

ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL CAMBIO DE TECNOLOGÍA DE RIEGO EN UNA COMUNIDAD DE REGANTES

M^a José López Baldovín y Julio Berbel Vecino

Dpto. de Economía, Sociología y Política Agrarias. Universidad de Córdoba

Resumen

En este trabajo se analizan los efectos producidos por el cambio de tecnología de riego en una Comunidad de Regantes sobre la eficiencia en el uso del agua. Para ello se comparan las curvas de demanda de agua de riego correspondientes a dos periodos de años diferentes en dicha comunidad, en los que se han utilizado dos sistemas de riego: aspersión y goteo. La metodología seguida en el análisis es la programación matemática no lineal multicriterio, con la que se ha obtenido una función de utilidad que refleja matemáticamente la actitud de los agricultores, y que se optimizará posteriormente bajo diferentes niveles de hipotéticos precios del agua, posibilitando así la obtención de las curvas de demanda de agua correspondientes a diferentes tecnologías de riego. El estudio muestra que los agricultores están invirtiendo en sistemas de riego ahorradores de agua, pero motivados más por la mayor productividad del agua que proporciona el riego por goteo y por la escasez de mano de obra agrícola de la zona, que por el pago de una tarifa en el agua de riego. Concluimos que el cambio tecnológico es beneficioso a los precios actuales del agua, pero en caso de aplicarse una política de tarifas al agua, la demanda de agua podría hacerse inelástica a largo plazo en zonas donde los sistemas de riego más eficientes han sido ya implantados, debido a que la mayor productividad del agua supera a los costes marginales con este tipo de tecnología de riego.

1. Introducción

1.1. La Directiva Marco del Agua (DMA)

La Política Europea de Aguas, integrada en la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en materia de aguas, representa un profundo cambio en la gestión de este recurso, especialmente en lo referido a cooperación, transparencia y participación en la gestión del agua, aspectos nuevos en la política de la mayoría de los países miembros. Concretamente, según se establece en esta normativa, los estados miembros están obligados a no deteriorar la calidad de las aguas comunitarias, con el objeto de que el estado ecológico de las mismas alcance un buen estado en el año 2015. Para ello éstos deberán poner en vigor una serie de disposiciones legales, reglamentarias y administrativas, a más tardar antes de finales de 2003 (art. 24). Para alcanzar este objetivo, la DMA propone que se deberá tener en cuenta el principio de la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, y en particular de conformidad con el principio de “quien contamina paga” (art. 9). Esta novedad legislativa deja recaer la responsabilidad sobre los Estados Miembros, obligándoles a introducir nuevas y superiores tarifas al agua de riego, política que tendrá un notable impacto para el sector agrícola. Para que dicho sector pueda afrontar las nuevas circunstancias que implican la mencionada tarifación propuesta por la DMA, se hace necesaria la introducción de tecnologías de riego más eficientes, que con un menor consumo de agua, obtengan una mayor rentabilidad de las explotaciones agrícolas de regadío.

1.2. Objetivo del estudio

Nuestro objetivo es analizar los cambios ocurridos en la curva de demanda de agua de riego de una Comunidad de regantes (C.R.) como consecuencia de la introducción del sistema de riego por goteo, sustituyendo al riego por aspersión. Estudiaremos los cambios ocurridos tanto desde un punto de vista técnico como económico.

2. Metodología

Existen diversos estudios en el sector agrario que ratifican que los agricultores consideran simultáneamente varios objetivos en su toma de decisiones. De ahí que se haya decidido analizar el problema económico que nos ocupa dentro del Paradigma Decisional Multicriterio. Al lector interesado en la estructura teórica de la metodología seguida, se le remite a los trabajos de Ballester y Romero (1998), Berbel y Rodríguez (1998) o Gómez-Limón y Berbel (2000), como aplicaciones en la agricultura.

Dicha metodología se empleará para estimar una función de utilidad que simule el proceso de toma de decisiones de producción de los regantes. El comportamiento optimizador por parte del conjunto de agricultores, será el que nos permita llevar a cabo una simulación con precios crecientes del agua de riego. Lógicamente, los diferentes escenarios de precios del agua planteados originarán sus correspondientes planes de cultivo, que generarán una demanda de agua de riego determinada. Los pares de valores (cantidad de agua de riego demandada, precio del agua) obtenidos configurarán la curva de demanda de agua de riego, la cual nos permitirá analizar la influencia de una política de precios en el agua de riego, sobre diversas variables y para distintos sistemas de riego. Brevemente, la metodología utilizada en la obtención de la función de demanda de agua puede resumirse como sigue:

1. Se establecieron una serie de objetivos supuestamente perseguidos por el agricultor, basándonos en la revisión bibliográfica y realización de encuestas.
2. Se determinó la matriz de pagos correspondiente a los objetivos seleccionados.
3. Se utilizó esta matriz para estimar el conjunto de ponderaciones de cada uno de los objetivos, constituyendo así la función de utilidad que refleja las preferencias de los agricultores en la situación óptima.

