

# LOS PROBLEMAS ECONÓMICOS DE LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA\*

*JOSÉ ALBIAC, JAVIER TAPIA, ANIKA MEYER*

*Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón*

*MICHAEL HANEMANN*

*Universidad de California en Berkeley*

*MITHAT MEMA*

*Universidad Aleksander Moisiu (Albania)*

*JAVIER CALATRAVA*

*Universidad Politécnica de Cartagena*

*JAVIER UCHE, ELENA CALVO*

*Universidad de Zaragoza*

Este artículo examina los principales proyectos de los Planes Hidrológicos de 2001 y de 2005, el trasvase del Ebro y el programa A.G.U.A., diseñados para resolver los problemas de escasez y degradación de los recursos hídricos en el sureste peninsular. El intenso debate sobre ambos proyectos muestra las dificultades para conseguir una gestión sostenible, debido a los conflictos entre regiones, sectores económicos, y organizaciones políticas y sociales. En este trabajo se evalúan alternativas a estos dos proyectos de ampliación de la oferta de agua, y los resultados muestran que las soluciones aceptables combinan medidas de oferta y demanda de agua. Ahora bien, la implementación de las medidas no es sencilla, y requiere compensar las pérdidas de los agricultores y lograr su cooperación para proteger los recursos hídricos. En caso contrario, una carga excesiva sobre las actividades agrarias generará una fuerte oposición social, que hará fracasar las medidas.

*Palabras clave:* Planificación hidrológica, trasvase del Ebro, programa A.G.U.A.

*Clasificación JEL:* C60, D61, Q25.

---

(\*) Esta investigación ha sido posible gracias a la ayuda de un gran número de personas e instituciones. El estudio ha recibido financiación de los fondos de investigación del Ministerio de Educación y Ciencia (INIA RTA02-090, INIA RTA04-141-C2 subproyectos 1 y 2, y CICYT AGL2001-2333-C02-02), y también de las dos partes a favor y en contra del proyecto de trasvase: convenios OTRI-UZ 2003/0206 y 2003/0374 de Presidencia de Gobierno y del Instituto Aragonés del Agua del Gobierno de Aragón, y el convenio 21.803-480/8511 de la Subdirección General de Planificación Hidrológica del MIMAM. La financiación y la ayuda de la Subdirección General de Planificación Hidrológica durante los años 1999 y 2000 fue esencial para poder desarrollar el modelo. Durante los últimos años se ha recibido apoyo e información de los Ministerios de Medio Ambiente y de Agricultura; de los Gobiernos de Murcia, Valencia y Andalucía; CEDEX, INIA, IVIE, INM,

Hace más de una década del debate en la Revista de Economía Aplicada sobre el Plan Hidrológico Nacional de 1993 entre González, Rubio y Aguilera<sup>1</sup>. Los términos del debate siguen abiertos, ya que las tareas de análisis que plantearon estos autores no se han llevado a cabo ni en el Plan Hidrológico Nacional de 2001 ni en la modificación del Plan de 2005. Este trabajo examina distintas alternativas para solucionar la escasez y degradación de los recursos hídricos en el sureste peninsular, evaluando sus resultados desde el punto de vista del bienestar social y de su viabilidad política.

La planificación hidrológica en España ha sido una cuestión importante en el último siglo, como muestran los esfuerzos de planificación del Plan Nacional de Obras Hidráulicas de 1933 [Lorenzo-Pardo (1933)], del Segundo Plan de Desarrollo de 1968, del Plan Hidrológico Nacional de 1993, y del Plan Hidrológico Nacional de 2001 revisado en 2005. Una característica común de estos planes es la política de aumento de oferta de agua, que ha sido el enfoque tradicional de la planificación hidrológica en España. Este enfoque tenía sentido en la España agraria del siglo pasado, cuando se consideraba esencial la intervención pública en los proyectos de regadío, por su importancia para promover el desarrollo económico y mejorar las condiciones sociales de los agricultores<sup>2</sup>.

La estimación errónea del agua disponible en el trasvase Tajo-Segura, junto a la enorme sobreexplotación de acuíferos en el sureste, condujeron a las propuestas de trasvases en ambos Planes Hidrológicos Nacionales de 1993 y 2001. El Plan Hidrológico Nacional de 1993 pretendía conectar todas las cuencas de la península ibérica, pero el enorme tamaño de las transferencias (4.000 hm<sup>3</sup>) y las inversiones (3,6 billones de pesetas corrientes [MOPT 1993]), crearon polémica y desconfianza entre las organizaciones sociales y políticas y entre los distintos territorios, que finalmente llevaron al colapso del Plan Hidrológico de 1993 [MIMAM (2000a)].

La degradación de los recursos hídricos en el sureste se agravó en los años noventa por la expansión del regadío basado en la captación de acuíferos, y sin prácticamente ningún control por parte de la autoridad hidráulica [Llamas (2005), Fornés *et al.* (2005)]<sup>3</sup>. Las propuestas de los responsables gubernamentales han

---

INE, CIRCE, Syngenta, Instituto Aragonés de Estadística y Consejería de Agricultura (DGA). También deseamos agradecer la especial asistencia de Pedro Segura y M<sup>a</sup> Isabel Sánchez (CEBAS), Llorenç Avellà (UPV), Eugenio Picón, José Luis de la Puente y Roberto Sancho (MAPA), Juan Castel (IVIA), Luis Rincón (CIDA), Francisco Pérez (IVIE), Santiago Rubio (UV), Pablo Vázquez (UCM), Francisco Cabezas (MIMAM), Benigno Blanco (MIMAM), José Luis Alonso (CHE), Ramón Llamas (Real Academia de Ciencias), Prudencio Perera (Directorado Medio Ambiente-UE), Carole Garnier (Directorado Economía-UE) y Ariel Dinar (Banco Mundial). Las bases de datos del trabajo están disponibles en la dirección [www.unizar.es/econatura/phn.htm](http://www.unizar.es/econatura/phn.htm) o pueden solicitarse al primer autor del artículo.

(1) González y Rubio (1993), Aguilera (1993), y Rubio y González (1993).

(2) El proyecto principal del Plan de Obras Hidráulicas de la República era el trasvase Tajo-Segura criticado por Félix de los Ríos, que planteaba como alternativa el trasvase del Ebro [MOP (1940)]. La construcción del Tajo-Segura en 1978 dio la razón a De los Ríos, al demostrar la falta de recursos hídricos en el Alto Tajo.

(3) Quintanilla *et al.* (1997) señalan que el regadío en el Segura se triplicó entre 1970 y 1995. En la cuenca Sur, la producción de invernadero se acerca a 30.000 hectáreas desde su inicio en los sesenta, y la expansión de invernaderos puede verse en las imágenes de satélite de UNEP (2005).

sido los proyectos del trasvase del Ebro del PHN 2001, y del programa A.G.U.A. (Actuaciones para la Gestión y Utilización del Agua) del PHN 2005. Ambas iniciativas se basan en expandir la oferta en las cuencas del Júcar, Segura y Sur, sin resolver la cuestión clave del control de las aguas subterráneas.

Este artículo examina estas dos últimas propuestas del trasvase del Ebro y el programa A.G.U.A. El trasvase pretendía solucionar los graves problemas de escasez transfiriendo 820 hm<sup>3</sup> desde el Ebro [MIMAM (2000b), Trasagua (2003)]. El programa A.G.U.A. pretende incrementar la oferta en 600 hm<sup>3</sup> mediante desalación, destinando 300 hm<sup>3</sup> a regadío<sup>4</sup>. El examen de ambas propuestas se realiza teniendo en cuenta las tareas señaladas en esta revista por Aguilera, González y Rubio en 1993, centradas en la respuesta de la demanda de agua a los precios y en los costes de las alternativas de oferta de agua. Estas importantes tareas han sido ignoradas por las autoridades de la gestión del agua en el diseño de estos dos grandes proyectos de expansión de oferta.

El trabajo que se presenta a continuación pretende poner en evidencia las deficiencias de este enfoque tradicional, y la necesidad de mejorar el nivel de competencia de los análisis económicos que apoyan las políticas del agua. Los resultados de la evaluación de las distintas alternativas muestran que conviene considerar soluciones que integren medidas de gestión de oferta y de demanda. La reducción de la demanda se puede conseguir limitando las extracciones, aumentando los precios del agua, o con mercados del agua ligados al control de las extracciones. Ahora bien, ninguna alternativa puede funcionar sin una protección efectiva de los recursos hídricos, que se haga cumplir estrictamente por las autoridades de cuenca.

En el artículo se describe en primer lugar el enfoque analítico y la metodología, y la información técnica y económica utilizada. A continuación se exponen los resultados de los escenarios considerados de gestión de demanda y de aumento de oferta. Los escenarios de gestión de demanda son la eliminación de la sobreexplotación de acuíferos y el incremento del precio del agua. Los escenarios de ampliación de oferta son el trasvase del Ebro y la desalación del programa A.G.U.A. También se examina un escenario combinado que consiste en prohibir la sobreexplotación de acuíferos, e introducir mercados de agua y desalación. En la sección final se presentan las conclusiones del artículo.

## 1. ENFOQUE ANALÍTICO

Los trasvases intercuenas del Plan Hidrológico Nacional de la última década [MOPU (1990)], dieron lugar a la publicación en esta revista del trabajo de González y Rubio (1993), el comentario de Aguilera (1993), y la respuesta de Rubio y González (1993).

González y Rubio examinaban las transferencias de agua intercuenas mediante un modelo de transporte, con una oferta de agua inelástica en cada cuenca, y una curva de oferta de agua trasvasada creciente. Esto significa que el coste del

---

(4) Los detalles sobre el programa A.G.U.A. pueden consultarse en la dirección de internet del Ministerio de Medio Ambiente ([www.mma.es](http://www.mma.es)).

agua es cero hasta que se alcanza la disponibilidad de agua en cuenca, y que a partir de ahí el coste del agua es creciente. El modelo de transporte se define mediante una función objetivo sujeta a restricciones de agua a exportar desde cuencas excedentarias y a importar desde cuencas deficitarias. La función objetivo se especifica según tres criterios: maximización del bienestar social, maximización del beneficio que genera el agua trasvasada, y minimización del coste de transporte para excedentes y déficit fijos. Bajo el primer criterio se iguala el precio al coste marginal del agua, y bajo el segundo criterio se iguala el precio del agua al coste medio de transporte.

