

Obtención de la curva de demanda de agua de riego generada por una hipotética política de tarifas sobre el agua

J. A. CAÑAS MADUEÑO (*)

M.^a J. LÓPEZ BALDOVÍN (*)

J. A. GÓMEZ-LIMÓN RODRÍGUEZ (**)

1. INTRODUCCIÓN

El agua ha pasado de ser un bien libre e ilimitado a constituirse en un bien cada vez más escaso, a conservar y gestionar racionalmente. En el plano ideológico se trata de un cambio radical en la concepción de lo que representa el agua para la sociedad. La economía del agua en España ha alcanzado la madurez, por lo que se hace necesaria la búsqueda de nuevos mecanismos de gestión para este recurso. A pesar de ello, la atención se ha centrado principalmente en los problemas legales e ingenieriles, y sólo secundariamente en los planteamientos económicos. Aunque sí se ha hablado acerca de tales planteamientos en forma teórica, son pocos los trabajos empíricos, y aún más en nuestro país (Sumpsi *et al.*, 1998; Garrido, 1998; Berbel *et al.*, 1999).

Al ser el agua un bien perteneciente al dominio público, para su empleo, especialmente en usos agrarios, el Estado ha establecido un sistema de concesiones que permite a los regantes disfrutar de ciertas cantidades del recurso gratuitamente. Tales concesiones se establecen para grupos de usuarios: las Comunidades de Regantes (CRs). Desde principios de siglo, el Estado español ha llevado a cabo una política expansiva de regadíos con el fin de desarrollar el medio rural. De ahí que se hayan realizado obras públicas en materia de embalses y canalizaciones, cuya financiación ha sido mixta. Si bien el

(*) Departamento de Economía Agraria. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Córdoba.

(**) Departamento de Economía. ETSIIAA Palencia. Universidad de Valladolid.

Estado proyecta y ejecuta las obras, son los regantes los que deben pagar durante la explotación del proyecto una parte de los costes de amortización y mantenimiento de la distribución en cabecera. Esta cantidad, denominada «canon de riego», es recaudada por las CRs, para más tarde ser transferida a la Administración pública encargada de estas obras de infraestructura (Confederaciones Hidrográficas).

Por otro lado, la política agraria ha ido transformando su mentalidad «productivista» hacia otra donde se prioriza el desarrollo rural. Este cambio se manifestó ya en la reforma de la PAC de 1992, y se ha potenciado aún más en la reciente Agenda 2000, tal y como se indica en todos los informes de la Comisión previos a los cambios de orientación política antes apuntados. En este contexto, el agua pasa de ser un factor productivo más de los regadíos, a ser un recurso fundamental para mantener el tejido humano y social del territorio.

Entre las medidas barajadas por la nueva política agraria, como posibles políticas de gestión del agua, destacan los sistemas tarifarios para el agua de riego, con el fin de incentivar el ahorro de este recurso. Un incremento en el precio del agua induciría a ajustar el consumo a las necesidades evitando el despilfarro del recurso que se produce en estos momentos. Sin embargo, este hecho también provocaría un cambio en los cultivos y técnicas que implican, a su vez, una menor renta agraria y reducción de empleo, puesto que los cultivos con mayores demandas hídricas son más rentables e intensivos en empleo de los factores que los cultivos alternativos.

El presente estudio desarrolla una metodología con la que estimar la curva de demanda de agua de riego para un conjunto homogéneo de agricultores. Para ello, empleando el Paradigma de la Teoría de la Decisión Multicriterio, se determinará la función de utilidad que tratan de maximizar los agricultores, en la cual se incluyen los distintos objetivos considerados por los mismos. La determinación de esta función de utilidad permitirá simular los planes de cultivo eficientes que los agricultores establecerían sobre el territorio en el caso de aplicar una política de precios sobre el agua de riego. Con ello, en función de los requerimientos hídricos de los cultivos, se establecerán pares de valores (cantidades demandadas, precio del agua) que compondrán la curva de demanda efectiva del agua de riego.

En esta línea han sido ya numerosos los estudios teóricos (Hall y Hanemann, 1996; Redaud, 1997; Spulber y Sabbaghi, 1994) y prácticos (Musgrave, 1996; Grieg, 1997; Aeuckens, 1997; Montginoul, 1997) sobre tarificación del agua. Sin embargo, nuestra mayor apor-

tación es, en primer lugar, realizar este tipo de estudio en el ámbito español, hasta ahora poco analizado (Sumpsi *et al.*, 1998), y la innovación de la aplicación de una técnica multicriterio.

En este contexto, el objetivo que pretendemos con este estudio es proponer una metodología con la que cuantificar el impacto de una hipotética política de precios o tarifas sobre el agua de riego en la agricultura extensiva de regadío, analizando sus diferentes repercusiones: económica, social y medioambiental.

2. LA MODELIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REGADÍO MEDIANTE LA TEORÍA DE LA DECISIÓN MULTICRITERIO

Existen diversos estudios, dentro del sector agrario, que ratifican que los agricultores consideran de forma simultánea varios objetivos o criterios (Sumpsi *et al.*, 1998 o Gómez-Limón y Berbel, 1995). De ahí que se haya decidido analizar el problema económico que nos ocupa dentro del Paradigma Decisional Multicriterio. Para definir la función de utilidad que representa el comportamiento de los agricultores, en la que se integran los objetivos tenidos en cuenta por estos productores, se ha elegido la técnica de Programación por Metas Ponderadas. Al lector interesado en la estructura teórica de la metodología seguida se le remite a los trabajos de Romero y Rehman (1989), Romero (1991) y Ballesteros y Romero (1998) en el plano teórico, y los de Sumpsi *et al.* (1995) o Gómez-Limón y Berbel (1995) como aplicaciones de dicha teoría.

Siguiendo la metodología apuntada, el propósito del presente estudio consiste en lo siguiente. Tras definir *a priori* los objetivos considerados como los más importantes para los agricultores de una determinada CR, se estimarán las ponderaciones o importancia relativa de cada uno de ellos. Así se podrá definir la función de utilidad que el conjunto de los agricultores tratan de maximizar con sus decisiones de producción. Este comportamiento optimizador por parte del conjunto de agricultores, será el que nos permita, posteriormente, llevar a cabo una simulación con precios crecientes del agua de riego. Lógicamente, cada escenario de precio del agua planteado originará su correspondiente plan de cultivos, con una demanda de agua de riego determinada. Los pares de valores (cantidad de agua de riego demandada, precio del agua) obtenidos configuran la curva de demanda de agua de riego, la cual nos permitirá analizar la influencia de una hipotética política de precios o tarifas en el agua de riego, sobre diversas variables de tipo económico (renta del agricultor, recaudación estatal e ingresos totales generados por el siste-

ma), social (empleo directo generado) y medioambiental (nivel de uso de fertilizantes).

La aplicación de la metodología ha sido llevada a la práctica en la CR San Rafael (Córdoba) en forma de experiencia piloto, para poder aplicarla posteriormente a otras Comunidades de Regantes.

3. ORIGEN DE LA INFORMACIÓN

Las fuentes de información utilizadas para elaborar nuestro modelo han sido, además de los datos oficiales de la Junta de Andalucía, fuentes primarias. Los datos proceden de entrevistas al Servicio de Extensión Agraria de Villa del Río, al técnico de la CR y a diversos agricultores pertenecientes a la misma (ver cuadro 1). La recogida de datos fue realizada en mayo de 1998.

