gap Between Theory and Practice*. CAB International, Oxon.
- Riesgo, L. y Gómez-Limón, J.A. (2005). "Análisis de escenarios de políticas para la gestión pública de la agricultura de regadío". *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 5(9): 81-114.
- Riesgo, L. y Gómez-Limón, J.A. (2006). "Multi-criteria policy scenario analysis for public regulation of irrigated agriculture". *Agricultural Systems*, 91(1-2): 1-28.
- Scheierling, S.M., Young, R.A. y Cardon, G.E. (2004). "Determining the price-responsiveness of demands for irrigation water deliveries versus consumptive use". *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 29(2): 328-345.

- Scheierling, S.M., Loomis, J.B. y Young, R.A. (2006). "Irrigation water demand: A meta-analysis of price elasticities". *Water Resources Research*, 42(1). doi:10.1029/2005WR004009.
- Varela-Ortega, C., Sumpsi, J.M., Garrido, A., Blanco, M. e Iglesias, E. (1998). "Water pricing policies, public decision making and farmers' response: Implications for water policy". *Agricultural Economics*, 19(1-2): 193-202.
- Wheeler, S., Bjornlund, H., Shanahan, M. y Zuo, A. (2008). "Price elasticity of water allocations demand in the Goulburn-Murray Irrigation District". *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 52(1): 37-55.