Una hipótesis de González y Rubio difícil de mantener es que los costes del agua disponible en cuenca sean cero, ya que no se consideran los costes de construcción y operación de las infraestructuras, los costes medioambientales y los costes del recurso. La consecuencia de unos costes de suministro y utilización de agua nulos, y de que los únicos costes relevantes sean los de transporte, es que los beneficios del arbitraje de agua entre cuencas fuerzan el intercambio mediante trasvases<sup>5</sup>.

Ante las críticas de Aguilera (1993), Rubio y González (1993) respondieron aceptando que la curva de costes del agua en cuenca puede ser creciente en lugar de rígida, dando lugar a precios de agua positivos en una cuenca excedentaria, pero insistían en que el bienestar social aumenta con transferencias de agua entre cuencas. Ahora bien, para determinar si el bienestar social aumenta o disminuye es necesario conocer el precio de equilibrio de la oferta y la demanda interna de la cuenca, y compararlo con el coste del agua importada de otros orígenes<sup>6</sup>, es decir comparar el coste del agua importada con el coste de provisión de agua dentro de la cuenca, como señalan los autores. En este artículo se pretende continuar, aplicadas a distintas alternativas de oferta y demanda de agua, con las tareas que enunciaban Rubio y González como líneas de investigación prioritarias: determinar los costes de las distintas opciones de ampliación de la oferta de agua en el sureste, y establecer la respuesta de la demanda de agua a los precios.

El modelo utilizado en este trabajo es regional y maximiza la renta neta de las actividades de regadío en cada comarca del sureste. Los agricultores toman los precios como exógenos, y se asume la separabilidad de los *inputs* por lo que las funciones de beneficio son específicas para cada cultivo. La función de beneficio

$\Pi(p, r, \lambda) = \sum_{i=1}^n \pi_i(p_i, r, \lambda_S, \lambda_A, \lambda_T)$  se obtiene al resolver el problema de optimización:

(5) Los costes del agua no son despreciables, como muestran los precios del agua del sector urbano, 1,00 €/m<sup>3</sup>, y del sector industrial, 0,25 €/m<sup>3</sup>. Los precios en los regadíos colectivos de la España interior se acercan a 0,05 €/m<sup>3</sup>; y son más elevados en el sureste con cultivos más rentables y rangos entre 0,09 y 0,21 €/m<sup>3</sup>. Los costes del trasvase del Ebro variaban entre 0,20 €/m<sup>3</sup> en Castellón y 1,05 €/m<sup>3</sup> en Almería [Uche (2003a)].

(6) Los cálculos realizados muestran que los precios de equilibrio al eliminar la sobreexplotación de acuíferos son 0,17 €/m<sup>3</sup> en el Júcar, y 0,30 €/m<sup>3</sup> en Segura y Sur, mientras que los precios medios de uso agrario son 0,08 €/m<sup>3</sup> en Júcar, 0,12 €/m<sup>3</sup> en Segura y 0,15 €/m<sup>3</sup> en Sur. El trasvase reduce el bienestar social, ya que los precios de equilibrio son inferiores en las tres cuencas a los costes del trasvase que superan 0,20 €/m<sup>3</sup> en Júcar, 0,57 €/m<sup>3</sup> en Segura, y 0,78 €/m<sup>3</sup> en Sur. En [www.unizar.es/econatura/phn.htm](http://www.unizar.es/econatura/phn.htm) se puede consultar los ficheros con la respuesta de la demanda de riego a aumentos de precios del agua entre 0,06 y 0,42 €/m<sup>3</sup>.

$$\underset{b_{S1}, b_{A1}, b_{T1}, \dots, b_{Sn}, b_{An}, b_{Tn}}{Max} \sum_{i=1}^n [p_i y_i(z_i, b_{Si}, b_{Ai}, b_{Ti}) - r \cdot z_i - \lambda_S \cdot b_{Si} - \lambda_A \cdot b_{Ai} - \lambda_T \cdot b_{Ti}] \quad [1]$$

donde  $p$  es el vector de precios  $p_i$  de cada cultivo  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ),  $\lambda$  es el vector de precios de la tierra  $\lambda_S$ , del agua  $\lambda_A$ , y del trabajo  $\lambda_T$ ,  $r$  es el vector de precios de los *inputs* variables distintos de tierra, agua y trabajo, y el vector  $y$  tiene como elementos las funciones de producción  $y_i(z_i, b_{Si}, b_{Ai}, b_{Ti})$  de cada cultivo  $i$  en las que se utilizan el vector de *inputs*  $z_i$ , y el vector  $b_i$  de tierra, agua y trabajo ( $b_{Si}, b_{Ai}, b_{Ti}$ ). Las funciones de demanda de *inputs* a nivel de cultivo se obtienen de la expresión [1] aplicando el lema de Hotelling, que para la demanda de agua viene dada por  $-\partial \pi_i(p_i, r, \lambda_S, \lambda_A, \lambda_T) / \partial \lambda_A = b_{Ai}(p_i, r, \lambda_S, \lambda_A, \lambda_T)$ .

Si el vector  $b$  de *inputs* tierra  $b_S$ , agua  $b_A$  y trabajo  $b_T$  se considera fijo, la función de beneficio restringido  $\Pi(p, r, b_S, b_A, b_T)$  en los *inputs*  $b_S$ ,  $b_A$  y  $b_T$ , se obtiene al resolver el problema de optimización [Moore y Dinar (1995)]:

$$\underset{b_{S1}, b_{A1}, b_{T1}, \dots, b_{Sn}, b_{An}, b_{Tn}}{Max} \left\{ \sum_{i=1}^n \pi_i(p_i, r, b_S, b_A, b_T) \right\} \text{ sujeto a } \sum_{i=1}^n b_{Si} = b_S; \sum_{i=1}^n b_{Ai} = b_A; \sum_{i=1}^n b_{Ti} = b_T \quad [2]$$

Al resolver la expresión [2] para una solución interior, con los *inputs* tierra, agua y trabajo fijos y asignables, se obtienen las ecuaciones de asignación óptima de tierra, agua y trabajo  $b_{Si}^*(p, r, b_S, b_A, b_T)$ ,  $b_{Ai}^*(p, r, b_S, b_A, b_T)$ ,  $b_{Ti}^*(p, r, b_S, b_A, b_T)$ , donde el símbolo asterisco indica que se trata de ecuaciones de asignación óptima y no de funciones de demanda de *inputs* [Shumway *et al.* (1984)].

Los precios sombra de los *inputs* fijos tierra, agua y trabajo se obtienen derivando la función de beneficio restringido [2] respecto a la cantidad de *input* fijo. El precio sombra del agua viene dado por  $\partial \Pi(p, r, b_S, b_A, b_T) / \partial b_A = \lambda_A$ . Este precio sombra del agua es importante porque indica el valor del agua en las zonas de riego del sureste, y permite evaluar las distintas alternativas de política de gestión de agua en el sureste peninsular.

El modelo empírico para analizar las actividades de cultivo en las cuencas del Júcar, Segura y Sur, es un modelo de programación lineal en el que se asume una tecnología de producción Leontieff. El modelo maximiza la renta neta de las actividades de cultivo en regadío, sujeta a las restricciones de los *inputs* fijos tierra, agua y mano de obra.

Siendo  $y$  el vector de producciones y  $b = (b_S, b_A, b_T)$  el vector de *inputs* fijos, y definiendo el vector  $c = p - r$  de renta neta de los cultivos, la función de beneficio restringido  $\Pi(c, b_S, b_A, b_T)$  es el resultado del programa de optimización:

$$\underset{b_{S1}, b_{A1}, b_{T1}, \dots, b_{Sn}, b_{An}, b_{Tn}}{Max} \left\{ \sum_{i=1}^n c_i y_i(b_{Si}, b_{Ai}, b_{Ti}) \right\} \text{ sujeto a } \sum_{i=1}^n b_{Si} = b_S; \sum_{i=1}^n b_{Ai} = b_A; \sum_{i=1}^n b_{Ti} = b_T \quad [3]$$

Teniendo en cuenta que en la tecnología Leontieff  $y_i = b_{Si}/a_{Si} = b_{Ai}/a_{Ai} = b_{Ti}/a_{Ti}$ , la expresión [3] se convierte en un problema de programación lineal, donde  $a_{Si}$ ,  $a_{Ai}$  y  $a_{Ti}$  son los parámetros de la matriz de coeficientes técnicos. La función de beneficio restringido  $\Pi(c, b_S, b_A, b_T)$  viene dada por la resolución del problema de optimización:

$$\underset{y_1, \dots, y_n}{Max} \left\{ \sum_{i=1}^n c_i y_i \right\} \text{ sujeto a } \sum_{i=1}^n a_{Si} y_i = b_S; \sum_{i=1}^n a_{Ai} y_i = b_A; \sum_{i=1}^n a_{Ti} y_i = b_T \quad [4]$$

Esta expresión puede reformularse en la forma canónica del primal:

$$\text{Max } c' \cdot X \text{ sujeto a } A \cdot X \leq b \quad [5]$$

donde  $c'$  representa los coeficientes de renta neta de los cultivos por hectárea, y  $X$  es el vector de superficie en hectáreas de los cultivos. Las restricciones representan la disponibilidad de los recursos suelo, agua y mano de obra. Las restricciones de suelo reflejan la superficie en regadío disponible de cultivos herbáceos, hortalizas y leñosos, distinguiendo entre superficie con riego por inundación y riego localizado.

La expresión viene dada por  $\sum_{j \in s} X_j \leq b_s$ , donde  $X_j$  ( $j \in s$ ) es la superficie del cultivo  $j$  en la ocupación de suelo  $s$  (herbáceos, hortalizas y leñosos en inundación y localizado; y cada  $j$  identifica un cultivo con un tipo de riego), y  $b_s$  es la superficie disponible por tipo de ocupación de suelo.

Las restricciones de agua se expresan mediante  $\sum A_{mj} \cdot X_j \leq b_{am}$ , donde  $A_{mj}$  son los coeficientes de necesidades de agua de riego mensual del cultivo  $j$ , y  $b_{am}$  es la cantidad de agua de riego disponible mensualmente. Las restricciones de mano de obra se introducen como  $\sum O_{mj} \cdot X_j \leq b_{om}$ , donde  $O_{mj}$  representa la mano de obra mensual necesaria por unidad de actividad  $X_j$ , y  $b_{om}$  es la cantidad de mano de obra disponible mensualmente.