3.1. Descripción de la zona de estudio

Para evaluar el impacto de una posible política de precios sobre el agua de riego hemos llevado a cabo una aplicación práctica de la metodología a un sistema de regadío concreto, representado por la CR San Rafael. Esta CR, ubicada en el Valle Alto del Guadalquivir, abarca actualmente unas 1.104 ha, localizadas el 76,5 por ciento de ellas en el Término Municipal de Villa del Río (Córdoba). La explotación del regadío comenzó en el año 1956. El número de comuneros que integran esta CR asciende a 184.

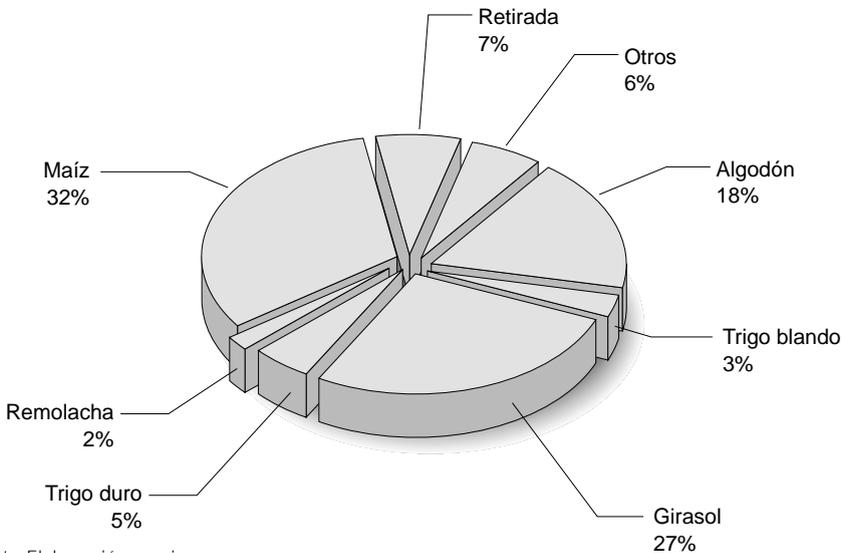
El tipo climático de esta zona de regadío es el mediterráneo subtropical. Predominan los cultivos de primavera, por lo que al ser la época estival muy seca, el empleo del riego es condición imprescindible (durante sus períodos de cultivo sólo se recoge el 30 por ciento de las lluvias). La distribución superficial de cultivos, en un año medio, en el que el agua no suponga un factor limitante para la producción, se muestra en el gráfico 1.

La concesión teórica de agua por parte de la Confederación Hidrográfica (C.H.) es de 8.000 m³/ha/año, pero la dotación hídrica normalmente no sobrepasa los 4.500 m³/ha/año, pudiendo llegar a anularse la posibilidad del riego en caso de sequía, tal y como sucedió en los años 1993 y 1994. El agua es bombeada desde el río y dirigida a las parcelas por un sistema de acequias que funciona únicamente durante la campaña de riegos, comprendida entre los meses de mayo y septiembre. El sistema de riego predominante es por surcos.

El gasto fijo de riego anual por hectárea de los comuneros fue de 37.123 pta en el año 1998, desglosado en tres partidas: canon de la

Gráfico 1

Distribución de cultivos en la CR San Rafael



Fuente: Elaboración propia.

C.H. del Guadalquivir (9.700 pta), obras de conservación (14.493 pts) y gastos generales (12.930 pta). A este gasto fijo hay que añadir el coste de la energía consumida en bombear el agua, coste que es variable en función de la cantidad de agua consumida. Dicho coste de bombeo asciende a 2,7 pta/m³.

La elección de esta zona regable para la realización de esta experiencia piloto se debe tanto a la disponibilidad de datos de calidad como a la homogeneidad de sus explotaciones, tanto en su base edafoclimática como estructural (tamaño de explotación), circunstancias que inducen a pensar en la existencia de un comportamiento similar de los comuneros de la misma. En este sentido, puede admitirse, como posteriormente se comentará, que existe una función de utilidad agregada que permite simular adecuadamente el comportamiento de este conjunto de productores.

3.2. Recogida de datos

Se han escogido como variables de decisión de nuestro modelo las superficies de los cultivos más significativos de la zona en cuanto a superficie cultivada en la actualidad. Todos ellos son cultivos herbáceos anuales, lo que facilitará el análisis a corto plazo del comporta-

miento del agricultor. Los cultivos seleccionados son: maíz, algodón, girasol, trigo duro, trigo blando y remolacha. También se ha considerado la superficie dedicada a retirada, por constituir una obligación para percibir las ayudas directas por superficie de la UE.

Los datos referentes a precios, rendimientos, subvenciones, ingresos, costes variables, márgenes brutos, necesidades de mano de obra y fertilizantes, necesarios para la elaboración de nuestro modelo, se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1

DATOS DE LA CR SAN RAFAEL

Año	Algodón	Girasol	Maíz	Trigo duro	Trig. blando	Remolacha	Retirada
Precios percibidos por el agricultor (pta/kg) ^{1 y 2}							
1996	190	30	26	25,5	29,0	7,5	0
1997	120	36	24	28,5	26,5	8,0	0
1998	130	38	22	26,0	30,0	8,0	0
Rendimientos (kg/ha) ^{1 y 2}							
1996	4.783	1.810	9.479	3.323	3.394	41.391	0
1997	2.629	2.417	14.901	3.011	1.798	65.732	0
1998	3.500	2.500	11.000	3.274	3.061	65.000	0
Subvenciones (pta/ha.) ¹							
1997	0	95.179	76.475	99.860	40.487	0	69.517
Ingresos corrientes (pta/ha)							
1996	908.770	149.479	322.929	184.596	138.913	310.429	69.517
1997	315.462	182.199	434.091	185.666	88.141	525.856	69.517
1998	455.000	190.179	318.475	184.979	132.317	520.000	69.517
Ingresos inflacionados en pesetas constantes de 1998 (pts/ha)							
1996	941.553	151.438	331.819	187.653	142.463	321.628	69.517
1997	320.391	183.559	439.678	187.007	88.885	534.072	69.517
1998	455.000	190.179	318.475	184.979	132.317	520.000	69.517
Costes variables (pta/ha) ³							
1998	250.208	59.691	179.486	53.935	53.935	262.867	625
Margen bruto inflacionado en pesetas constantes de 1998 (pta/ha)							
1996	691.345	91.747	152.333	133.718	88.528	58.761	68.892
1997	70.183	123.868	260.192	133.072	34.950	271.205	68.892
1998	204.792	130.488	138.989	131.044	78.382	257.133	68.892
Media	322.107	115.367	183.838	132.611	67.287	195.700	68.892
Desviaciones respecto a la media							
1996	369.238	-23.621	-31.505	1.107	21.241	-136.939	0
1997	-251.923	8.500	76.354	460	-32.337	75.505	0
1998	-117.315	15.120	-44.849	-1.567	11.095	61.433	0
Necesidades de mano de obra (horas/ha) ³							
	84,02	38,5	103,52	24,32	24,32	63,00	1,50
Uso de fertilizantes (UFN/ha) ³							
	181,8	112,0	309,0	150,0	150,0	181,8	0,0

Fuentes: 1: Datos oficiales de la J.A.; 2: CR San Rafael; 3: Elaboración propia a partir de encuestas.

4. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MULTICRITERIO

Cuando el agricultor piensa en un plan de producción para su explotación, lo primero que ha de decidir es qué cultivos sembrará y qué superficies asignará a cada uno de ellos. Por tanto, las posibles superficies asignadas a cada cultivo constituyen las variables de decisión del modelo a construir. Al asignar unas determinadas superficies a cada uno de los cultivos, es evidente que el empresario agrícola trata de alcanzar unos determinados objetivos. En este contexto, la programación multicriterio establece matemáticamente los valores de las variables de decisión eficientes en función de estos objetivos, simulando el proceso mental del agricultor. Lógicamente, la optimización de los objetivos se verá condicionada por una serie de restricciones que representan el contexto real en el que vive el agricultor. Pasamos a definir cada uno de los componentes de nuestro modelo.

4.1. Variables de decisión

Como ya se ha mencionado, son las superficies destinadas a los cultivos:

X_1 = Superficie dedicada a Algodón X_4 = Superficie dedicada a Girasol
 X_7 = Superficie dedicada a Maíz X_9 = Superficie dedicada a Trigo Duro
 X_{11} = Superficie dedicada a Trigo Blando X_{13} = Superficie dedicada a Remolacha
 X_{15} = Superficie de retirada

4.2. Objetivos

El primer paso de la metodología seguida consiste en seleccionar los objetivos perseguidos por el conjunto de agricultores que estudiamos. Los objetivos se han elegido basándonos en estudios previos a éste en los que se establecen los objetivos considerados por el agricultor de regadío en Andalucía (Gómez-Limón y Berbel, 1995; Sumpsi *et al.*, 1993 y 1995). Dichos objetivos serán los que utilizaremos para el cálculo de la matriz de pagos (segundo paso de la programación por metas ponderadas), con la cual podremos cuantificar la importancia relativa que tiene cada uno de los objetivos en la toma de decisiones del agricultor.

Así, los objetivos a considerar son:

1. *Maximización del margen bruto* (MB). Éste nos va a servir como estimador del beneficio y de la renta obtenida por el agricultor. Al tratarse de un estudio en el corto plazo, se corresponde con la maxi-

mización del beneficio. Se ha calculado para cada cultivo la media de los MB de las diferentes campañas expresadas en pesetas constantes de 1998 (MB_i). Por tanto, la expresión del MB del plan de cultivos es la suma de los márgenes correspondientes a cada uno de los cultivos:

$$MB = \sum MB_i * X_i$$

2. *Minimización del riesgo.* En nuestro modelo, el riesgo se ha introducido como la posibilidad de obtener un MB inferior a la media observada durante el periodo de años considerado. Dicho riesgo se ha estimado a través del método del MOTAD, siendo éste la suma de las desviaciones negativas y positivas respecto de la media. Para cada año, las desviaciones del MB se calculan así:

$$\sum X_i * (MB_{ij} - MB_i) + n_j - p_j = 0 \quad \text{para cada año } j,$$

siendo: MB_{ij} = margen bruto del cultivo i en el año j.

MB_i = margen bruto medio del cultivo i.

n_j = desviación negativa por debajo de la media.

p_j = desviación positiva por encima de la media.

No obstante, aplicaremos a nuestro modelo la simplificación propuesta por Hazell (1971), con la que será suficiente minimizar las desviaciones negativas por debajo de la media:

$$MOTAD = \sum n_j$$

Somos conscientes de la limitación que supone el haber tenido en cuenta únicamente las tres campañas pertenecientes al trienio 1995-1998 en la aplicación llevada a cabo de nuestro modelo de cara a la cuantificación del riesgo (MOTAD). Sin embargo, esta decisión se ha tomado obligada por dos circunstancias condicionantes. La primera se debe a la imposibilidad de considerar las campañas anteriores al período estudiado, totalmente anómalas por la sequía reinante (prohibición del riego en los años 1993 y 1994). La segunda razón se basa en el cambio de contexto de política agraria debido a la reforma de la PAC del 92, que dificulta igualmente los años anteriores.

4.3. Restricciones

Establecidas las variables de decisión y los objetivos, el modelo se completa con la definición de las restricciones consideradas:

a) Utilización de la superficie total

Se hará la suposición de que la suma de la superficie útil de todos los cultivos es igual a cien hectáreas. Así las salidas del modelo (valor de la superficie dedicada a cada cultivo) vendrán expresadas de forma porcentual.

b) Limitaciones de la Política Agraria Comunitaria (PAC)

La retirada de superficie de cultivo se contabiliza como una superficie más. La retirada se halla restringida por un límite superior y otro inferior en función de los cultivos COP, según dispone la normativa de la PAC. En el cultivo del girasol, la PAC impone la restricción a nivel de finca de que la superficie sembrada de girasol ha de ser menor que el 50 por ciento de los cultivos COP.

Otras restricciones impuestas al modelo debidas a la normativa de la PAC, se refieren a la limitación de las superficies sembradas de trigo duro (la subvencionable por la UE), algodón (cantidad máxima garantizada) y remolacha (cupos de producción). Para acotar estas superficies se ha considerado que las superficies sembradas de cada cultivo no deben exceder a las máximas del periodo de años estudiado.

c) Sucesión de cultivos

No respetar ciertas alternativas en los cultivos en el regadío extensivo puede conducir a «accidentes» graves en la producción agrícola. Además, como estas reglas representan para los agricultores un elemento de tradición profesional, su omisión en los modelos matemáticos quitaría a éstos buena parte de su valor representativo de la realidad. Así pues, se han incluido en el modelo aquellas restricciones de sucesión respetadas por la generalidad de los productores.

Con todos estos objetivos y restricciones, se propone el modelo que aparece en el cuadro 2.

5. CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE UTILIDAD

Esta metodología multicriterio se puede resumir como sigue: dado un conjunto de objetivos considerados como los más importantes para un determinado centro decisor, se quiere definir el peso relativo de cada uno de ellos, de manera que se explique su comportamiento real.

Cuadro 2

MODELO DE PROGRAMACIÓN MULTICRITERIO

Variables ha	X1 Algodón 5	X4 Girasol 2	X7 Maíz 7	X9 Trig. dur 1	X11 Trig. blan 1	X13 Remolach 3	X15 Retirada	n1 n2 n3
Objetivos								
MB	322.106,73	115.367,61	183.838,39	132.611,33	67.287,12	195.699,66	68.892,00	=
MOTAD								1 1 1 =
Restricc.								
MB 1996	-369.238,08	23.620,81	31.504,86	-1.106,94	-21.241,48	136.938,78	0	1 >= 0,00
MB 1997	251.923,35	-8.500,42	-76.354,25	-460,35	32.336,72	-75.505,44	0	1 >= 0,00
MB 1998	117.314,73	-15.120,39	44.849,39	1.567,29	-11.095,24	-61.433,34	0	1 >= 0,00
Superficie	1	1	1	1	1	1	1	=100,00
PAC 1		-0,05	-0,05	-0,05	-0,05		1	>= 0,00
PAC 2		-0,10	-0,10	-0,10	-0,10		1	<= 0,00
PAC 3		0,50	-0,50	-0,50	-0,50		-0,50	<= 0,00
PAC 4				1				<= 9,30
PAC 5						1		<= 3,60
PAC 6	1							<= 22,52
Suc. 1	1	-1	-1	-1	-1		-1	<= 0,00
Suc. 2		-1	1	-1	-1		-1	<= 0,00
Suc. 3		-1		-1	-1	1	-1	<= 0,00
Suc. 4	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	<= 0,00
Suc. 5	1	-1		-1	-1	-1	-1	<= 0,00
Suc. 6	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	<= 0,00

Fuente: Elaboración propia.