El primer paso de nuestro análisis consiste por tanto, en definir el conjunto de objetivos $f_1(X)$... $f_i(X)$... $f_n(X)$ que pretenden representar las metas de los agricultores (por ejemplo, maximización del beneficio, minimización del riesgo o minimización de la complejidad de la gestión). Una vez se han definido los objetivos, el segundo paso consiste en calcular la matriz de pagos, de acuerdo a la siguiente formulación:

	$f_1(X)$	$f_2(X)$ $f_i(X)$ $f_q(X)$	
$f_1(X)$	f_{11}^*	f_{12}	f_{1i}	f_{1q}	[1]
$f_2(X)$...	f_{21}	f_{22}^*	
... $f_i(X)$...	f_{i1}	...	f_{ii}	...	
... $f_q(X)$	f_{q1}	f_{qj}^*	

Los elementos se calcularon a través de la optimización por separado de cada uno de los objetivos especificados en cada columna. Por tanto, f_{ij} es el valor del i -ésimo atributo cuando el j -ésimo objetivo es optimizado. Una vez obtenida la matriz de pagos, resolvimos el siguiente sistema de q (número de objetivos) ecuaciones:

$$\sum_{j=1}^q w_j f_{ij} = f_i \quad i=1,2,\dots,q; \quad \text{y} \quad \sum_{j=1}^q w_j = 1 \quad [2]$$

donde f_{ij} son los elementos de la matriz de pagos y f_i es el valor alcanzado por el i -ésimo objetivo de acuerdo con la distribución de cultivos observada. Si el sistema de ecuaciones no encuentra

un conjunto solución de w (ponderaciones de los objetivos que representan el comportamiento real del agricultor), es necesario recurrir a la búsqueda de la mejor solución posible. Para cumplir este propósito, se puede utilizar la programación por metas ponderadas con variables porcentuales de desviación (Romero, 1991). La solución se obtiene resolviendo el siguiente programa lineal (Modelo [3]):

$$\begin{aligned} & \text{Min } [(n_1 + p_1)/f_1 + \dots + (n_i + p_i)/f_i + \dots + (n_q + p_q)/f_q] \\ & \text{Sujeto a:} \\ & \begin{array}{cccccccc} w_1 f_{11} + & \dots & + w_i f_{1i} + & \dots & + w_q f_{1q} & + n_1 & - p_1 & = & f_1 \\ w_1 f_{i1} + & \dots & + w_i f_{ii} + & \dots & + w_q f_{iq} & + n_i & - p_i & = & f_i \\ w_1 f_{q1} + & \dots & + w_i f_{qi} + & \dots & + w_q f_{qq} & + n_q & - p_q & = & f_q \\ w_1 + & \dots & + w_i + & \dots & + w_q + & & & = & 1 \end{array} \end{array} \quad [3]$$

donde p_i es la variable de desviación positiva (por ejemplo, el grado de realización del i -ésimo objetivo respecto a una determinada meta), y n_i es una variable de desviación negativa que mide la diferencia entre el valor real y la solución dada por el modelo para el i -ésimo objetivo).

Con el algoritmo propuesto obtuvimos una expresión que representa las preferencias de los productores del área estudiada, los cuales, en teoría, tratan de maximizar la función de utilidad cuando toman una decisión (por ejemplo, plan de cultivos). El plan de cultivos variará adaptándose al valor creciente de un hipotético precio del agua, que será parametrizado con el fin de obtener una curva de demanda de agua de riego.