Las alternativas para resolver los problemas de escasez de agua en el sureste, se han evaluado con este modelo de programación<sup>7</sup>. El trabajo analiza el cultivo en regadío de leñosos, hortalizas y otros herbáceos en las comarcas del Júcar, Segura y Sur en las que el regadío es importante, es decir 22 comarcas de la Comunidad Valenciana, 6 comarcas de Murcia, y 7 comarcas de Almería. La superficie de regadío estudiada sobre el total es el 83% en la Comunidad Valenciana, 79% en Murcia, y 78% en Almería. El año de referencia de los datos técnicos y económicos es 2001, y el escenario base se presenta en el cuadro 1.

Los datos de costes proceden del Gobierno de Murcia [AMOPA-Gobierno de Murcia (2000)] y del Ministerio de Agricultura [MAPA (2002)], y se han complementado con información de otros estudios monográficos [Calatrava-Requena *et al.* (2001), Pérez *et al.* (2003), Caballero *et al.* (1992)]. La renta neta de cada cultivo se calcula restando del ingreso bruto, los costes directos, costes de maquinaria y trabajo asalariado, y costes indirectos y amortizaciones. Otros coeficientes se han calculado a partir de fuentes estadísticas oficiales, como las superficies de cultivo o los datos de rendimientos, o se han elaborado a partir de distintas fuentes como en el caso de la disponibilidad de agua, que se estima con datos meteorológicos comarcales y datos técnicos de centros de investigación de Valencia, Murcia y Andalucía. El consumo de agua de cada cultivo se obtiene multiplicando la necesidad de agua por hectárea, por la superficie que ocupa el cultivo en la comarca<sup>8</sup>.

(7) En Albiac *et al.* (2006a) se detalla el modelo, los parámetros y la simulación. Otros resultados previos de demanda de agua de riego con datos de 1998 pueden consultarse en Albiac *et al.* (2003).

(8) La necesidad bruta de agua de un cultivo es igual a la necesidad neta dividida por la eficiencia del sistema de riego (0,6 para riego por superficie y 0,9 para riego por goteo), y la necesidad neta

Cuadro 1: SUPERFICIE, USO DE AGUA, INGRESOS Y RENTA NETA  
EN LAS CUENCAS DEL SURESTE (2001)<sup>9</sup>

Cuencas	Total	Cereales y alfalfa	Leñosos	Hortalizas aire libre	Hortalizas invernadero
<i>Júcar</i>					
Superficie (1.000 ha)	212,7	18,5	173,6	19,5	1,1
Agua de riego (hm <sup>3</sup> )	1.450	242	1.081	121	6
Ingresos (millones €)	1.196	39	957	167	33
Renta neta (millones €)	586	25	480	64	17
<i>Segura</i>					
Superficie (1.000 ha)	154,8	7,2	115,9	26,8	4,9
Agua de riego (hm <sup>3</sup> )	863	49	710	82	22
Ingresos (millones €)	1.070	5	558	264	243
Renta neta (millones €)	536	2	287	124	123
<i>Sur</i>					
Superficie (1.000 ha)	54,5	1,1	18,7	6,5	28,1
Agua de riego (hm <sup>3</sup> )	232	10	96	24	102
Ingresos (millones €)	1.124	1	67	87	969
Renta neta (millones €)	589	0,4	32	44	512

Fuente: Albiac *et al.* (2004).

La información clave para representar las actividades de regadío en cada comarca viene dada por la superficie en la que hay instalados sistemas de riego por inundación y localizado, y por la disponibilidad mensual de los recursos agua y mano de obra. La trascendencia de la mano de obra se pone de manifiesto al transformar las horas de trabajo que requieren los cultivos en empleos, alcanzando los 160.000 empleos en toda la zona estudiada. El conseguir mano de obra suficiente durante el período apropiado de cultivo es indispensable para llevar a cabo la producción.

es igual a la evapotranspiración del cultivo menos la precipitación. La evapotranspiración del cultivo se calcula a partir de los datos meteorológicos comarcales y los coeficientes de cultivo, siguiendo el procedimiento de Martínez-Cob *et al.* (1998), basado en el procedimiento recomendado por la FAO [Allen *et al.* (1998)].

(9) Los detalles desagregados de renta neta y uso de agua de cada cultivo por comarca pueden consultarse en [www.unizar.es/econatura/documentos/phn/1escenario%20base.xls](http://www.unizar.es/econatura/documentos/phn/1escenario%20base.xls). Los cultivos se han agrupado en cuatro grupos. El grupo de cereales y alfalfa incluye los cultivos (ordenados por superficie) de arroz, cebada, trigo, alfalfa y maíz. El grupo de leñosos incluye naranjo, mandarino, limonero, almendro, melocotonero, viñedo uva de mesa, olivar de aceite, albaricoquero y viñedo uva de vinificación. El grupo de hortalizas aire libre incluye lechuga, alcachofa, brócoli, tomate, melón, patata, sandía, cebolla y judía. El grupo de hortalizas invernadero incluye pimiento, tomate, calabacín, judía, pepino, melón y sandía.



En la determinación de la superficie de riego se distingue entre superficie para cereales y alfalfa en riego por inundación, para leñosos en riego por inundación y en riego localizado, para hortalizas aire libre en inundación y en localizado, y para hortalizas en invernadero. Esta información se ha elaborado con datos de cultivos y sistemas de riego por término municipal. No se permite la sustitución entre los tres grupos de cultivos (grupo de cereales y alfalfa, grupo de leñosos, y grupo de hortalizas): los cereales pueden variar pero sólo dentro de la superficie del grupo de cereales, los leñosos mantienen su superficie porque se considera que a corto plazo se mantienen las plantaciones, y las hortalizas pueden variar su superficie pero sólo dentro del grupo de hortalizas.

Las necesidades de agua de los cultivos por hectárea se elaboran con datos meteorológicos y de eficiencia de riego. Para las hortalizas y los leñosos, se distingue entre una cantidad de agua que permite un rendimiento completo del cultivo, y una cantidad escasa que genera un rendimiento menor. También se introduce una cantidad mínima de agua para los leñosos, en el caso de que no se pongan en producción.

Otro aspecto metodológico del modelo se deriva de la utilización de la tecnología de producción de coeficientes constantes, por lo que los parámetros son fijos en cada comarca y pueden variar entre comarcas. Es el caso de los rendimientos y costes de los cultivos por hectárea, y las cantidades de los *inputs* agua y mano de obra por hectárea. Los precios de los cultivos son exógenos en el modelo, y se han definido como la media de los últimos cinco años.

La función objetivo maximiza la renta neta de las actividades de cultivo en las comarcas, que son las unidades de decisión. El modelo está compuesto por los 35 programas lineales con sus respectivas funciones objetivo, matrices de coeficientes, y vectores de disponibilidad de recursos. La calibración del modelo está ligada al problema de la agregación, y el primer enfoque fue el de la explotación-tipo que propuso Day (1969), aunque este enfoque no es verosímil para un modelo regional<sup>10</sup>. Otros enfoques de calibración son la programación positiva [Howitt (1995)] y la combinación convexa de soluciones de producción [McCarl (1982), Önal y McCarl (1989 y 1991)]. La programación positiva consiste en incluir restricciones adicionales que fuerzan a que la solución óptima coincida con la solución observada, para a continuación introducir los precios sombra de las restricciones adicionales en la función objetivo que pasa a ser cuadrática. El procedimiento de la combinación convexa tiene su fundamento teórico en la teoría de la dualidad de la economía de la producción, y en la teoría de la programación matemática<sup>11</sup>. En este trabajo, el pro-

---

(10) Las condiciones para utilizar la explotación-tipo son que las matrices de coeficientes técnicos sean idénticas entre explotaciones; que los vectores de disponibilidades de recursos sean proporcionales entre explotaciones; y que los vectores de coeficientes de la función objetivo sean proporcionales entre explotaciones.

(11) En la teoría de la dualidad, la función de oferta se deriva del Lema de Hotelling que contiene de forma implícita las decisiones de producción. Las producciones observadas incluyen las tecnologías y procesos de optimización, por lo que la combinación convexa incorpora todos los procesos y restricciones de producción. Bajo la teoría de la programación matemática de Dantzig y Wolfe (1961), un problema puede reformularse para contener las soluciones de puntos extremos de los



cedimiento de la combinación convexa tiene una ventaja importante sobre la programación positiva, ya que la programación positiva sólo es válida en el entorno de la solución observada. Como los escenarios de este trabajo se alejan de la solución observada, los precios sombra de la programación positiva dejan de tener sentido. Por el contrario, el procedimiento de la combinación convexa permite inspeccionar y relajar algunas restricciones de combinación.

Los costes del proyecto de trasvase del Ebro en cada punto de distribución son los calculados por Uche (2003a y 2003b). Los costes de energía de bombeo son un componente importante del coste, y el consumo de energía específico en cada segmento varía entre 0,7 kWh/m<sup>3</sup> en Castellón y 4,1 kWh/m<sup>3</sup> en Almería. Los costes del trasvase son menores que la desalación de agua de mar (0,52 €/m<sup>3</sup>) hasta la toma de Tous (Ribera Alta), pero los costes del trasvase superan los costes de desalación a partir de la toma de Villena (Alt Vinalopó), y llegan a duplicar los costes de desalación en Almería.

## 2. ESCENARIOS DE GESTIÓN DEL AGUA

El modelo representa el regadío de las cuencas del sureste y se ha utilizado para evaluar las distintas alternativas de gestión de los recursos hídricos. Dos alternativas son medidas de gestión de demanda, y otras dos son medidas de expansión de la oferta, y la última es una alternativa de gestión combinada. En el primer escenario, se analiza la prohibición de la sobreexplotación de acuíferos. En el segundo escenario, se considera un incremento del precio del agua que equilibre la demanda con la oferta de recursos hídricos de las cuencas del sureste<sup>12</sup>, en aplicación del principio de coste completo de recuperación de la Directiva Marco del Agua. En la tercera alternativa se expande la oferta de agua mediante la desalación de agua de mar que propone el programa A.G.U.A. La cuarta alternativa consiste en expandir la oferta de agua con el trasvase del Ebro, y mantener los actuales bajos precios del agua de riego mediante subvenciones. La quinta alternativa combina la desalación de agua de mar y el intercambio de agua entre comarcas, junto con la prohibición de sobreexplotación de acuíferos. Los intercambios de agua pueden realizarse a través de la actual infraestructura de transporte de agua de los principales ríos y canales.