El primer paso de esta metodología comienza, como se dijo, con el establecimiento de los objetivos perseguidos por el centro decisor que, en nuestro caso, es el conjunto de agricultores de una cierta comunidad de regantes. Los objetivos seleccionados han sido: maximización del beneficio y minimización del riesgo. Aunque están claramente en conflicto entre sí, ambos serán tenidos en cuenta por los productores a la hora de la toma de decisiones (establecimiento del plan de cultivos en el caso de los agricultores). La elección de estos objetivos está basada en que son los que racionalmente intuimos y en que, a la vista de experiencias anteriores, han sido los considerados por los centros decisores.

5.1. Matriz de pagos

Posteriormente se ha cuantificado la importancia porcentual de los objetivos con respecto al total de las decisiones. Para ello se dará el

segundo paso metodológico: el cálculo de la matriz de pagos. Ésta permitirá cuantificar además el nivel de conflicto existente entre los objetivos considerados.

Para obtenerla será necesario optimizar por separado los objetivos incluidos en la hoja de cálculo que constituye el modelo (cuadro 2), mediante el uso de una herramienta de optimización como es el Solver de Excel, obteniéndose así sucesivamente los valores que componen la matriz de pagos (ver cuadro 3), en la que puede comprobarse que existen evidentes conflictos entre la consecución simultánea de los objetivos. Llegados a este punto pretendemos conocer qué peso tiene cada objetivo en la toma de decisiones.

5.2. Programación por metas ponderadas

Una vez calculada la matriz de pagos, podremos formar el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{matrix} f_{11} = f_1^* & f_{12} & \dots & f_{1i} & \dots & f_{1q} \\ f_{i1} & f_{i2} & \dots & f_{ii} = f_i^* & \dots & f_{iq} \\ f_{q1} & f_{q2} & \dots & f_{qi} & \dots & f_{qq} = f_q^* \end{matrix} = \begin{matrix} w_1 \\ w_i \\ w_q \end{matrix} = \begin{matrix} f_1 \\ f_i \\ f_q \end{matrix}$$

- donde: w_i = peso de importancia del i-ésimo objetivo.
- f_i^* = valor ideal logrado por el i-ésimo objetivo.
- f_i = valor observado para el i-ésimo objetivo (valor de la realidad).
- f_{ij} = valor logrado por el i-ésimo objetivo cuando se optimiza el j-ésimo objetivo.

Si este sistema tiene una solución no negativa, representará el conjunto de pesos que tiene cada uno de los objetivos en la realidad. Sin embargo, la mayoría de las veces no existe solución exacta. En otras

Cuadro 3

MATRIZ DE PAGOS

Valores alcanzados	Valores óptimos		Realidad
	MB	MOTAD	
MB	20.241.737	10.350.052	18.073.899
MOTAD	5.956.918	0	5.098.374

Fuente: Elaboración propia.

palabras, no existe un conjunto de pesos $w_1, \dots, w_i, \dots, w_q$ realmente capacitado para representar el comportamiento real de los productores. En estos casos habrá que buscar la mejor solución mediante la Metodología Decisional Multicriterio (Romero, 1993). Esta solución la podremos obtener mediante la resolución del siguiente programa lineal:

$$\text{Min } \Sigma [w_i (n_i + p_i) / f_i]$$

sujeto a:

$$\begin{aligned} w_1 f_{11} + \dots + w_i f_{1i} + \dots + w_q f_{1q} + n_1 - p_1 &= f_1 \\ w_1 f_{i1} + \dots + w_i f_{ii} + \dots + w_q f_{iq} + n_i - p_i &= f_i \\ w_1 f_{q1} + \dots + w_i f_{qi} + \dots + w_q f_{qq} + n_q - p_q &= f_q \\ w_1 + \dots + w_i + \dots + w_q &= 1 \end{aligned}$$

Donde n_i y p_i son respectivamente las desviaciones negativas y positivas respecto al valor alcanzado en la realidad por el objetivo en cuestión.

Con esta ponderación de objetivos lo que se persigue en nuestro estudio no es otra cosa que calcular una *función de utilidad subrogada*, la cual intentarán maximizar el conjunto de empresarios agrarios de la zona en estudio.

Así, una vez resuelto el modelo propuesto por la metodología multicriterio antes reseñada, se obtuvieron las siguientes ponderaciones para los diferentes objetivos:

$$\begin{aligned} W_1 \text{ (maximizar el margen bruto)} &= 0,7808 \\ W_2 \text{ (minimizar el riesgo)} &= 0,2191 \end{aligned}$$

De estos resultados se deduce que a nivel agregado los agricultores de la Comunidad de Regantes de San Rafael minimizan el riesgo (MOTAD) con un peso aproximado de 0,22 y maximizan el margen bruto (MB) con un peso aproximado de 0,78. Por tanto, el comportamiento revelado por los agricultores a nivel agregado queda subrogado por una función de utilidad del tipo:

$$U = 78,08\% \text{ MB} - 21,91\% \text{ MOTAD}$$

Para operar con la anterior expresión en el modelo multicriterio se debe proceder previamente a normalizar los coeficientes, dividiendo éstos por un factor normalizador como puede ser la diferencia entre el valor ideal y el antideal. El resultado de esta transformación es el siguiente:

$$U = 7,8939 \text{ MB} - 3,6790 \text{ MOTAD}$$

Teniendo en cuenta que la población de estudio (regantes de la CR San Rafael) representa un conjunto de productores lo suficiente homogéneo, tanto en sus características edafoclimáticas como en su tamaño de explotación, se puede afirmar que la expresión anterior sí puede considerarse un buen subrogado de la función de utilidad que mide las preferencias reales de dichos agricultores y será, en consecuencia, la que emplearemos para la posterior simulación.

Conviene recordar que una función de utilidad es básicamente un mecanismo que permite asignar números reales a un conjunto de indiferencia monótono. Sin embargo, el problema no está tanto en su significación y uso, sino en la propia existencia de la misma, tal y como acepta la Teoría Económica. En nuestro caso, para aceptar la existencia real de la función de utilidad estimada asumiremos como supuestos de partida que se cumplan las condiciones de comparabilidad, reflexividad, transitividad y continuidad (Romero, 1993). La aceptación de estos supuestos la consideramos plausible, habida cuenta que los objetivos considerados son utilitariamente independientes (Ballesteros y Romero, 1998).

6. SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS AGRICULTORES

La simulación del comportamiento de los agricultores de la CR San Rafael frente a una hipotética tarifación del agua de riego consiste en calcular un modelo similar al planteado en el cuadro 2, pero este nuevo modelo multicriterio presentará tres modificaciones:

- La función a optimizar (maximizar) será la función de utilidad U .
- Para calcular el margen bruto (MB_i) en cada uno de los cultivos se tendrá en cuenta un coste extra, generado por el hipotético precio del metro cúbico del agua considerado en cada escenario.
- Se van a incluir nuevas actividades, para introducir en la modelización la oportunidad de aplicar riegos deficitarios. De esta forma será posible simular una estrategia de ahorro de agua en un nuevo contexto de precios, circunstancia que sería irrelevante en la actual situación donde el precio del agua es nulo.