Tras este proceso se obtuvo la curva de demanda de agua correspondiente a una CR en el periodo de años 1993-1997, y se obtuvo una segunda curva para el trienio 1998-2000, con el fin de ver las diferencias provocadas por el cambio tecnológico ocurrido. Para obtener esta segunda curva de demanda de agua de riego se realizó una segunda simulación con precios crecientes del agua, utilizando la misma función de utilidad que en el periodo anterior a 1997. La utilización de la misma función de utilidad se debe a la hipótesis de que los agricultores de la CR siguen siendo los mismos en ambos periodos de tiempo y no parece razonable pensar que hayan cambiado sus preferencias en cuanto a la importancia dada a cada uno de sus objetivos. La razón de haber calculado dos curvas de demanda para una CR, es que la primera curva obtenida es una función en el corto plazo, procedente de un modelo de programación matemática multicriterio, que permite el cambio de cultivos, pero no el cambio tecnológico, de ahí que se haya sido necesario calcularla nuevamente en el segundo periodo de años.

Para poder comparar ambas funciones ha sido necesario obtener los costes, precios, rendimientos, subvenciones recibidas y mano de obra necesitada por cada uno de los cultivos en cada uno de los periodos considerados, puesto que el cambio de sistema de riego ha implicado diferencias en los rendimientos de los cultivos, en las necesidades de mano de obra requeridas por los mismos, y por tanto en los márgenes brutos obtenidos por los cultivos.

También han ocurrido cambios de política agraria entre ambos periodos, que se han reflejado en las restricciones de los modelos, y por tanto en las curvas de demanda. Por ejemplo, en el primer periodo existía una restricción para el girasol, que evitaba que su superficie superase el 50% de los cultivos COP (cereales, oleaginosas, proteaginosas) a nivel de finca. Dicha restricción desapareció. O mientras en el primer periodo sólo existía retirada obligatoria de tierras, en el segundo periodo existe también la retirada voluntaria.

Por último, se actualizaron los valores de los datos económicos del modelo correspondiente al primer periodo estudiado, a precios del año 2000, para poder llevar a cabo la comparativa de los modelos. Para ello se utilizó el Índice de precios pagados por el agricultor (IPPA).

3. Área de estudio

La metodología se aplicó en la CR de Fuente Palmera (Córdoba). La zona de estudio tiene 5.250 hectáreas, con precipitaciones medias de 550 mm y temperatura media anual en torno a los 18°C. Predominan los cultivos herbáceos extensivos, siendo tradicional el cultivo del algodón en la zona, y aunque hasta hace poco era el cultivo principal, la tendencia reciente es disminuir su superficie en favor de otros cultivos más competitivos. En la Tabla 1 se muestra la distribución media de cultivos en los dos periodos que estudiados.

Tabla 1. Distribución superficial media de cultivos en Fuente Palmera (%)

Cultivo	Periodo con aspersión Anteriormente a 1997	Periodo con goteo Posteriormente a 1997
Algodón	29,7	20,3
Trigo	27,2	15,7
Girasol	27,8	24,2
Maíz	0	10,2
Hortalizas	0,2	1,8
Cítricos	2,2	5,2
Olivos	3,4	15,8
Retirada	9,5	6,8
Total	100	100

Fuente: C.R. Fuente Palmera (años 1993-2000)

Esta comunidad es una de las más modernas en cuanto a sistema de riego, estimándose la eficiencia del transporte del agua en torno al 92%. Se encuentra entre 50 y 110 metros sobre la lámina del río, por lo que el coste energético resulta de los más altos del Valle del Guadalquivir. Anteriormente a 1997, la tecnología de riego imperante era la aspersión, pero posteriormente se cambió progresivamente de sistema de riego para casi todos los cultivos, exceptuando el trigo y el girasol. Este cambio ha inducido una serie de efectos en el nivel de rentas y empleo, en el paisaje de la CR, e incluso en los rendimientos medios de los cultivos, debido a que el riego por goteo proporciona un mayor rendimiento aplicando menor cantidad de agua (Cetin & Bilgel, 2002) y disminuye las necesidades de mano de obra agrícola en los cultivos, recurso que escasea en la zona.

4. Planteamiento del modelo multicriterio

Pasamos a definir nuestro modelo, si bien una explicación más detallada se puede hallar en Cañas *et al.* (2000) y en Gómez-Limón y Berbel (2000).

4.1. Variables de decisión

Las variables de decisión del modelo (X_i), las constituyen las posibles superficies asignadas a cada cultivo con cada tipo de sistema de riego. Dada la naturaleza exploratoria del modelo, la simulación se hizo teniendo en cuenta únicamente cultivos herbáceos.

4.2. Objetivos

La programación multicriterio permite aproximar matemáticamente las ponderaciones que reciben los objetivos, simulando el proceso mental del agricultor. Los objetivos se han elegido basándonos en estudios previos a éste (Sumpsi *et al.*, 1993; Berbel y Rodríguez, 1998).

a. Maximización del margen bruto (MB).