### 2.1. Eliminación de la sobreexplotación de acuíferos

La prohibición de la sobreexplotación de acuíferos reduce la disponibilidad de agua para la agricultura, y los efectos se concentran en las comarcas donde se

---

subproblemas. En el problema agregado, las variables incorporan información de las posibilidades de producción de cada explotación y la producción y consumo agregado, por lo que las soluciones contienen implícitamente las restricciones de recursos y posibilidades de producción de las explotaciones individuales. La combinación convexa de soluciones cumple las restricciones de las explotaciones individuales, y estas soluciones pueden obtenerse de las estadísticas agrarias.

(12) Los precios del agua se estiman a partir de AMOPA-Gobierno de Murcia (2000), MAPA (2002), Carles *et al.* (1998), MIMAM (2000b), Sumpsi y Varela (2001), García (2002), Sumpsi *et al.* (1998), y Segura (1997).

encuentran los acuíferos sobreexplotados<sup>13</sup>. En las cuencas del Júcar y Segura, la reducción de agua y de superficie cultivada afecta a cultivos poco rentables, pero en la cuenca Sur afecta a cultivos de invernadero muy rentables, ya que en Almería la posibilidad de abandonar cultivos poco rentables es mucho menor en las comarcas donde se localizan los invernaderos (cuadro 1). Las pérdidas son muy importantes en el Sur con una caída a la mitad del ingreso y la renta neta, mientras que en el Segura y Júcar caen ligeramente. Más del 60% de las pérdidas de renta neta ocurre en la cuenca Sur por el abandono de cultivos de invernadero.

El volumen de agua que el proyecto de transferencias del Ebro destinaba a solucionar la sobreexplotación de acuíferos en la cuenca Sur era de sólo 58 hm<sup>3</sup>, lo que era insuficiente para cubrir la sobreexplotación que alcanza unos 71 hm<sup>3</sup>. Por el contrario, el volumen del proyecto del Ebro destinado al Júcar y Segura era mucho más generoso. La consecuencia es que con el proyecto del Ebro, la sobreexplotación de acuíferos en Almería no se eliminaba.

La prohibición de sobreexplotación de acuíferos es necesario combinarla con medidas adicionales de gestión, como intercambios de agua entre las comarcas, de forma que las pérdidas de los agricultores se reduzcan. Esta alternativa se examina al final de esta sección.

## 2.2. *Aumento del precio del agua de riego*

El aumento de los precios del agua es un instrumento que propugna la Directiva Marco del Agua. Los precios actuales del agua en las comarcas del sureste varían entre 0,06 y 0,21 €/m<sup>3</sup> (cuadro 2). Como estos precios están por debajo de su precio sombra o valor marginal, hay un racionamiento del recurso porque la demanda excede a la oferta, y la escasez de agua puede reducirse aumentando los precios.

Un aumento de 0,18 €/m<sup>3</sup> reduce la demanda en 605 hm<sup>3</sup>, con una caída del 24% en la renta neta al disminuir los cultivos menos rentables. El impacto es mayor en Júcar y Segura que en Almería donde predomina el invernadero. La contracción de 605 hm<sup>3</sup> no está lejos de los 820 hm<sup>3</sup> de transferencias del Ebro para todos los usos, y el resto podría cubrirse mediante mercados agua o desalación. El coste de este aumento de precios de 0,18 €/m<sup>3</sup> es igual a la pérdida de renta neta de 405 millones de euros, y corresponde a la compensación para que los agricultores aceptaran voluntariamente la subida de precios. Los agricultores pueden obtener esta compensación mediante la venta de derechos de agua, o con subvenciones públicas o transferencias de otros grupos de usuarios.

El incremento de los precios del agua en 0,18 €/m<sup>3</sup>, junto a medidas como desalación o mercados del agua, solucionarían la escasez hídrica evitando grandes inversiones de transferencias intercuenca. Ahora bien, subir los precios requiere cobrarlos tanto en aguas de origen superficial como subterráneo. La fijación de precios más elevados sería administrativamente sencilla (aunque no políticamente).

(13) Esta medida sería muy difícil de implementar por las administraciones hidráulicas, porque muchos pozos de bombeo no están registrados, los volúmenes de bombeo no se conocen, y el número de pozos ilegales es considerable. La sobreexplotación de acuíferos se toma de Trasagua (2003), aunque estos datos tienen un cierto grado de incertidumbre, en especial en la cuenca Sur.

**Cuadro 2: DEMANDA Y PRECIOS DEL AGUA EN LAS CUENCAS DEL SURESTE, POR COMARCA**

Comarca	Uso de agua (hm <sup>3</sup> )	Precios del Agua (€/m <sup>3</sup> )			Valor del agua (€/m <sup>3</sup> )		
		Actual	Coste travase Ebro	Desalación	Ingreso medio	Renta neta media	Valor marginal (precio sombra)
Baix Maestrat	29	0,09	0,20		1,80	0,81	0,34
Plana Alta	45	0,09	0,23		1,44	0,67	0,42
Plana Baixa	120	0,09	0,29		1,23	0,58	0,56
Camp de Morvedre	48	0,09	0,30		0,95	0,46	0,34
Camp de Turia	127	0,09	0,31		0,98	0,45	0,40
Horta Nord	50	0,06	0,31		0,82	0,37	0,18
Valencia	25	0,06	0,32		0,58	0,26	0,13
Hoya de Bunyol	13	0,06	0,32		1,40	0,69	0,15
Horta Oest	39	0,06	0,32		0,80	0,38	0,16
Horta Sud	65	0,06	0,33		0,66	0,33	0,19
Ribera Alta	272	0,06	0,35		0,68	0,34	0,31
Ribera Baixa	227	0,06	0,35		0,32	0,18	0,13
Safor	99	0,06	0,46	0,52	0,83	0,40	0,37
Vall d'Albaida	12	0,06	0,46		1,42	0,58	0,14
Costera	30	0,06	0,46		1,01	0,49	0,25
Marina Alta	47	0,09	0,56	0,52	1,04	0,51	0,34

Fuente: Albiac *et al.* (2004).

Cuadro 2: DEMANDA Y PRECIOS DEL AGUA EN LAS CUENCAS DEL SURESTE, POR COMARCA (continuación)							
Comarca	Uso de agua (hm <sup>3</sup> )	Precios del Agua (€/m <sup>3</sup> )			Valor del agua (€/m <sup>3</sup> )		
		Actual	Coste trasvase Ebro	Desalación	Ingreso medio	Renta neta media	Valor marginal (precio sombra)
Marina Baixa	17	0,12	0,56	0,52	0,84	0,42	0,20
Alacantí	27	0,12	0,56	0,52	1,54	0,80	0,14
Alt Vinalopó	37	0,12	0,56		0,33	0,17	0,15
Vinalopó Mitja	65	0,15	0,56		1,10	0,67	0,20
Baix Vinalopó	55	0,12	0,57	0,52	0,63	0,30	0,13
Baix Segura	247	0,12	0,57	0,52	0,76	0,37	0,16
Noreste	57	0,12	0,72		0,93	0,53	0,21
Vega del Segura	273	0,12	0,57		0,75	0,42	0,24
Centro	20	0,06	0,57		0,86	0,44	0,18
Noroeste	40	0,06	0,57		0,89	0,43	0,11
Campo de Cartagena	64	0,12	0,61	0,52	3,12	1,40	0,19
Valle del Guadalentín	163	0,12	0,67	0,52	2,29	1,14	0,19
Bajo Almanzora	33	0,15	0,78	0,52	3,61	2,08	0,23
Alto Almanzora	34	0,06	0,92		0,65	0,29	0,08
Campo Tabernas	20	0,06	0,92		0,66	0,30	0,07
Río Nacimiento	11	0,06	1,05		0,72	0,29	0,13
Campo Níjar-Bajo Andarax	47	0,18	1,05	0,52	6,22	3,52	0,29
Alto Andarax	16	0,06	1,05		1,13	0,54	0,15
Campo Dalías	72	0,21	1,05	0,52	9,14	4,59	3,43

Fuente: Albiac *et al.* (2004).

te) para el agua de origen superficial, que está controlada por las comunidades de regantes a nivel de polígono de riego, y las administraciones hidráulicas a nivel de cuenca. Pero la implementación de precios más elevados sobre las extracciones individuales de acuíferos sería francamente difícil. No sólo porque no hay comunidades de regantes, sino porque las autoridades de cuenca carecen de información y control efectivo sobre los acuíferos.

### 2.3. Programa A.G.U.A.

La desalación es la opción del programa A.G.U.A. que ha aprobado el Gobierno. El coste de desalación marina es 0,52 €/m<sup>3</sup> [Uche (2003a)], inferior al coste de transferencia del Ebro en las comarcas costeras al sur de Safor (cuadro 2 y gráfico 1). Al coste de desalación, hay una demanda de agua efectiva de 387 hm<sup>3</sup> en las comarcas costeras desde Safor hasta Campo Dalías<sup>14</sup>. La desalación expande la oferta y contribuye a equilibrar la oferta y la demanda en las cuencas del sureste, aunque también podría complementarse con otras medidas como mercados de agua o aumentos de los precios. El problema es que el programa A.G.U.A. no puede funcionar sin una gestión adecuada y un control efectivo de los acuíferos por las autoridades hidráulicas, como se discute en detalle más adelante.