Esta última diferencia implica que en nuestro modelo de simulación se va a asignar más de una actividad por cultivo, estableciendo diferentes dosis de riego y asignando un rendimiento esperado diferente para cada una de ellas. Dichos rendimientos esperados en función de la dosis de riego se obtuvieron a través de entrevistas a diferentes miembros de la CR. Como resultado se llegó a la relación de cultivos con sus respectivos consumos hídricos que se muestra en el

cuadro 4. En ella cada cultivo aparece seguido de un número referido a la dosis de riego empleada. Por ejemplo, el algodón recibe normalmente cinco riegos con un rendimiento medio de 3.500 kg/ha; a esta actividad se le denomina «Algodón 5» (X_1). Igualmente existirá un «Algodón 4» (X_2), al que se aplica un riego menos, con un rendimiento estimado de 3.000 kg/ha, y un «Algodón 3» (2.500 kg/ha). Dosis inferiores a las empleadas al simular riegos deficitarios no harían viable el cultivo, razón por la cual no se han incluido como posibilidades en nuestro modelo. Igualmente aparecerán actividades que representan a cultivos con dosis de riego igual a cero, tratándose de cultivos realizados en condiciones de secano.

El método de simulación del comportamiento de los agricultores de regadío de la zona en estudio va a consistir en parametrizar el precio del agua de riego, comenzando con el valor 0 pta/m³, como corresponde a la realidad actual. Este precio se irá incrementando progresivamente, incorporándose como un coste variable del cultivo. Así podremos calcular para cada precio del agua de riego, el plan de cultivos eficiente con su respectivo consumo de agua. Con esos pares de valores se podrá configurar la curva de demanda de agua. Los resultados referentes a los planes de cultivo en función del precio del agua arrojados por la simulación, se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 4

RENDIMIENTOS EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE RIEGOS

Variable	Cultivo	Consumo hídrico (m ³ /ha)	Rendimiento (kg/ha)
X_1	Algodón 5	5.060	3.500
X_2	Algodón 4	4.048	3.000
X_3	Algodón 3	3.036	2.500
X_4	Girasol 2	2.024	3.000
X_5	Girasol 1	1.012	2.500
X_6	Girasol 0	0	1.500
X_7	Maíz 7	7.084	13.500
X_8	Maíz 6	6.072	13.000
X_9	Trigo D 1	1.012	5.500
X_{10}	Trigo D 0	0	4.000
X_{11}	Trigo B 1	1.012	5.500
X_{12}	Trigo B 0	0	4.000
X_{13}	Remolacha 3	3.036	60.000
X_{14}	Remolacha 2	2.024	45.000
X_{15}	Retirada	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 5

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Precio	X1 Algod 5	X4 Giras 2	X5 Giras 1	X6 Giras 0	X7 Maiz 7	X8 Maiz 6	X9 Tri duro 1	X10 Trig duro 0	X12 Trig bland 0	X13 Remolac 3	X15 Retirada
0	14,45	27,77			40,97		9,30			3,60	3,90
1	14,45	27,77			40,97		9,30			3,60	3,90
2	14,45	27,77			40,97		9,30			3,60	3,90
3	14,45	27,77			40,97		9,30			3,60	3,90
4	14,45	27,77			40,97		9,30			3,60	3,90
5	14,45	27,77			40,97		9,30			3,60	3,90
7	14,45	27,77			40,97		9,30			3,60	3,90
8	14,45	27,77			40,97		9,30			3,60	3,90
9	14,06	27,95				41,17	9,30			3,60	3,92
10	14,06	27,95				41,17	9,30			3,60	3,92
12	14,06	27,95				41,17	9,30			3,60	3,92
13	13,92					41,24	9,30			3,60	3,93
14	13,92		28,01			41,24	9,30			3,60	3,93
15	10,88		42,76			29,39	9,30			3,60	4,07
18	10,88		42,76			29,39	9,30			3,60	4,07
19	9,62			43,39		26,20	9,30			3,60	7,89
20	9,62			43,39		26,20	9,30			3,60	7,89
21	9,62			43,39		26,20	9,30	9,30		3,60	7,89
22	9,62			43,39		26,20	9,30	9,30		3,60	7,89
23	3,11			46,64		9,79			19,08	3,60	8,48
28	3,11			46,64		9,79			19,08	3,60	8,48
29	1,90			47,25					29,36	3,60	8,59
35	1,90			47,25					29,36	3,60	8,59
43	1,90			47,25					29,36	3,60	8,59
44	0,58			49,71					31,37	3,60	9,04
45	0,58			49,71					31,37	3,60	9,04
50	0,58			49,71					31,37	3,60	9,04

Nota: No se incluyen las actividades «Algodón 4» (X2), «Algodón 3» (X3), «Trigo blando 1» (X11) y «Remolacha 2» (X14) por no considerarse elegibles por el modelo para ningún precio.

Fuente: Elaboración propia.

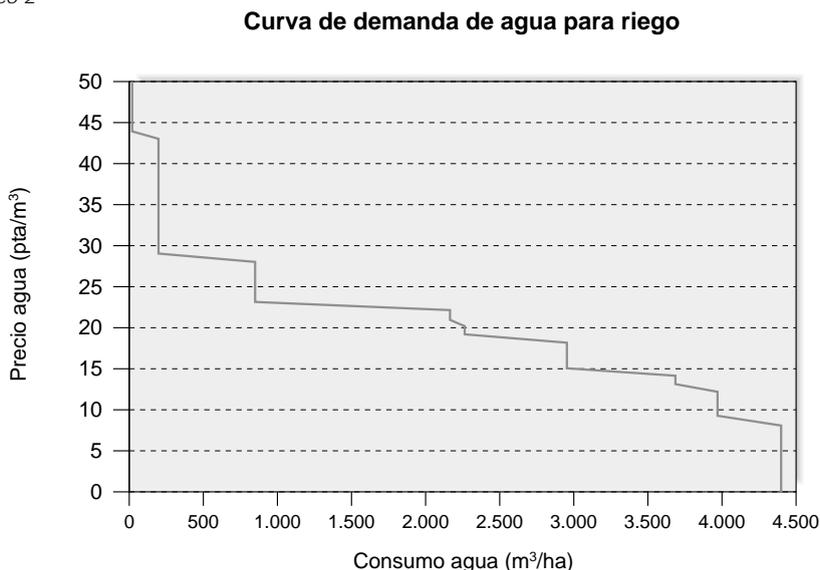
7. RESULTADOS

Procedemos ahora a mostrar los resultados del análisis de la influencia de una política de tarifas sobre agua en diversas variables relevantes de los sistemas agrarios. Para ello hemos utilizado como base la curva de demanda de agua de riego, en la que se definen claramente tres zonas dependiendo del comportamiento del agricultor. La diferenciación de dichas zonas se ha establecido mediante la elasticidad cantidad de agua consumida-precio. La variación de los parámetros estudiados en cada una de ellas estará motivada por la modificación de los planes de cultivo en función de los distintos precios del agua de riego.

7.1. Consumo de agua

Con los consumos hídricos expuestos para cada cultivo en el cuadro 4 y la simulación mostrada en el cuadro 5, podemos ya obtener los resultados acerca del consumo de agua frente al precio de la misma, tal y como se muestra en el gráfico 2. Comenzando a analizar la curva simulada desde el inicio (Precio = 0), vemos que aparece inicialmente un tramo en el que el consumo de agua permanece constan-

Gráfico 2



Fuente: Elaboración propia.

te en 4.399 m³/ha, aunque aumente su precio, ello sucede hasta que el precio del agua asciende a 8 pta/m³. Esta zona de la curva es la que denominaremos *tramo «inelástico» o tramo A*. La forma de este primer tramo de la curva es consecuencia de la invariabilidad del plan de cultivos.

A partir de que el agua valga 9 pta/m³, puede reconocerse un segundo tramo, al que denominaremos *«elástico» o tramo B*, en el que pueden apreciarse continuas disminuciones en el consumo de agua a consecuencia de verse el agricultor forzado por los aumentos del precio del agua, a variar los planes de cultivo, disminuyendo las superficies de los cultivos más consumidores de agua (maíz y algodón) en favor de los que menos consumen (trigo y girasol). Al final del tramo, el consumo se ha reducido hasta 205 m³/ha.