El MB sirve de estimador de la renta obtenida por el agricultor. Al tratarse de un estudio en el corto plazo, se corresponde con la maximización del beneficio. Se ha obtenido para cada cultivo la media de los MB de las diferentes campañas expresadas en € constantes de 1997 y 2000 (MB_i), en cada uno de los periodos considerados en el estudio.

$$MB = \sum_{i=1}^q MB_i * X_i \quad [4]$$

b. Minimización del riesgo.

La producción agrícola está sujeta a fluctuaciones en los precios y en los rendimientos, por lo que el riesgo está siempre presente. Por tanto, la toma de decisiones no sólo tiene en cuenta el objetivo de maximización del beneficio, como propone la Economía clásica, sino que debe considerar el riesgo implícito en el plan de cultivos seleccionado. Las bases de datos desarrolladas durante los periodos 1993/1997 y 1998/2000 fueron utilizadas para introducir el riesgo en términos de varianza del MB esperado, matemáticamente:

$$\text{Total Risk} = \bar{x}_i' [\text{cov}] \bar{x}_i \quad [5]$$

donde [cov] es la matriz de varianza/covarianza del margen bruto (a € constantes del año 2000) y X_i es el vector de superficies de cultivo (en hectáreas). Con ello el riesgo puede verse reducido mediante la diversificación de los cultivos cuya covarianza sea negativa.

4.3. Restricciones

a. *Utilización de la superficie total.* Se supone que la suma de la superficie útil de todos los cultivos (X_i) es igual a cien hectáreas.

b. *Limitaciones de Política Agraria.* De acuerdo a la PAC, se incluye la superficie de retirada (SA) como una superficie de cultivo más.

$$\sum X_i + SA = 100 \quad [6]$$

La retirada de tierras es obligatoria en ambos periodos de tiempo considerados. Es como mínimo un 10 % de la superficie de cultivos COP, siendo esta restricción válida para los dos modelos creados en ambos periodos. Hay otra restricción referente al límite superior de la superficie de retirada: un 15% de la superficie total para el primer periodo de tiempo considerado y un 20 % en el segundo (en este último periodo existe retirada de tierras voluntaria además de la obligatoria).

El cultivo de la remolacha está restringido por la cuota histórica asignada a cada agricultor. A nivel regional, dicha cuota (en el periodo 1992/93–1996/97) es obviamente el límite superior. Tal restricción ha sido incluida en el primer modelo pero no en el segundo, porque el cultivo ha desaparecido. La restricción para el girasol a nivel de finca, por la que la superficie sembrada ha de ser inferior al 50% de los cultivos COP, es aplicable sólo en el primer periodo, habiendo desaparecido tal política. Otra restricción de esta índole es la limitación de la superficie sembrada de trigo duro (la subvencionable por la UE).

c. Sucesión y frecuencia de cultivos

Agrónomicamente no es aconsejable sembrar un cultivo tras de sí, de ahí que se practique la rotación de cultivos. Las rotaciones consideradas se han hecho atendiendo a las practicadas

por los agricultores de la CR, a raíz de las encuestas realizadas a los mismos. Para simplificar la representación en el modelo, se ha restringido la superficie de cada cultivo en un 50% del área total, como máximo, excepto en el caso del espárrago. El espárrago no es un cultivo anual, sino que permanece en la misma porción de tierra durante aproximadamente ocho años, tras los cuales se recomienda dejar descansar la tierra durante tres años. La restricción de frecuencia relativa a esta consideración es la siguiente:

$$X_i = \text{Asparagus} \leq \frac{m}{m+n} S = \frac{8}{8+3} 100 = 72,7 \quad [7]$$

d. *Limitaciones de mercado para hortalizas y leguminosas.*

Algunos cultivos no están restringidos por la política agraria, pero los canales de comercialización pueden representar una limitación a corto plazo. Es el caso del espárrago y las habas. Hemos decidido fijar el límite para estos cultivos con la superficie cultivada máxima observada durante el periodo 1992/93 – 1999/2000.

Toda esta información ha sido incluida en el modelo que servirá de apoyo a la posterior simulación multicriterio.

5. Resultados y discusión

5.1. Matriz de pagos

Tras la optimización por separado de los diferentes objetivos se obtuvo la siguiente matriz.