### 2.4. Transferencias de agua desde el Ebro

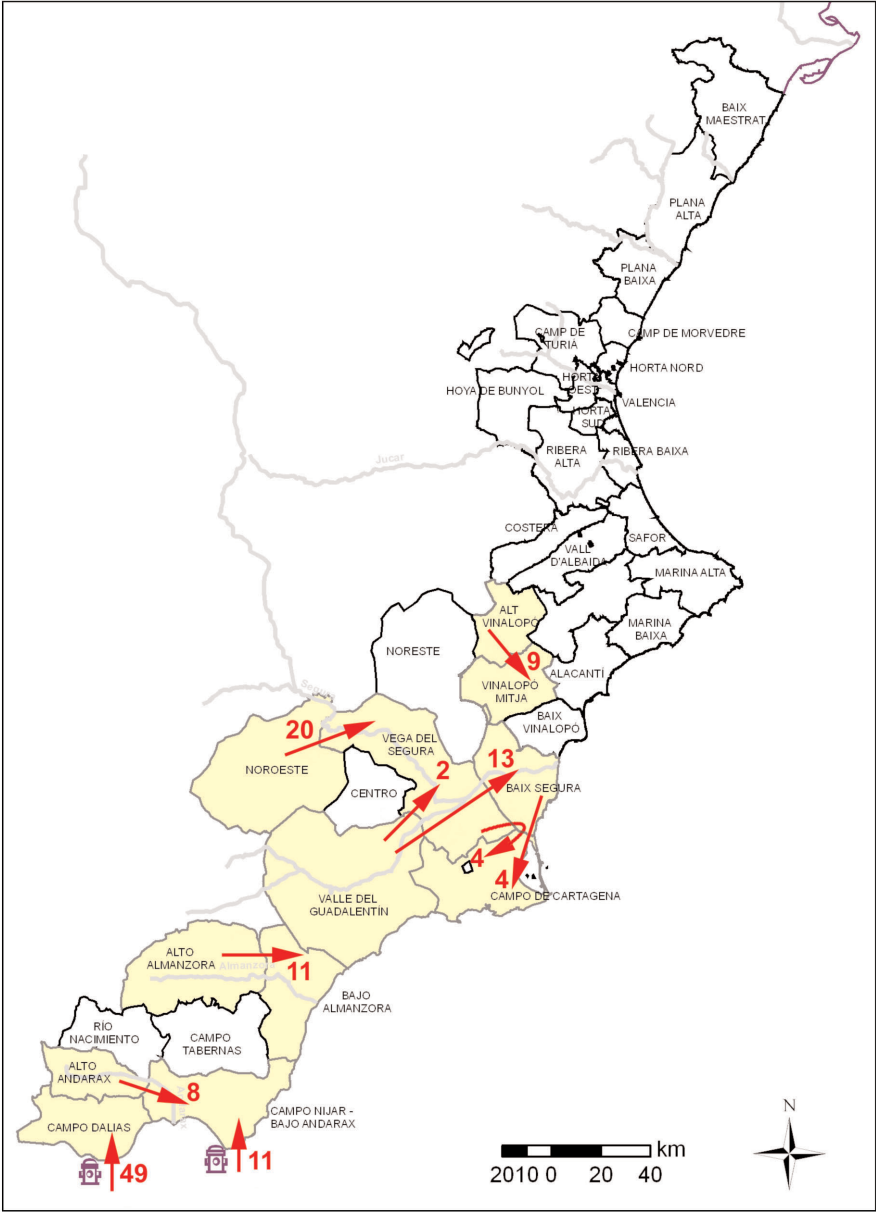
Esta es la alternativa del trasvase del Plan Hidrológico Nacional de 2001, derogada por el Parlamento en 2005. Las transferencias tendrían unos costes elevados, que dependen de la distancia del Ebro, con un rango entre 0,20 €/m<sup>3</sup> y 1,05 €/m<sup>3</sup>. Estos precios están muy por encima de los precios que los agricultores pagan actualmente (cuadro 2), y el agua transferida sólo sería rentable en las comarcas con cultivos de invernadero de alto valor.

La demanda efectiva de agua transferida que las comarcas pueden absorber a estos precios de trasvase es 761 hm<sup>3</sup> en Júcar, 294 hm<sup>3</sup> en Segura y 132 hm<sup>3</sup> en Sur. Estas cantidades contrastan con la asignación del trasvase para uso agrario y medioambiental de 141 hm<sup>3</sup> en Júcar, 362 hm<sup>3</sup> en Segura y 58 hm<sup>3</sup> en Sur (cuadro 3). Por lo tanto en la cuenca del Segura habría un problema de inconsistencia, ya que esta cuenca sólo tiene una demanda efectiva de riego a precio de trasvase de 294 hm<sup>3</sup>, lo que no cubre la asignación del proyecto de 362 hm<sup>3</sup> para uso agrario. Los agricultores del Segura no podrían pagar a precios de trasvase todo el volumen de agua importada del Ebro, destinado a sustituir la sobreexplotación de acuíferos, lo que quiere decir que la sobreexplotación continuaría.

El anterior gobierno dio a entender que los agricultores pagarían por el agua del Ebro el mismo precio que estaban pagando con anterioridad. Por lo tanto, el propósito parece que era resolver la inconsistencia del volumen de transferencia mediante la

(14) La demanda efectiva es 6-8 hm<sup>3</sup> en Safor, Marina Alta, Marina Baixa y Baix Vinalopó, 13 hm<sup>3</sup> en Alacantí, 52 hm<sup>3</sup> en Baix Segura, 53 hm<sup>3</sup> en Campo de Cartagena, 110 hm<sup>3</sup> en Valle del Guadalentín, 20 hm<sup>3</sup> en Bajo Almanzora, 43 hm<sup>3</sup> en Campo Níjar y 69 hm<sup>3</sup> en Campo Dalías. El coste de desalación incluye un coste de distribución de 0,03 €/m<sup>3</sup>, pero podría aumentar con gastos de conducción y bombeo a cotas más elevadas.

Gráfico 1: INTERCAMBIOS DE AGUA ENTRE COMARCAS BAJO  
LA ALTERNATIVA COMBINADA



Fuente: Albiac *et al.* (2004).

**Cuadro 3: ASIGNACIONES Y DEMANDA EFECTIVA DE AGUA  
DEL PROYECTO DEL EBRO (hm<sup>3</sup>)**

	Cuenca Júcar	Cuenca Segura	Cuenca Sur	Total
<i>Asignación del Proyecto del Ebro</i>				
Todos los usos	300	420	100	820
Uso agrario y medioambiental	141	362	58	561
Uso urbano e industrial	159	58	42	259
<i>Demanda Efectiva de Agua para Uso Agrario...</i>				
... a precios de transferencia del Ebro (0,20-1,05 €/m <sup>3</sup> )	761	294	132	1.187

Fuente: Albiac *et al.* (2004).

subvención del precio del agua transferida para uso agrario, y cargando precios más elevados a los usuarios urbanos e industriales. Estas subvenciones asegurarían el mantenimiento de las actividades agrarias menos rentables, que están subvencionadas por la PAC. La opción de subvencionar el agua de trasvase de uso agrario sería costosa para los usuarios no agrarios del Segura, ya que el recargo alcanzaría los 187 millones de euros. Estableciendo el recargo sobre el actual uso urbano e industrial en Murcia, y sobre la dotación del trasvase para uso urbano e industrial, supone un recargo de 0,76 €/m<sup>3</sup> y un precio final para los usuarios urbanos e industriales de 1,62 €/m<sup>3</sup>. La subvención necesaria para mantener toda la transferencia de 561 hm<sup>3</sup> para uso agrario, a los bajos precios actuales del agua que los agricultores pagan en el sureste, es igual a 301 millones de euros al año (cuadro 4)<sup>15</sup>.

Esta opción es difícil de justificar desde una perspectiva económica y en términos de equidad, al mantenerse actividades poco rentables en un contexto de insostenibilidad, y extrayendo recursos hídricos que degradan las funciones ecológicas de la cuenca cedente. También podría no ser viable políticamente, como en el caso del proyecto Arizona Central, donde los usuarios urbanos del agua importada se rebelaron cuando se les pidió que subvencionaran precios excesivamente bajos para los usuarios agrarios [Hanemann (2002)].

## 2.5. Alternativa combinada

Finalmente, se plantea una alternativa que mejora las alternativas de prohibición de la sobreexplotación de acuíferos, aumento de los precios del agua, desala-

(15) El trasvase del Ebro mantiene la renta neta de los agricultores, porque los 561 hm<sup>3</sup> de uso agrario se utilizan para cubrir la sobreexplotación de acuíferos y la garantía de riego que incorpora el modelo.



**Cuadro 4: DEMANDA DE AGUA, RENTA NETA Y  
SUBVENCIONES DEL PROYECTO DEL EBRO**

	Cuenca Júcar	Cuenca Segura	Cuenca Sur	Total
<i>Demanda de Agua Actual (hm<sup>3</sup>)</i>	1.450	863	232	2.545
<i>Escenarios de Demanda de Agua (hm<sup>3</sup>)</i>				
... por prohibición de la sobreexplotación de acuíferos	1.311	650	162	2.123
... por aumento de 0,18 €/m <sup>3</sup> en los precios del agua	1.100	682	158	1.940
... por la alternativa combinada (prohibición de la sobreexplotación, mercados de agua, desalación)	1.311	650	222	2.183
<i>Renta Neta Actual (millones €)</i>	586	536	589	1.711
<i>Escenarios de Renta de los Agricultores (millones €)</i>				
... por prohibición de la sobreexplotación de acuíferos	540	435	328	1.303
... por aumento de 0,18 €/m <sup>3</sup> en los precios del agua	354	400	552	1.306
... por la alternativa combinada (prohibición de la sobreexplotación, mercados de agua, desalación)	547	487	594	1.628
<i>Subvenciones del Proyecto del Ebro (millones €)</i>				
... para cubrir la diferencia entre costes de transferencia 0,20 a 1,05 €/m <sup>3</sup> y bajos precios actuales del agua	54	187	60	301

Fuente: Albiac *et al.* (2004).

ción del programa A.G.U.A., y del trasvase del Ebro. La alternativa combina medidas de demanda y oferta mediante la prohibición de la sobreexplotación de acuíferos, el intercambio de agua entre comarcas, y la desalación marina en algunas comarcas costeras.

Los intercambios de agua entre comarcas se plantean a través de los principales canales y ríos, en concordancia con los precios sombra que muestran el valor del agua en cada comarca<sup>16</sup>. Los precios sombra del agua en cada comarca se calculan bajo la prohibición de la sobreexplotación de acuíferos, y estos pre-

(16) Los ríos son Turia, Júcar, Vinalopó, Segura, Guadalentín, Almanzora, Andarax, y los afluentes Argos y Quipar del Segura, y los canales son Canal Júcar-Turia y Acequia Real que van de sur a norte en la cuenca del Júcar, y Canal Margen Izquierda, Canal de Crevillente, Canal Campo de Cartagena y Canal Margen Derecha en la cuenca del Segura. Los precios sombra bajo la prohibición de sobreexplotación y la localización de ríos y canales están disponibles en [www.unizar.es/econatura/documentos/Trasvasedelebro/2001/SumEbroC.pdf](http://www.unizar.es/econatura/documentos/Trasvasedelebro/2001/SumEbroC.pdf) (manuscrito original de 2005), y también pueden consultarse en Albiac *et al.* (2006a).

cios muestran que los intercambios de agua pueden ocurrir a través de los ríos Vinalopó, Segura (incluyendo Argos y Quipar), Guadalentín, Almanzora y Andarax, y a través del Canal Margen Izquierda y Canal Campo de Cartagena (gráfico 1). La desalación sólo se considera en las comarcas de Campo Dalías y Campo Níjar, que tienen los precios sombra del agua más elevados de todas las comarcas costeras (5,21 y 4,19 €/m<sup>3</sup>, respectivamente).