El tercer y último tramo de la curva, que comienza cuando el precio del agua alcanza las 44 pta/m³, se caracteriza por su inelasticidad, por lo que le llamaremos *tramo «regresivo» o tramo C*. En él el consumo de agua es casi inexistente (29 m³/ha), por lo que se podría decir que la agricultura extensiva de regadío de la CR San Rafael ha desaparecido, produciéndose girasol y trigo de secano. Lógicamente los productores no podrían ya continuar su ahorro de agua, y las superficies de cada uno de los cultivos no se verán afectadas por posteriores subidas del agua de riego.

Las variaciones acontecidas en los planes de cultivo se resumen en el cuadro 6.

Ya hemos comentado cómo se producen las modificaciones en los planes de cultivo por el descenso en el consumo de agua, motivado

Cuadro 6

VARIACIÓN DE LOS CULTIVOS

Tramo	Cultivos
A	Predomina el maíz, seguido de girasol y algodón de regadío. Trigo duro de riego en menor medida. Remolacha en regadío minoritario.
B	Descienden progresivamente las superficies de maíz y algodón. Girasol y trigo duro acaban por ser de secano. Aparece el trigo blando de secano. Se mantiene la remolacha.
C	Cultivos de secano: girasol, trigo blando y trigo duro. Desaparece la remolacha.

Fuente: Elaboración propia.

a su vez por el incremento de su precio. Se ha podido observar que cultivos como el maíz, el girasol o el trigo duro son sometidos a un número de riegos inferior al inicial, por lo que su productividad disminuye respecto a cuando el agua no era un factor limitante. A la vez que se introducen los riegos deficitarios, las superficies de cultivos más exigentes en agua como el maíz, el algodón y la remolacha, cuya explotación en secano es inviable en nuestras condiciones climáticas, disminuyen hasta desaparecer. La contrapartida a ese decremento de superficie de riego es el progresivo aumento de las superficies de cultivos característicos del secano y la retirada de tierras. Ambas causas redundan en la disminución de la producción. De ahí que se pueda afirmar que un sistema de tarificación en el agua de riego origine una disminución de la capacidad productiva de la agricultura de regadío.

7.2. Impacto económico

7.2.1. Estimación de la renta de los agricultores

La imposición de un sistema de tarificación del agua representa, en líneas generales, una considerable disminución de la renta de los agricultores. Dicha disminución está motivada tanto por el pago correspondiente al precio del agua (aumento de los costes) como por el abandono de los cultivos más rentables (disminución de los ingresos). Conforme el precio del agua aumenta en la simulación, se observa que los agricultores tienden a abandonar los cultivos que generan mayor volumen de beneficios, cultivos que a la vez suelen ser los más exigentes en agua (maíz y algodón). Esto induce a pensar que un sistema de tarificación en el agua plantearía, además de disminución en la productividad, pérdidas de renta globales en el sistema y pérdida de empleo en el medio rural, como se verá en el apartado 7.3.

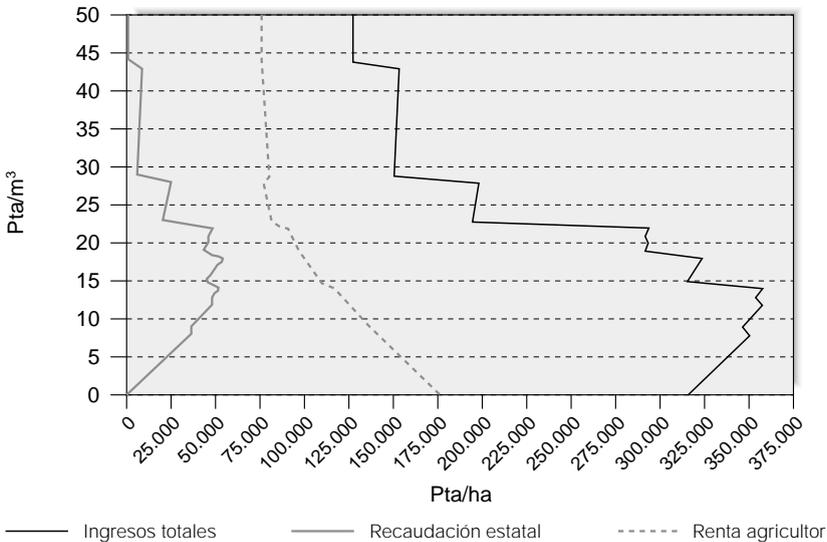
La renta del agricultor se ha estimado en la simulación mediante el margen bruto del agricultor, estrechamente ligado al precio del agua (ver gráfico 3, curva en trazo discontinuo).

7.2.2. Recaudación estatal

En la simulación realizada, como se viene indicando, se ha incluido un nuevo coste dependiente de la cantidad de agua consumida en el riego. Se trata de un pago por el agua derivado de un hipotético precio unitario expresado en pta/m³, precio público o tasa que iría destinado a la Administración Estatal u organismo que se estableciese al efecto.

Gráfico 3

Impacto económico de una política de precios al agua



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 3 se muestra la gráfica que describe las variaciones de la recaudación estatal en función del precio del agua. El comienzo de dicha curva representa un aumento de la recaudación que se relaciona directamente con la disminución de rentas de los agricultores. Es decir, en el tramo de esta curva que se corresponde con el tramo A de la curva de demanda de agua, lo que se produce es una transferencia de recursos del sector productor al erario público. Posteriormente, cuando nos adentramos en el tramo B de la curva de demanda de agua, vemos que sí se consigue disminuir el consumo de agua, pero observando la curva de recaudación, comprobaremos que las cantidades recaudadas por el Estado son inferiores a las pérdidas de renta sufridas por los agricultores, resultando un perjuicio económico para el sistema.

7.2.3. Estimación de los ingresos totales

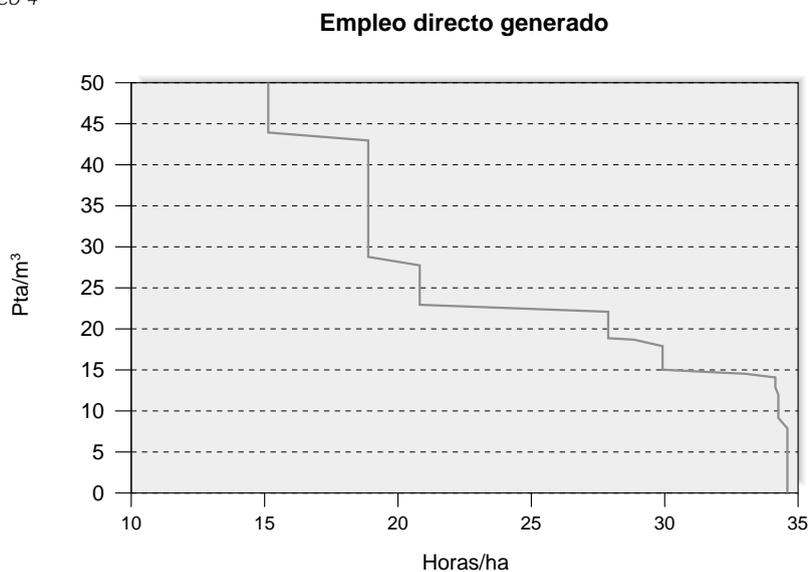
La producción final de la zona se ha estimado a través de los ingresos totales generados por el sistema (valor de las ventas, más las subvenciones y el coste del agua). Este indicador sirve para analizar el impacto económico en el conjunto de la economía rural. La curva que refleja esta variación se muestra en el gráfico 3. Aunque el inicio

de la curva refleja un ascenso en los ingresos totales generados por el sistema, al adentrarnos en el tramo que se corresponde con el tramo B o elástico de la curva de demanda, se produce un fuerte descenso de los ingresos con respecto al valor inicial, como consecuencia de sustituir cultivos más lucrativos, pero mayores consumidores de agua, por otros menos rentables.