Valores alcanzados	Matriz de Pagos		Realidad
	MB	VAR	
MB	13.451.195	10.285.849	12.492.596
VAR	674.054	106.875	443.721

Con ella calculamos las ponderaciones de cada uno de los objetivos. Esta matriz será válida también para el segundo periodo de tiempo, porque establecemos la hipótesis de que las preferencias de los agricultores no han tenido por qué cambiar en este plazo de tiempo.

5.2. Programación por metas ponderadas

Una vez resuelto el modelo propuesto, se obtuvieron las siguientes ponderaciones para los diferentes objetivos:

$$W_1 \text{ (maximizar el margen bruto)} = 0,5939$$

$$W_2 \text{ (minimizar el riesgo)} = 0,4061$$

De estos resultados se deduce que a nivel agregado los agricultores de la CR de Fuente Palmera minimizan el riesgo (VAR) con un peso aproximado de 0,40 y maximizan el margen bruto (MB) con un peso aproximado de 0,60. Por tanto, el comportamiento revelado por los agricultores a nivel agregado queda subrogado por una función de utilidad del tipo:

$$U = 59,39\% \text{ MB} - 40,61\% \text{ VAR} \quad [8]$$

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:

$$U = 0,01876 \text{ MB} - 0,07160 \text{ VAR} \quad [9]$$

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. La aceptación de estos supuestos la consideramos plausible, habida cuenta que los objetivos considerados son utilitariamente independientes (Ballester y Romero, 1998).

5.3. Simulación del comportamiento de los agricultores

Tras asegurarnos que los modelos representan fielmente la toma de decisiones de los regantes, procedimos a estimar las funciones de demanda de agua pertenecientes a ambos periodos de tiempo. Para ello, se realizó la simulación de la reacción de los productores agrarios frente a precios crecientes del agua de riego en el modelo planteado para ambos periodos. Pero en esta simulación, es necesario realizar algunos ajustes respecto al modelo original:

1. La función a optimizar (maximizar) será la función de utilidad U expuesta en [9].
2. El margen bruto correspondiente a cada cultivo incluirá un coste extra en concepto de precio pagado por el agua.
3. En el primer periodo el sistema de riego es la aspersión y en el segundo es el goteo.

Tabla 2: Rendimientos medios, costes y márgenes brutos pertenecientes a la C.R. Fuente Palmera

<i>93-97 (aspersión)</i>						
	Algodón	Trigo duro	Girasol	Espárrago	Remolacha	
Rendimiento (kg/ha)	3.290	3.175	1.917	5.166	45.534	
CosteVariable (€/ha)	2.026,73	511,22	376,71	5.379,54	1.511,33	
MB (€/ha)	1.059,12	1.176,65	565,58	3922,18	832,55	
<i>1998-2001 (predomina el goteo)</i>						
	Algodón	Trigo duro	Girasol	Espárra- go	Habas	Maíz
Rendimiento (kg/ha)	3.671	3.259	2.090	5.500	3.567	12.346
CosteVariable (€/ha)	1.722,26	511,22	376,71	5.136,16	943,59	1.339,78
MB (€/ha)	1.597,50	1.011,84	831,94	4.454,03	1.089,8	1.597,50

*Todos costes variables y MB precios están en € de 2000

Fuente: Elaboración propia

La diferencia de rendimientos medios, costes variables y márgenes brutos correspondientes a cada uno de los cultivos para cada periodo considerado se muestran en la Tabla 2. Destaca el aumento de los márgenes brutos del algodón y espárrago en el segundo periodo, debido tanto a la disminución de las necesidades de mano de obra contratada como al incremento de los rendimientos. También merece un comentario la aparición del cultivo de las habas y del maíz, que no estaban presentes en la distribución de cultivos del periodo anterior. Hay que señalar que en el trigo y el girasol no ha habido cambio de tecnología de riego, puesto que sus márgenes brutos no alcanzan a compensar suficientemente la inversión necesaria para instalar los goteros.