Los intercambios de agua entre comarcas se examinan mediante un análisis de equilibrio parcial basado en las funciones de oferta y demanda de agua de cada comarca. Al abrir el comercio de agua entre comarcas, se utilizan estas funciones de oferta y de demanda para calcular los flujos de comercio de agua, que van desde las comarcas con precios sombra de agua bajos hacia comarcas con precios altos. El bienestar social aumenta como consecuencia de los intercambios, que continúan hasta que se alcanza la solución óptima de flujos de agua que maximiza el bienestar social.

Los programas de optimización de cada comarca se usan para estudiar los cambios en la demanda ante los cambios de precios, con lo que se obtienen las funciones de demanda. La oferta de agua en cada comarca es inelástica y es igual al volumen de agua disponible al eliminar la sobreexplotación de acuíferos. Antes del inicio de los intercambios, los precios sombra del agua una vez eliminada la sobreexplotación muestran la dirección de los intercambios a través de los ríos y canales señalados anteriormente. En el caso de las comarcas de Campo Dalías y Campo Níjar, hay disponible una oferta ilimitada de agua desalada a un coste de 0,52 €/m<sup>3</sup>.

El aumento del bienestar como consecuencia de los intercambios de agua y de la desalación, viene dado por el aumento del excedente económico total en cada comarca. El gráfico 1 muestra la solución óptima de los flujos de intercambio de agua y de desalación que maximizan el bienestar<sup>17</sup>. Los resultados de la alternativa combinada muestran una reducción de la demanda de agua de 362 hm<sup>3</sup> y unas pérdidas de renta neta de 83 millones euros (cuadro 4). La prohibición de la sobreexplotación reduce la demanda de agua y la renta, pero la reasignación de agua de los intercambios entre comarcas incrementa el bienestar en 88 millones euros, mientras que el agua desalada adicional suministrada a Campo Dalías (49 hm<sup>3</sup>) y Campo Níjar (11 hm<sup>3</sup>) incrementa el bienestar en 237 millones euros. Sumando ambos efectos, se obtiene un total de 325 millones euros. Esta es precisamente la variación en renta neta al pasar del escenario de prohibición de sobreexplotación de acuíferos (1.303 millones euros), al escenario de la alternativa combinada (1.628 millones euros)<sup>18</sup>.

(17) Los precios sombra iniciales y finales del intercambio de agua en cada comarca pueden consultarse en la referencia que se cita en la nota anterior.

(18) Estos resultados pueden implementarse con los 42 hm<sup>3</sup> (27 para uso agrario) de la desaladora de Carboneras en Campo Níjar y con la nueva planta proyectada en Campo Dalías. En Campo Níjar hay una sobreexplotación de 25 hm<sup>3</sup>, y una demanda a precio de desalación de 42 hm<sup>3</sup>. Los agricultores de Campo Níjar no parecen dispuestos a comprar los 27 hm<sup>3</sup> de agua desalada de Carboneras, aunque el problema podría resolverse con una conducción entre Campo Níjar y Campo Dalías, ya que en Campo Dalías hay una sobreexplotación de 40 hm<sup>3</sup> y una demanda efectiva de 69 hm<sup>3</sup>. Sin embargo, parece que las autoridades hidráulicas pretenden resolver el problema en Campo Níjar subvencionando el precio del agua desalada, de forma que los agricultores paguen un precio de 0,30 €/m<sup>3</sup>, y posteriormente subir el precio y reducir la subvención si aparece una demanda firme de agua desalada.

### 3. COMPARACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE GESTIÓN DEL AGUA

Los resultados de cada alternativa de gestión del agua se presentan en el cuadro 4, que muestra los escenarios de demanda de recursos hídricos y las pérdidas de renta neta de los agricultores bajo cada alternativa, así como las subvenciones del proyecto del Ebro.

Las pérdidas de renta neta de los agricultores se calculan comparando cada alternativa con la situación actual que es el escenario base. Bajo el escenario base la renta es de 1.711 millones euros, que se reduce a 1.306 millones al aumentar los precios en 0,18 €/m<sup>3</sup>. La prohibición de la sobreexplotación de acuíferos disminuye la renta hasta 1.303 millones. La alternativa combinada es la opción que consigue una renta superior a cualquier otra medida de gestión (1.628 millones), incluido el trasvase del Ebro. La razón es que el proyecto del Ebro mantiene la renta neta de los agricultores, pero son necesarios 301 millones de euros en subvenciones para cubrir la diferencia con los precios del agua que pagan actualmente los agricultores. En cualquier caso el trasvase del Ebro no es la peor alternativa en términos económicos, ya que únicamente las pérdidas de renta de la alternativa combinada son claramente inferiores a las subvenciones del trasvase del Ebro, mientras que el rango de pérdidas de las demás alternativas está entre 300 y 400 millones de euros.

En relación a la demanda de agua, la opción de subir los precios en 0,18 €/m<sup>3</sup> reduce sustancialmente la demanda de agua en 600 hm<sup>3</sup>, pero el coste para los agricultores también es significativo y alcanza los 400 millones de euros. La prohibición de la sobreexplotación de acuíferos es la peor solución, ya que la demanda sólo cae 400 hm<sup>3</sup> y el coste alcanza los 400 millones de euros. La alternativa combinada de eliminar la sobreexplotación, mercados de agua y desalación, reduce la demanda de riego en casi 400 hm<sup>3</sup> a un coste inferior a 100 millones de euros en términos de renta neta. La alternativa combinada asegura el fin de la sobreexplotación de acuíferos, siendo preferible a cualquier otra medida de gestión, y superior también al proyecto del Ebro.

Ahora bien, conviene reconocer que la implementación de medidas de gestión de demanda en la agricultura es una tarea complicada. El desgobierno de los recursos hídricos durante décadas en las cuencas del sureste, ha creado unas presiones enormes sobre los recursos hídricos y graves problemas de degradación. La medida de prohibir la sobreexplotación de acuíferos es muy difícil de alcanzar ya que no hay un control efectivo sobre el número de pozos y las extracciones. Hernández-Mora *et al.* (2003) señalan que las principales razones de la mala gestión de los acuíferos son que la normativa existente no se hace cumplir por las autoridades responsables del agua por falta de recursos y de voluntad<sup>19</sup>, y que las inscripciones de concesiones (Registro) y derechos privados (Catálogo) de las aguas subterráneas son muy incompletas. Llamas y Martínez (2005) señalan que la utilización intensiva de aguas subterráneas en países semiáridos es una “revolución si-

---

(19) Las administraciones de cuenca iniciaron hace diez años la instalación de estaciones de control de calidad del agua superficial, que se están automatizando. La cuenca del Segura, que tiene los problemas de calidad de agua más serios, es una de las pocas cuencas en las que estas estaciones no estaban aún operativas en 2005.

lenciosa” que ha aportado considerables beneficios sociales, aunque reconocen que su desarrollo caótico puede llevar al agotamiento, la degradación de la calidad, y a efectos negativos sobre los ecosistemas<sup>20</sup>. Las características de recurso comunal de los acuíferos, que en la práctica suele convertirse en libre acceso, hacen que su gestión sea un verdadero reto para las autoridades.

El aumento del precio del agua también es difícil de implementar porque los agricultores se oponen a las subidas de precios, y porque las autoridades de cuenca pueden modificar los precios que se cargan en los sistemas colectivos de riego de agua superficial, pero carecen de control sobre los costes que tienen los agricultores individuales que bombean de acuíferos [Albiac *et al.* (2006b)]. Además, aunque pudieran implementarse precios del agua sobre extracciones individuales, la subida de precios necesaria para reducir la demanda en cultivos de invernadero sería enorme. El ejemplo de Campo Dalías muestra que para reducir la demanda, el precio actual de 0,21 €/m<sup>3</sup> debería superar el precio sombra de 3 €/m<sup>3</sup>.

La creación de mercados de agua es también una tarea complicada. Aunque existen transacciones informales en el sureste, la posibilidad de mercados formales que promovía la reforma de la Ley de aguas de 1999 no ha favorecido prácticamente ningún intercambio en los últimos cinco años<sup>21</sup>. La razón es que los agricultores desconfían de los mercados formales, y su introducción requiere un enorme y prolongado esfuerzo institucional.

La expansión de la oferta mediante desalación financiada públicamente es mucho más viable políticamente como muestra la aprobación del programa A.G.U.A., pero no es fácil que se materialice la demanda al elevado coste de desalación sin subvenciones, como muestra el caso citado de Carboneras. El potencial de la desalación viene dado por la demanda efectiva de agua al coste de 0,52 €/m<sup>3</sup>, que alcanza 387 hm<sup>3</sup> en las comarcas costeras desde Safor a Campo Dalías. La localización obvia para plantas de desalación son las comarcas de Campo Dalías y Campo Níjar con una demanda efectiva de 69 y 42 hm<sup>3</sup>, respectivamente. Otras localizaciones son Valle del Guadalentín (110 hm<sup>3</sup>), Campo de Cartagena (53 hm<sup>3</sup>), Baix Segura (52 hm<sup>3</sup>) y Bajo Almanzora (20 hm<sup>3</sup>), para el suministro de invernaderos.

El problema para que esta demanda efectiva se materialice es que los agricultores bombean de los acuíferos a un coste de extracción de entre 0,09-0,18 €/m<sup>3</sup>. Dado que los costes de bombeo están muy por debajo del coste de desalación, los agricultores no van a comprar agua desalada. Las inversiones públicas en desalación sólo son razonables en caso de que las autoridades de cuenca hagan cumplir estrictamente la prohibición de sobreexplotación de acuíferos, lo que forzaría a los agricultores a comprar agua desalada.

Pero los acuíferos son bienes comunales y tienen características de bien público impuro (no exclusión pero rivalidad en el consumo) y externalidades medio-

(20) Estos autores insisten en que en muchos casos se ha exagerado la fragilidad de los recursos hídricos subterráneos, con anuncios de catástrofes inminentes. Las exageraciones restan credibilidad a estos informes, como en el caso de algunos realizados sobre Campo Dalías.