7.3. Impacto social: empleo generado

El incremento del precio del agua produce, paralelamente a la disminución de su consumo, una importante disminución del empleo directo generado por el sector agrícola, ya que se va sustituyendo la superficie dedicada a los cultivos que más mano de obra demandan (maíz, algodón y remolacha) por cultivos con requerimientos de empleo inferiores (trigo y girasol), además de producirse un ligero aumento de la retirada de tierras. En el gráfico 4 se muestra la curva que refleja la evolución de la magnitud ahora analizada.

Gráfico 4



Fuente: Elaboración propia.

7.4. Impacto ambiental: uso de fertilizantes

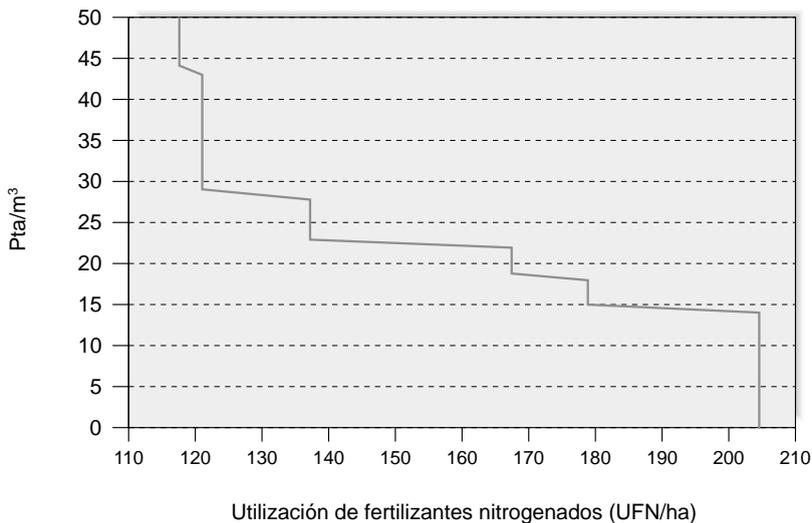
La política de tarifas sobre el agua de riego ejerce también un importante impacto sobre el medio ambiente, ya que el uso del agua está

íntimamente ligado a la intensificación de la actividad agraria. En nuestro modelo, como indicador de las externalidades negativas de la intensificación producida por el regadío, consideramos el nivel de uso de fertilizantes nitrogenados (UFN), causantes por ejemplo, de la eutrofización de aguas y salinización de suelos. Como último análisis derivado de nuestro modelo, cuantificamos el uso de fertilizantes en función del precio del agua, tal y como se muestra en el gráfico 5.

Estos resultados, conviene indicar, se han obtenido considerando un sistema cerrado, sin tener en cuenta otros posibles usos alternativos ni, por tanto, sus correspondientes costes de oportunidad. Apuntamos el análisis de los mismos en futuros estudios como complemento al presente artículo.

Gráfico 5

Uso de fertilizantes



8. CONCLUSIONES

8.1. En relación a la metodología

La metodología multicriterio seguida permite simular el comportamiento de los agricultores respecto a la demanda del agua de riego, en función de un hipotético precio. Así se consigue optimizar conjuntamente más de un objetivo: maximizar el margen bruto y mini-

mizar el riesgo. Esta metodología, además de ser simple, es reproducible, por lo que este mismo estudio puede ser realizado en otras zonas regables o incluso en la misma en un futuro, para observar la evolución de las variables analizadas, ante cambios de política agraria, etc.

8.2. Sobre los principales resultados

De los resultados obtenidos se puede concluir que no parece que la repercusión de los costes de las tarifas de agua para el regadío pueda tener un carácter disuasorio con el que reducir sensiblemente la demanda de agua en el sector, ya que la curva de demanda de agua de riego en función del precio, resulta muy inelástica, al menos en su primer tramo. Tan sólo para tarifas elevadas esta curva de demanda se vuelve algo elástica (tramo intermedio), para volver a ser inelástica para valores del agua por encima de 44 pta/m³, con la conversión a cultivos de secano.

En el caso de que llegara a aplicarse una política de precios sobre el agua de riego, las consecuencias previsibles serían de diversos tipos:

- **Económicas.** El margen bruto del agricultor ha de reducirse un 22,6 por ciento para que empiece a disminuir el consumo de agua, debido a que el agricultor sólo altera sus planes de cultivo una vez alcanzado el tramo elástico o intermedio de la curva de demanda de agua, y para entonces el agua alcanzaría un precio de 9 pta/m³. Ello afectaría a la renta agraria y a la competitividad de la agricultura de regadío.
- **Agronómicas.** La política de precios puede provocar la desaparición de los principales cultivos de regadío del Valle del Guadalquivir (maíz, algodón e incluso de la remolacha) para precios elevados. Con ello se incrementa el riesgo económico y técnico por depender la agricultura de un número inferior de cultivos alternativos.
- **Sociales.** Cuando los cultivos más demandantes de agua, como son el algodón, el maíz y la remolacha, ven reducidas sus posibilidades y superficie de cultivo, se genera una pérdida de empleo en el sector agrícola, además de las consiguientes repercusiones en las industrias asociadas a tales cultivos.
- **Medioambientales.** Al elevarse el precio del agua se sembraría trigo y girasol de secano en detrimento de las superficies de algodón y maíz, con lo cual disminuiría ampliamente el uso de fertilizantes nitrogenados y de productos fitosanitarios, causantes de los problemas de contaminación difusa y salinización. Pero este beneficio

es de difícil cuantificación, pues también se produciría un menor lavado del medio por la disminución en el volumen de agua de riego. Probablemente se podría conseguir ese mismo beneficio de forma más eficiente, a través de medidas de extensión agraria mediante la formación de los agricultores (Domínguez, 1997).

Todas estas conclusiones ponen de manifiesto la inadecuación de la propuesta de Directiva Marco de la UE en materia de aguas, que considera la repercusión íntegra de los costes a los usuarios del recurso. En el caso agrario, las consecuencias sociales de la gestión del agua no quedan lo suficientemente reflejadas en la Directiva, ya que ésta omite el valor estratégico del agua en países como el nuestro, donde su escasez e irregularidad obliga a invertir en actuaciones que compensen los efectos de las sequías y avenidas, que garanticen los abastecimientos o que promuevan el desarrollo económico de zonas rurales.

9. PROPUESTA DE SISTEMA DE TARIFACIÓN

A la luz de los resultados obtenidos se realiza la siguiente propuesta con el fin de inducir la inversión de los agricultores en mejoras de eficiencia del uso del agua. Ésta consiste en aplicar una pequeña tasa adicional al agua de riego, en torno a las 2 pta/m³, no con carácter de ingreso para el Estado, sino con el fin de que las CRs aumentaran la recaudación con la que mejorar las infraestructuras de riego.