La evolución de la aspersión al goteo representa una inversión media de sólo unos 1.202,02 € / ha (unas 200.000 pesetas por hectárea) para los agricultores de la zona, porque la inversión inicial (hidrantes, etc) había sido ya realizada cuando se implantó la aspersión. Estas modificaciones van a servir para explicar los cambios que suceden en la curva de demanda de agua del primer periodo con respecto a la calculada para el segundo periodo, cambios que se

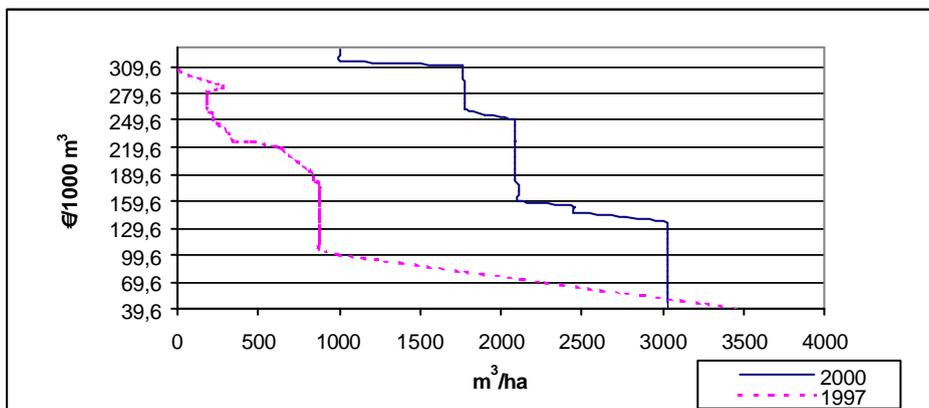
deben a la sustitución del sistema de aspersión por el de goteo. Esta última tecnología resulta ser ahorradora de mano de obra y de agua a los precios actuales, lo que ha repercutido favorablemente en los márgenes brutos obtenidos por los agricultores.

La simulación consiste en parametrizar el precio del agua (equivalente en este trabajo al coste variable del recurso, compuesto por el coste de la energía para el bombeo, más un hipotético precio imputable al valor del recurso en sí), comenzando por 39,6 €10³ m³ (6,6 pts/m³), valor correspondiente a la tarifa eléctrica pagada actualmente en función del volumen consumido, a la que se le ha ido sumando un coste de crecimiento progresivo. Este precio multiplicado por el volumen consumido es incorporado al coste variable del cultivo que utiliza el recurso y que es introducido en el modelo para calcular los márgenes brutos. De esta manera se obtiene una distribución de cultivos eficiente para cada precio del agua, y asociado a ella, un volumen de agua consumida. Con estos puntos se conforma la curva de demanda de agua. Esta parametrización se realizó en cada uno de los periodos de tiempo considerados.

5.4. Análisis de la curva de demanda con diferentes tecnologías de riego

Los resultados de las simulaciones anteriormente mencionadas, se muestran el gráfico 1. Como podemos ver, la curva de demanda a corto plazo obtenida cuando el sistema de riego predominante es el goteo (periodo 1998 - 2001), es más inelástica que la curva calculada para el periodo previo, en el que el riego era por aspersión (hasta 1997). Esa inelasticidad de la curva refleja la persistencia de los agricultores por mantener la distribución inicial de cultivos (la correspondiente a cuando el coste variable del agua sólo se debe al coste energético, como ocurre actualmente), a pesar del incremento en el precio (coste variable) del agua. Es decir, el mayor valor añadido de los cultivos actuales cubre ese incremento del coste variable hasta que el agua alcanza un determinado nivel de precios, momento en el que la curva se hace elástica.

Gráfico 1: Funciones de demanda de agua en la C.R. Fuente Palmera



Fuente: Elaboración propia

¿Por qué se ha producido un cambio tecnológico en el sistema de riego?. Dicho cambio ha sucedido al nivel actual de precio (coste variable) del agua, es decir, a 39,6 €10³ m³, y ha tenido lugar porque el cambio de tecnología produce un pequeño ahorro en el consumo de agua, a la vez que los rendimientos de los cultivos se ven ligeramente aumentados y los requerimientos de mano de obra disminuidos.

Algunos resultados obtenidos de la parametrización se presentan en la Tabla 3. Estos datos procedentes de la simulación tienen una serie de consecuencias que merecen algunos comentarios. En primer lugar, conviene recalcar que el precio actual del agua es cero, y en consecuencia su coste variable es de 39,6 €10³ m³ (ó 0,0396 €/m³), equivalente al coste real