(21) En la cuenca del Segura se han autorizado 35 solicitudes de cesión de derechos entre los años 2000 y 2005, por un total de 10 hm<sup>3</sup> que representan menos del 1% del consumo anual de agua en la cuenca.

ambientales. Una gestión sostenible de los acuíferos requiere de la acción colectiva y de la cooperación entre los agentes implicados [Albiac *et al.* (2007)]. Las enormes inversiones para acabar con la sobreexplotación del acuífero de la Mancha occidental, que se están proponiendo en el Plan especial del Alto Guadiana pueden ser inútiles si no se consigue organizar la acción colectiva y la cooperación de los grupos de interés de la zona.

Esta es la cuestión clave con la que se enfrenta el programa A.G.U.A., que incluye inversiones de 1.200 millones de euros para construir una capacidad de desalación de 600 hm<sup>3</sup>, de los que unos 300 hm<sup>3</sup> se destinan a uso agrario en las comarcas costeras desde Campo Dalías a Marina Alta. Aunque el potencial de demanda efectiva existe, la implementación del programa A.G.U.A. requiere controlar los acuíferos, y esto es un desafío considerable para las autoridades de cuenta<sup>22</sup>. El peligro del programa A.G.U.A. es que se inviertan fondos públicos en plantas de desalación, y que después no se materialice la demanda de riego.

El debate sobre el trasvase del Ebro y el programa A.G.U.A. sigue abierto, y está muy politizado<sup>23</sup>. El restablecimiento del trasvase del Ebro parece improbable, porque el programa A.G.U.A. aliviará la escasez de recursos hídricos, y también porque no puede haber financiación de los fondos estructurales europeos tras la ampliación de la Unión Europea.

#### 4. CONCLUSIONES

Este trabajo analiza la lógica económica de las alternativas para solucionar la escasez y degradación de los recursos hídricos en el sureste peninsular. El trasvase del Ebro y el programa A.G.U.A. han sido dos propuestas sucesivas de los responsables gubernamentales, que han suscitado intensos debates relacionados con la sostenibilidad de los recursos hídricos. Tanto el trasvase del Ebro como el programa A.G.U.A. se basan en el enfoque tradicional de aumento de oferta de la planificación hidrológica durante el siglo XX, que acompañó la expansión del regadío en 2,5 millones de hectáreas.

En el examen de las alternativas, se tienen en cuenta las tareas enunciadas hace más de una década en esta revista por González, Rubio y Aguilera como lí-

---

(22) El intento fallido en 2005 de cierre de 5.000 pozos ilegales en los acuíferos de la Mancha Occidental, muestra la poca voluntad política para controlar los acuíferos. El cierre enfrentó a las organizaciones agrarias y el gobierno de Castilla-La Mancha, con las organizaciones ecologistas y la Confederación del Guadiana. Los esfuerzos de los anteriores responsables de la Confederación fueron desautorizados, lo que supone mandar una señal equivocada a los que utilizan pozos ilegales. El caso es grave, porque han desaparecido 80 kilómetros del Alto Guadiana y la sobreexplotación acumulada del acuífero 23 es de 3.000 hm<sup>3</sup>, lo que está provocando graves daños en las Tablas de Daimiel. En lugar de controlar las extracciones, el nuevo Plan especial del Alto Guadiana pretende atajar la sobreexplotación de 220 hm<sup>3</sup> y recuperar las Tablas de Daimiel con unas inversiones de 4.000 millones de euros, lo que no parece muy acertado. Además, no hay estudios de evaluación económica de los daños medioambientales, que permitan comparar los daños con los beneficios del regadío, e implementar medidas razonables.

(23) Algunos autores señalan que una de las principales razones del trasvase del Ebro era aportar recursos hídricos para seguir urbanizando la costa mediterránea, a pesar de que el desarrollo urbano ya cubría en 2000 el 35 por cien de la costa [EEA (2005)].

neas de investigación prioritarias: determinar los costes de las distintas opciones para solucionar la escasez de agua en el sureste, y establecer la respuesta de la demanda de agua a los precios.

Los resultados que se presentan en este trabajo son limitados, y no cubren todos los aspectos de la utilización de los recursos hídricos en la agricultura. No se han tenido en cuenta las cuestiones medioambientales que afectan a la gestión de la cantidad y calidad del agua, ni tampoco se han estudiado los cambios a largo plazo en la producción agraria del sureste. Estos cambios dependen de factores como las inversiones y tecnologías de producción, la demanda de los mercados, la producción de zonas competidoras, y la evolución de las políticas comerciales, agrarias y de inmigración de la Unión Europea.

El trabajo no pretende integrar toda la complejidad de las dimensiones físicas, económicas y sociales de los problemas de gestión del agua, que requieren un enfoque multidisciplinar a distintas escalas. El trabajo se ha centrado en examinar la respuesta de la demanda de agua a los precios en el sureste peninsular, lo que requiere disponer de una amplia base de información biofísica y económica.

La metodología utilizada es la programación lineal, que tiene la ventaja de que permite incluir información técnica y económica al nivel espacial y de desagregación deseados. El inconveniente es que se asume una tecnología de producción de coeficientes constantes, y unos precios de los cultivos exógenos. Además el modelo sólo genera respuestas a corto plazo, porque no se incluye la dinámica de las inversiones de capital en los sistemas de riego o en los cultivos perennes como los leñosos. A pesar de sus limitaciones, el esfuerzo de modelización pretende contribuir a la toma de decisiones sobre la política de agua en el sureste peninsular.

El modelo se ha utilizado para analizar distintas medidas de gestión de demanda y oferta de agua, centrándose en la respuesta del uso de agua a estas medidas, y sus efectos en la renta neta de los agricultores. Las medidas de gestión de demanda son la prohibición de la sobreexplotación de acuíferos y el aumento de los precios del agua, y las medidas de oferta son el proyecto de transferencias del Ebro y la desalación que propone el programa A.G.U.A. También se examina la introducción de mercados de agua, aunque el marco institucional limita el desarrollo de los intercambios de agua en mercados formales.

Los resultados muestran las políticas de gestión de agua que mejor se adaptan a cada cuenca. La prohibición de la sobreexplotación de acuíferos provoca fuertes pérdidas de renta neta en comarcas de la cuenca Sur con precios sombra del agua elevados, mientras que el aumento de precios del agua provoca fuertes pérdidas en comarcas del Júcar y Segura con precios sombra bajos. En cualquier caso, la implementación de medidas de gestión de demanda en agricultura no es una tarea sencilla, porque la prohibición de la sobreexplotación de acuíferos es difícil tras el largo período de mala gestión de acuíferos en la zona, y los agricultores también se oponen a subidas en los precios del agua o a la introducción de mercados de agua. Las pérdidas de los agricultores deben ser compensadas, porque una excesiva carga sobre las actividades de los agricultores puede generar oposición social y el fracaso de las medidas.

Los resultados más ventajosos son soluciones que combinan medidas de gestión de demanda y de oferta, adaptadas a cada cuenca. En este sentido, la mejor

alternativa es una combinación de medidas que incluya el control de la sobreexplotación, mercados de agua y desalación. Esta opción reduce la demanda de las cuencas del sureste en casi 400 hm<sup>3</sup>, a un coste inferior a los 100 millones de euros anuales en términos de pérdidas de renta neta de los agricultores. En comparación con esta opción, el trasvase del Ebro mantiene la renta de los agricultores, pero son necesarios 300 millones de euros al año en subvenciones para que no suban los precios que pagan actualmente los agricultores. Las subvenciones de 300 millones de euros sólo son los costes sociales de mercado del proyecto del Ebro, y una evaluación correcta de los costes y beneficios del proyecto requeriría una valoración económica explícita de sus impactos medioambientales.

La desalación de agua de mar es una fuente que sólo tiene un coste razonable para los usuarios urbanos e industriales, y para los usuarios agrarios de las comarcas costeras con cultivos muy rentables. La construcción de desaladoras para regadío en las comarcas costeras al sur de Campo de Cartagena parece ser una buena alternativa, ya que la producción de invernadero es un sector muy dinámico que puede pagar el coste de desalación. El programa A.G.U.A. es la política elegida por los actuales responsables gubernamentales para sustituir el trasvase del Ebro, y para su implementación es indispensable que las autoridades hagan cumplir los límites sobre extracciones de aguas superficiales y subterráneas, lo que constituye un gran desafío para las autoridades de cuenca y sólo puede lograrse con la acción colectiva y la cooperación de los grupos de interés. El riesgo que tiene el programa A.G.U.A. es que una vez completadas las inversiones públicas en construcción de desaladoras, la demanda de riego no se materialice porque no se hayan podido controlar las extracciones de agua.

Finalmente, un rasgo que sorprende en ambos proyectos, el trasvase del Ebro del anterior Gobierno y el programa A.G.U.A. del Gobierno actual, es su enfoque básico de aumento de oferta en lugar de restauración medioambiental. En los países desarrollados como España, cualquier proyecto de esta magnitud debería incluir hoy en día la restauración medioambiental como un objetivo fundamental. En los planes hidrológicos futuros, parece inevitable que el objetivo de mejora y restauración medioambiental de las cuencas del sureste se tome en serio. En las cuencas del Segura y Sur, la consecuencia del gran desequilibrio entre oferta y demanda es un grave problema de escasez de agua. Además, la calidad de agua está degradada por la contaminación de origen puntual de aguas residuales urbanas e industriales tratadas o semi-tratadas, y también por la contaminación de origen difuso de nutrientes y pesticidas agrarios y urbanos. Cualquier alternativa elegida no funcionará sin que las autoridades de cuenca hagan cumplir normas efectivas que protejan los recursos hídricos.

La solución de este desafío debe incluir indudablemente la reasignación de un cierto volumen de agua extraída por los usuarios agrarios, urbanos e industriales, a usos medioambientales, tanto en acuíferos como en cursos de agua, así como en humedales costeros y del interior. También son necesarias otro tipo de medidas, como el control de la contaminación difusa, la recuperación o la construcción artificial de humedales para la eliminación de nutrientes, la restauración de *habitats*, etc. Algunas experiencias en los países desarrollados muestran que este tipo de restauración y mejora medioambiental puede generar beneficios económicos impor-



tantes ligados al recreo, ecoturismo, y al valor de no-uso de la protección de los ecosistemas, que pueden superar los beneficios de uso agrario e incluso de uso urbano. Esta es una cuestión clave en las cuencas del sureste, por la importancia que tienen en la zona las actividades turísticas y su potencial de desarrollo.