En el cuadro 7 se muestran las repercusiones de aplicar tal tasa en el caso estudiado. Con la tasa propuesta, la recaudación de la CR aumentaría en torno al 15 por ciento, mientras que el consumo de agua permanecería invariable a corto plazo, al igual que el nivel de empleo agrícola, por no producirse modificación en los planes de cultivo. La renta del agricultor se vería mermada tan «sólo» en un 5 por ciento. Se trataría de una tarifación del agua en la primera zona

Cuadro 7

SITUACIÓN ANTERIOR Y POSTERIOR A APLICAR UNA TASA AL AGUA DE 2 PTA/M³

Situación	Precio agua (pta/m ³)	Consumo (m ³ /ha)	Empleo (horas/ha)	Renta agricul. (pta/ha)	Recaudación (pta/ha)
Actual	0	4.399,4	34,6	175.982,3	49.001,3
Propuesta	2	4.399,4	34,6	167.183,5	57.800,1

Fuente: Elaboración propia.

inelástica de la curva, que como se ha visto, no produce ningún tipo de problema (disminución de la capacidad productiva, rentas o empleo agrario). Tan sólo se produce una transferencia de recursos hacia la CR que potenciaría la eficiencia de las conducciones de agua, con el consiguiente beneficio económico y social.

Esta propuesta no coincide con los objetivos de la Directiva Marco de la UE sobre Política del Agua, la cual pretende que, para el año 2010 los Estados miembros garanticen la recuperación íntegra de todos los costes del uso del agua, incluyendo los derivados de la construcción y mantenimiento de infraestructuras. No obstante, ésta sí supone un primer paso en lo que se refiere a imputación de costes por el consumo de agua por parte de los agricultores, además de promover la financiación de una política de mejora de infraestructuras de riego (mejora de la eficiencia técnica del riego).

BIBLIOGRAFÍA

- AEUCKENS, V. (1997): «Australia: Strategic framework for the reform of Australia's water industry: Australia's experience». *OECD Workshop on the sustainable management of water in agriculture: issues and policies*. Directorate for Food, Agriculture and Fisheries, and Environmental Directorate, Atenas, nov. 3-6.
- BALLESTERO, E. y ROMERO, C. (1994): «Utility Optimization When The Utility Function Is Virtually Unkonwn». *Theory And Decision*, 37: pp. 233-243.
- BALLESTERO, E. y ROMERO, C. (1998): *Multiple Criteria Decision Making and its Applications to Economic Problem*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- BERBEL, J.; JIMÉNEZ, J. F.; SALAS, A.; GÓMEZ-LIMÓN, J. A. y RODRÍGUEZ, A. (1999): *Impacto de la Política de Precios del Agua en las Zonas Regables y su Influencia en la Renta y el Empleo Agrario*. Federación Nacional de CR de España, Madrid.
- DOMÍNGUEZ VIVANCOS, A. (1997): *Tratado de fertilización*. Mundi-Prensa. Madrid.
- GARRIDO, A. (1998): *Study Of Water Pricing Practices in the OECD Agricultural Sector*. OCDE, París.
- GÓMEZ-LIMÓN, J. A. y BERBEL, J. (1995): «Aplicación de una metodología multicriterio para la estimación de los objetivos de los agricultores del regadío cordobés». *Investigación Agraria: Economía*, 10: pp. 103-123.
- GRIEG, J. (1997): «Some practical perspectives on water pricing reform from an agricultural viewpoint. OECD Workshop on the sustainable management of water in agriculture: issues and policies». *Directorate for Food, Agriculture and Fisheries, and Environment Directorate*, Atenas, nov. 3-6.
- HALL, D. C. y HANEMANN, W. M. (1996): «Water Rate Design Based on Marginal Cost». En (Hall, D.C./Ed.) *Advances in The economics og*

- Environmental Resources*. Vol. 1. *Marginal Cost rate Design and Wholsale Water Markets*, JAI Press, Greenwich, Connecticut: pp. 95-122.
- HAZELL, P. B. (1971): «A Linear Alternative To Quadratic And Semivariance Programming In Farm Under Uncertainly». *American Journal of Agricultural Economics*, 53: pp. 53-62.
- MONTGINOUL, M. (1997): France. En (Dinar, A. y A. Subramanian Eds.) *Water Pricing Experiences. An International Perspective*. World Bank Technical Paper, 386, Washington, D.C.
- MUSGRAVE, W. (1996): *The irrigation industry in the Murray-Darling Basin and aspects of its reform*. Trabajo presentado al 40th Australian Agricultural Economics Conference. Melbourne, february.
- REDAUD, J. L. (1997): «Indicators to measure the impact of agriculture on water use pricing and cost of water services». *En OECD Workshop on the sustainable management of water in agriculture: issues and policies*. Directorate for Food, Agriculture and Fisheries and Environment Directorate, Atenas, nov. 3-6.
- ROMERO, C. y REHMAN, T. (1989): *Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decision*. Elsevier, Amsterdam.
- ROMERO, C. (1991): *Handbook of Critical Issues in General Programming*. Pergamon Press, Oxford.
- ROMERO, C. (1993): *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*. Alianza Editorial, Madrid.
- SPULBER, N. y SABBAGHI, A. (1994): *Economics of Water Resources: From Regulation to Privatization*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- SUMPSI, J. M.; AMADOR, F. y ROMERO, C. (1993): «A Research On The Andalusian Farmers' objectives: Methodological Aspects And Policy Implications. VIIth EAAE Congress, Stresa Italy, Vol. D.
- SUMPSI, J. M.; AMADOR, F. y ROMERO, C. (1995): «On Farmers' objectives: A Multicriteria Approach». *European Journal Of Operational Research*, Vol 96 (1): pp. 64-71.
- SUMPSI, J. M.; GARRIDO, A.; BLANCO, M.; VARELA, C. e IGLESIAS, E. (1998): *Economía y Política de Gestión del Agua en la Agricultura*. Ed. Secretaría General Técnica del M.A.P.A. y Ediciones Mundi-Prensa.

RESUMEN

Obtención de la curva de demanda de agua de riego generada por una hipotética política de tarifas sobre el agua

En este artículo se estima la curva de demanda de agua de riego en un sistema de regadío a través de la Teoría de Decisión Multicriterio. Para ello, previamente se obtiene la función de utilidad que los agricultores tratan de optimizar, la cual engloba más de un objetivo simultáneamente (maximización del beneficio y minimización del riesgo). Mediante la función de utilidad se realiza una simulación de las decisiones eficientes de cultivo que establecerían los agricultores en el supuesto de aplicarse una política de tarifas sobre el agua de riego. Así se van obteniendo pares de valores (demanda de agua, precio del agua) en fun-

ción del agua requerida por cada plan de cultivos, que configurarán la curva de demanda de agua de riego. Con la misma metodología se podrá cuantificar los impactos económico, social y ambiental producidos por dicha política de tarifas.

PALABRAS CLAVE: Economía del agua, política de precios del agua, impacto socioeconómico y medioambiental, toma de decisiones multicriterio, programación por metas.

SUMMARY

An irrigation water demand function obtained from an hypothetical water pricing policy

In this article the irrigation water demand curve is estimated by the Paradigm of Multicriteria Decision Making. First of all we have got a utility function that farmers try to maximize and that includes several objectives (profit maximization and risk minimization). By using the utility function we can simulate the efficient decisions of crop set up by farmers in case that a water pricing policy were applied. Thus, pairs of values are established (demanded quantities, water price) in function of the quantity of water consumed by crops, wich conform to the irrigation water demand curve. Through this methodology is also possible to evaluate, in quantitative terms, the economic, social and environmental impacts of the mentioned water pricing policy.

KEYWORDS: Water Economy, water pricing policy, socio-economic and environmental impact, multi-criteria decision making, goal programming.