pagado en la actualidad en concepto de tarifa eléctrica. A dicho precio, el consumo de agua se ha reducido en un 12,5% respecto al anterior periodo como consecuencia del cambio tecnológico, a la vez que se produce un incremento de la renta del agricultor de un 23,5%. En cambio, el nivel de empleo necesario ha descendido en un 23,2%. Ello se debe a la mejora de la renta que el agricultor ha experimentado cambiando la distribución de cultivos, puesto que la superficie dedicada a algodón ha disminuido en un 17,2 %, para dar entrada a otros cultivos como el maíz y las habas, al tiempo que la superficie de espárrago ha aumentado, pasando de representar un 0,2% de la superficie de la comunidad, a un 2,5%. Además, el girasol ha disminuido en un 4% su superficie y el cultivo de la remolacha, existente en el periodo de la aspersión, ha desaparecido. El cultivo del espárrago se ve frenado probablemente por la escasez de mano de obra agrícola, viéndose relegado a explotaciones pequeñas, donde el agricultor y su familia son la principal fuente de mano de obra.

Veamos qué ocurre cuando se aplica una tarificación al agua, es decir cuando se empieza a cobrar por el agua un precio adicional al coste energético. Cuando el precio del agua se eleva en 6 € por 1.000 metros cúbicos, alcanzando el nivel de 45,6 €/10³ m³ (es decir, una peseta por metro cúbico), el consumo de agua del periodo más reciente sigue siendo menor respecto al del periodo anterior, mientras que la renta del agricultor es casi un 25% mayor. Pero cuando se sobrepasa el punto de corte de las dos curvas, (0,05 €/m³ ; 3.026 m³/ha), el consumo de agua del periodo actual con riego por goteo pasa a ser mayor que en el anterior periodo con riego por aspersión. porque la correspondiente curva de demanda de agua es mucho más inelástica, con lo que el agricultor puede soportar precios más altos para el agua y sigue consumiéndola para regar. De hecho, si observamos la curva de demanda de agua para el periodo actual con riego por goteo, el agricultor no modificaría su distribución inicial de cultivos hasta que el precio del agua alcanza los 141 €/10³ m³ (17 pesetas/ m³), momento en que retrocede la superficie sembrada de maíz para dar paso a un aumento en la superficie de girasol.

Tabla 3: Demanda y coste del agua, nivel de renta del agricultor y nivel de empleo en la C.R. Fuente Palmera

<i>Periodo anterior a 1997 (riego por aspersión)</i>				
<i>Precio unitario del agua (€/10³ m³)</i>	<i>Consumo (m³/ha)</i>	<i>Coste del agua (€/ha)</i>	<i>Renta del agricultor (€/ha)</i>	<i>Empleo (horas/ha)</i>
39,6	3.458	143,09	919,78	50,1
45,6	3.226	154,03	878,40	47,0
51,6	2.978	161,14	838,72	43,7
63,7	2.481	163,05	768,90	37,2
69,7	2.233	163,48	738,66	33,9
99,7	1991	209,13	635,22	17,6
129	879	120,31	604,34	16,1
159	879	148,29	576,33	16,1
189	837	167,84	545,35	15,9
<i>Periodo posterior a 1997 (riego por goteo)</i>				
<i>Precio unitario del agua (€/m³)</i>	<i>Consumo (m³/ha)</i>	<i>Coste del agua (€/ha)</i>	<i>Renta del agricultor (€/ha)</i>	<i>Empleo (horas/ha)</i>
39,6	3.026	118,0	1.202	38,4
45,6	3.026	136,2	1.166	38,4
63,7	3.026	187,6	1.129	38,4
69,7	3.026	208,8	1.123	38,4
129	3.026	390,4	1.020	38,4
141	2.771	283,1	895	38,4
159	3.026	481,1	929	38,4
189	2.107	398,2	862	36,5

*El coste del agua y la renta del agricultor se hallan a precios de 2000 Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Variaciones de algunos parámetros en la comunidad para los dos periodos considerados.

Precio unitario del agua (€/m ³)	Consumo		Coste		Renta		Empleo (horas/ha)	
	(m ³ /ha)	%	€/ha	%	€/ha	%	Horas/ha	%
39,6	-432	-12,5	-25	-17,5	+282,2	+23,5	-11,6	-23,2
45,6	-200	-6,2	-17,80	-15,6	+287,6	+24,7	-8,6	-19,0
63,7	+545	+18,1	+24,5	+13,1	+360,1	+31,9	-1,2	-4,0
69,7	+793	+26,3	+45,32	+21,8	+384,3	+34,3	-4,5	-11,8