#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, F. (1993): "El problema de la planificación hidrológica: una perspectiva diferente", *Revista de Economía Aplicada*, vol. 1, n.º 2, págs. 209-216.
- Albiac, J., J. Uche, A. Valero, L. Serra, A. Meyer y J. Tapia (2003): "The Economic Unsustainability of the Spanish National Hydrological Plan", *International Journal of Water Resources Development*, n.º 19, págs. 437-458.
- Albiac, J., M. Hanemann, J. Calatrava, J. Tapia, A. Meyer y J. Uche (2004): "Evaluating Alternatives to the Spanish National Hydrological Plan", *Documento de Trabajo 04/4*, CITA-DGA, Zaragoza.
- Albiac, J., M. Hanemann, J. Calatrava, J. Uche y J. Tapia (2006a): "The Rise and Fall of the Ebro Water Transfer", *Natural Resources Journal*, n.º 46(3), págs. 727-757.
- Albiac, J., Y. Martínez y J. Tapia (2006b): "Water quantity and quality issues in Mediterranean agriculture", en *Water and Agriculture: Sustainability, Markets and Policies*, OCDE, París.
- Albiac, J., A. Dinar y J. Sánchez-Soriano (2008): "Game theory: A useful approach for policy evaluation in natural resources and the environment", en A. Dinar, J. Albiac y J. Sánchez-Soriano (eds.) *Game Theory and Policy Making in Natural Resources and the Environment*, Routledge Explorations in Environmental Economics, Routledge, Abingdon.
- Allen, R., L. Pereira, D. Raes y M. Smith (1998): "Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements", *Irrigation and Drainage Paper 56*, FAO, Roma.
- AMOPA (Asociación Murciana de Organizaciones de Productores Agrarios)-Gobierno de Murcia (2000): *Estudio General de la Estructura y Balance Agronómico y Económico de las Explotaciones Agrícolas de la Región de Murcia*, AMOPA-Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente, Gobierno de Murcia, Murcia.
- Caballero, P., M. de Miguel y J. Julia (1992): *Costes y precios en hortofruticultura*, Mundi-Prensa, Madrid.
- Calatrava-Requena, J., R. Cañero y J. Ortega (2001): "Productivity and cultivation costs analysis in plastic greenhouses in the Nijar (Almería) area". *Acta Horticulturae*, n.º 599, págs. 737-744.
- Carles, J., L. Avellá y M. García (1998): "Precios, Costes y Uso del Agua en el Regadío Mediterráneo", *Comunicación presentada en el I Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua*, Zaragoza.
- Dantzig, G. y P. Wolfe (1961). "The Decomposition Algorithm for Linear Programs", *Econometrica*, n.º 29, págs. 767-778.
- Day, R. (1969): "Exact Aggregation with Linear Programming Models – A Note on the Sufficient Conditions Proposed by R. Day: Reply", *American Journal of Agricultural Economics*, n.º 51, págs. 686-688.
- EEA (European Environmental Agency) (2005): *Corine land cover database 2000*, The European Topic Centre on Terrestrial Environment, EEA, Copenhagen.
- Fornés, J., A. de la Hera y R. Llamas (2005): "La propiedad de las aguas subterráneas en España: la situación del Registro/Catálogo", *Ingeniería del Agua*, n.º 12 (2), págs. 125-136.

- García, 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, Departamento de Economía y Ciencias Sociales, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- González, A. y S. Rubio (1993): "El problema de la planificación hidrológica: una aplicación al caso español", *Revista de Economía Aplicada*, vol. 1, n.º 1, págs. 33-66.
- Hanemann, M. (2002): *The Central Arizona Project*. Department of Agricultural & Resource Economics, Working Paper No. 937, Universidad de California en Berkeley, Berkeley.
- Hernández-Mora, N., L. Martínez y J. Fornés (2003): "Intensive groundwater use in Spain", en R. Llamas y E. Custodio (eds.) *Intensive Use of Grounwater: Challenges and Opportunities*, Swets & Zeitlinger BV, Lisse.
- Howitt, R. (1995): "Positive Mathematical Programming". *American Journal of Agricultural Economics*, n.º 77, págs. 329-342.
- Llamas, R. (2005): "Una causa radical de los conflictos hídricos en España", *Tecnología del Agua*, n.º 259, págs. 72-76.
- Llamas, R. y P. Martínez (2005): "Intensive Groundwater Use: Silent Revolution and Potential Source of Social Conflicts", *ASCE Journal of Water Resources Planning and Management*, n.º 131 (5), págs. 337-341.
- Lorenzo-Pardo, M. (1933): *Plan Nacional de Obras Hidráulicas. Tomo I Exposición General*, Centro de Estudios Hidrográficos, Ministerio de Obras Públicas, Sucesores de Rivadeneyra, Madrid.
- Martínez-Cob, A., J. Faci y A. Bercero (1998): *Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón*, Institución Fernando el Católico, Diputación de Zaragoza, Zaragoza.
- McCarl, B. (1982): "Cropping Activities in Agricultural Sector Models: A Methodological Proposal", *American Journal of Agricultural Economics*, n.º 64(4), págs. 768-772.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación) (2002): *Análisis de la Economía de los Sistemas de Producción. Resultados Técnico-Económicos de Explotaciones Hortofrutícolas de la Comunidad Valenciana en 2001*, Dirección General de Planificación Económica, MAPA, Madrid.
- MIMAM (Ministerio de Medio Ambiente) (2000a): *Libro blanco del agua en España*, Secretaría de Estado de Aguas y Costas, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, MIMAM, Madrid.
- MIMAM (Ministerio de Medio Ambiente) (2000b): *Plan Hidrológico Nacional. Análisis Económicos*, MIMAM, Madrid.
- MOP (Ministerio de Obras Públicas) (1940): *Plan General de Obras Públicas. Tomo II Obras Hidráulicas*, MOP, Imprenta Talleres Penitenciarios Alcalá, Madrid.
- MOPT (Ministerio de Obras Públicas y Transportes) (1993): *Informe sobre el Plan Hidrológico Nacional*, MOPT, Madrid.
- MOPU (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo) (1990): *Plan hidrológico. Síntesis de la documentación básica*, Dirección General de Obras Hidráulicas, Madrid.
- Moore, M. y A. Dinar (1995): "Water and Land as Quantity-Rationed Inputs in California Agriculture: Empirical Tests and Water Policy Implications", *Land Economics*, n.º 71 (4), págs. 445-61.
- Önal, H. y B. McCarl (1989): "Aggregation of Heterogeneous Firms in Mathematical Programming Models", *European Journal of Agricultural Economics*, n.º 16(4), págs. 499-513.
- Önal, H. y B. McCarl (1991): "Exact Aggregation in Mathematical Programming Sector Models", *Canadian Journal of Agricultural Economics*, n.º 39, págs. 319-334.

- Pérez, J., J. de Pablo y M. Escudero (2003): "Costes de producción y utilización de la mano de obra en tomate. Un estudio empírico para el cultivo bajo plástico en Almería", *Comunicación a la XVII Reunión ASEPELT*, Almería.
- Quintanilla, A., S. Castaño, J. García, E. Navarro y J. Montesinos (1997): "Aproximación al estudio de la evolución temporal de la superficie en regadío de la cuenca del río Segura mediante técnicas de teledetección y SIG", en J. Casanova y J. Sanz (eds.) *Teledetección: Usos y Aplicaciones*, Secretaría de Publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Valladolid, Valladolid.
- Rubio, S. y A. González (1993): "El problema de la planificación hidrológica: un argumento económico a favor de los trasvases", *Revista de Economía Aplicada*, vol. 1, n.º 2, págs. 217-222.
- Segura, R. (1997): "Reflexiones y estimaciones sobre el coste del agua de riego", *Comunicación al XV Congreso Nacional de Riegos*, Lérida.
- Sumpsi, J., A. Garrido, M. Blanco, C. Ortega y E. Iglesias (1988): *Economía y política de gestión del agua en la agricultura*, MAPA-MundiPrensa, Madrid.
- Sumpsi, J., y C. Varela (2001): "Case study 2: Greenhouse irrigation in Campo de Dalías". En J. Dwyer (Coordinador), *The Environmental Impacts of Irrigation in the European Union*, Directorado General de Medio Ambiente de la Unión Europea, Bruselas.
- Shumway, C., R. Pope y E. Nash (1984): "Allocatable Fixed Inputs and Jointness in Agricultural Production: Implications for Economic Modelling", *American Journal of Agricultural Economics*, n.º 66, págs. 72-78.
- Trasagua (2003): *Proyecto de las Transferencias Autorizadas por el Artículo 13 de la Ley 10/2001 de 5 de Julio (Plan Hidrológico Nacional) y Estudio de Impacto Ambiental*, Trasagua, Madrid.
- Uche, J. (2003a): "Anejo 2. Análisis de los costes del Proyecto de Transferencias", en J. Albiac (ed.) *Alegaciones al Proyecto de Transferencias Autorizadas por la Ley del Plan Hidrológico Nacional y Estudio de Impacto Ambiental*, Documento de Trabajo 03/3, CITA-DGA, Zaragoza.
- Uche, J. (2003b): "Anejo 1. Costes energéticos", en J. Albiac (ed.) *Alegaciones al Proyecto de Transferencias Autorizadas por la Ley del Plan Hidrológico Nacional y Estudio de Impacto Ambiental*, Documento de Trabajo 03/3, CITA-DGA, Zaragoza.
- UNEP (United Nations Environment Program) (2005): *One Planet, Many People: Atlas of Our Changing Environment*, Earthprint, Stevenage.

*Fecha de recepción del original: septiembre, 2005*

*Versión final: mayo, 2007*

#### ABSTRACT

This article analyzes the main projects of the Spanish National Hydrological Plans of 2001 and 2005, the Ebro interbasin transfer and the A.G.U.A. projects, prompted by acute water scarcity and the ensuing severe degradation of the southeastern basins in the Iberian peninsula. The strong policy debate on both projects highlights the difficulties involved in attaining a sustainable management of water resources because of the conflicting interests of diverse stakeholders: regions, economic sectors, and political and environmental groups. Alternatives to these two projects are examined, and results show that acceptable outcomes combine both demand and supply measures. However, implementation could be difficult and requires compensating losses to farmers, and their cooperation and collective action to protect water resources. Otherwise, an excessive burden on agricultural activities will be met by social opposition and make the measures fail.

*Key words:* Water planning, Ebro water transfer, A.G.U.A. project.

*JEL classification:* C60, D61, Q25.