Fuente: Elaboración propia

Comparando ambas curvas de demanda de agua se puede observar una gran diferencia en las elasticidades de ambas. La explicación se encuentra en el aumento de los márgenes brutos de los cultivos que han cambiado el sistema de riego por el de goteo, es decir, el algodón y el espárrago. Con el ahorro de agua proporcionado dicho cambio unido al incremento de renta producido como consecuencia de las menores necesidades de mano de obra y mayores rendimientos, los agricultores han podido invertir en tecnología de riego, lo cual ha permitido introducir otros cultivos como hortalizas, cítricos, olivar, etc (este último en fase de expansión). Pero el cambio tecnológico ha sido principalmente motivado por la escasez de mano de obra agrícola disponible en la zona, ya que el riego por goteo permite, por ejemplo, disminuir en torno a los siete jornales por hectárea la mano de obra necesaria en el algodón, al mismo tiempo que puede llegar a incrementar su rendimiento, en determinadas circunstancias, hasta en un 20 %.

6. Conclusiones

- * En la CR estudiada se ha pasado de una tecnología de riego a otra, ahorradora de agua y mano de obra que, a precios actuales, resulta económicamente favorable a los agricultores, dada la mejora de la eficiencia técnica y económica ocurridas. Pero cuando se aplica una política de tarifas al agua, como la que propone la DMA, en la situación actual de la CR (riego por goteo), la curva de demanda de agua resulta ser más inelástica que la que se pudo obtener para las condiciones de riego por aspersión). Como consecuencia de ello, los agricultores pueden soportar tarifas más altas en el agua de riego sin modificar su distribución de cultivos.
- * El cambio tecnológico experimentado en la CR induce una mayor productividad del agua. Dicho cambio, bajo la influencia de una política de tarifas al agua, ahorra agua mientras no se rebase el nivel de precio del agua para el que las curvas de demanda calculadas se cruzan, (0,049 € 3.026 m³/ha). Pero superado dicho nivel de precio, se podría provocar un consumo hídrico superior al actual, ya que la mayor productividad del agua compensa sus costes marginales. Es decir, se produce la paradoja de que una tecnología de riego ahorradora de agua conduce a una curva de demanda más inelástica debido a la mayor productividad del agua asociada a la nueva tecnología.
- * Dado que el cambio tecnológico se ha producido sin haberse modificado el precio del agua, su principal motor ha sido la escasez de mano de obra agrícola. La historia económica nos enseña que la mayoría de los bienes bajan de precio en términos reales y la explicación de este fenómeno hay que buscarla en unos costos de producción históricamente decrecientes, como consecuencia del progreso técnico y del consiguiente aumento de la productividad industrial. En la CR estudiada ha sido posible un ajuste a la baja en la utilización de mano de obra, gracias a la introducción de una nueva tecnología de riego ahorradora de dicho recurso. Es decir, los

empresarios agrícolas se han ido descargando de sus costos salariales en suficiente cuantía para equilibrar el aumento de los costos fijos de capital.

7. Bibliografía

Ballestero, E., Romero, C. (1998): *Multiple Criteria Decision Making and its Applications to Economic Problem*. Kluwer Academic Publishers, Boston.

Ballestero, E. (1988): *Introducción a la Teoría Económica*. Ed. Alianza universidad.

Berbel, J. & Rodríguez (1998): An MCDM approach to production analysis: an application to irrigated farms in Southern Spain. *European Journal of Operational Research*, 107, pp 108-118.

Berbel, J.; Cañas, J; Gómez, J.A.; López, M.J.; Arriaza, M.(1999): *Micromodelos de gestión de agua de riego*. Ed. Vistalegre, Córdoba.

Cañas Madueño, J.A.; López Baldovín, M.J.; Gómez Limón, J.A.(2000): Obtención de la curva de demanda de agua de riego generada por una hipotética política de tarifas sobre el agua. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 188, pp 67-92.

Cetin, O.; Bilgel, L. (2002): Effects of different irrigation methods on shedding and yield of cotton. *Agricultural Water Management*, 54, pp 1-15.

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000): *Zona Regable de Fuente Palmera. Memoria Campaña de Riegos*.

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(1), pp 103-123.

Gómez-Limón, J.A. y Berbel, J. (2000): Multicriteria Analysis of derived water demand functions: a Spanish case study. *Agricultural Systems*, 63, pp 49-71.

Romero, C. (1993): *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*. Alianza Editorial, S.A.; Madrid.

Sumpsi, J.M.; Amador, F.; Romero, C.(1993): *A research of Andalusian farmer's objective: methodological aspects and policy implications*. VII European Congress of Agricultural Economics. Stressa (Italy).