

TARIFACIÓN DEL AGUA Y MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO: ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE TECNOLOGÍA AHORRADORA DE AGUA EN LA AGRICULTURA*

Laura RIESGO ÁLVAREZ y José A. GÓMEZ-LIMON RODRÍGUEZ

Dpto. de Economía Agraria. E.T.S.II.AA. Palencia. Universidad de Valladolid.
Avda. Madrid, 57. 34071 Palencia. E-mail: lriesgo@iaf.uva.es

RESUMEN

La Directiva Marco de Aguas, aprobada en el año 2000, obliga a todos los Estados miembros de la Unión Europea a introducir una política de precios del agua que posibilite la recuperación de todos los costes asociados al uso del recurso. Esta circunstancia traerá implicaciones de especial importancia para la agricultura de regadío, donde los subvencionados cánones y tarifas de riego pagados actualmente por superficie regada deberán cambiarse por tarifas volumétricas mucho más elevadas. Este cambio previsiblemente implicará una disminución en el consumo de agua, tanto por la siembra de cultivos menos exigentes en agua como por la mejora de la eficiencia de riego. En este sentido, el objetivo del presente trabajo consiste en desarrollar una metodología que permita analizar el impacto que tendría una política de precios del agua de riego sobre la demanda de tecnologías ahorradoras de agua. Para ello utilizamos modelos de programación matemática basados en la Teoría de la Utilidad Multiatributo (MAUT). Esta metodología se aplica de forma piloto a una zona regable de Castilla y León. Los resultados ponen de manifiesto la falta de capacidad económica de los agricultores para afrontar las inversiones exigida para la modernización, las cuáles requieren obligatoriamente nuevas subvenciones públicas.

Palabras Clave: Regadío, Demanda de Agua, Tarifación, Modernización del riego.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. La madurez de la economía del agua en España.

La implantación del regadío en la agricultura española ha supuesto históricamente una alternativa para mejorar la rentabilidad de dicho sector económico, debido fundamentalmente al incremento y estabilización de los rendimientos productivos, y por tanto, de las rentas agrarias. Estas ventajas frente al secano, han llevado a que, sobre todo en el pasado siglo XX, se haya producido una gran extensión del regadío, la cual ha traído pareja un incremento del consumo de agua por parte del sector agrícola. Por ello en la actualidad la agricultura se sitúa como el principal consumidor de agua, con una demanda cercana al 70% del total de los recursos hídricos nacionales (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación –MAPA-, 1999).

Sin embargo, esta expansión del regadío resulta cada vez más difícil de mantener en un contexto, como el actual, donde nos encontramos en una fase de “madurez” de la economía del agua (Randall, 1981), caracterizada por la concurrencia de las siguientes circunstancias:

- Una demanda alta y creciente de agua.
- Una oferta inelástica del recurso a largo plazo.

* Esta investigación ha sido financiada por la UE a través del proyecto de investigación WADI (Contrato EVK1-CT-200-0057) y por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) a través del proyecto de investigación WADI-LEYA REN 2000-1079-C02-02/HID.

- Los sistemas de almacenamiento y distribución del agua se han quedado, en una gran parte, obsoletos.
- La intensa competencia existente entre los distintos usuarios por el uso del agua.
- El problema creciente de las externalidades negativas.
- El coste social, elevado y cada vez mayor, por subvencionar el creciente uso del agua.

Dentro de esta nueva situación, o “nueva cultura del agua” como periodísticamente apuntan distintos autores, no sólo es complicado justificar el elevado consumo de agua por parte del regadío, sino que cada vez se muestra un mayor rechazo social a la aparente mala gestión que se hace de la misma en el sector agrario: elevadas pérdidas de agua y su aplicación a cultivos excedentarios y de baja rentabilidad económica (escaso valor añadido) y social (poco demandantes de empleo). Por ello, y para tratar de resolver esta situación, frente a las tradicionales políticas basadas en un incremento de la oferta de recursos hídricos (*políticas de oferta*), se propone apostar firmemente por el desarrollo de *políticas de demanda de agua*, más acordes con las necesidades actuales. De este modo, se puede optar básicamente por tres tipos de instrumentos económicos que permiten aumentar la eficiencia del uso, como son (Sumpsi *et al.*, 1999):

- La *tarifación del recurso*.
- La *modernización y mejora de la red hidráulica* (modernización y mejora de regadíos).
- La aplicación de *mercados de agua*.

El presente trabajo se centra en la interrelación existente entre la política tarifaria y la de modernización de regadíos. Por, ello los siguientes dos apartados de la introducción realizan la necesaria aproximación a ambos instrumentos como promotores de la eficiencia en el uso del agua.

1.2. Tarifación y Directiva Marco de Aguas.

Actualmente, y a pesar de encontrarnos ya dentro de la fase “madura” de la economía del agua, la legislación española vigente no contempla el uso de la tarifación como instrumento de política de demanda de agua. La normativa nacional únicamente contempla la existencia de una serie de cánones y tarifas de riego que se caracterizan básicamente por su escasa capacidad de repercutir los correspondientes costes del servicio, sin que en ningún caso se incluyan partidas por el uso intrínseco del recurso agua o por las externalidades que genera su uso¹. De esta forma, la disposición de un agua altamente subvencionada por el Estado en nada incentiva al uso eficiente de la misma, ya que no traslada al usuario ninguna señal de coste o de escasez del recurso. Además, la forma de pago mayoritariamente en base a la superficie regada, hace que buena parte de los regantes consideren el precio del agua como un coste fijo (coste marginal cero). Así, y como lógica respuesta a la eficiencia privada del uso de este tipo de factores (coste independiente de su nivel de consumo), el consumo de agua se realiza hasta que su productividad marginal se anula; cuando se llega al máximo técnico de producción.

Sin embargo, esta tendencia debería ir cambiando, de forma que el pago por el agua de riego incentive a los regantes a realizar un uso más racional de los recursos, tal como proponen las políticas de gestión basadas en la demanda. De este modo, debería pasarse a unas tarifas de riego en función de la cantidad de agua consumida y más acordes con el coste real del recurso, proporcionando así una señal de escasez a los agricultores.

¹ Tal es así, que la recaudación de estas tarifas ni siquiera cubre los costes de personal de la Administración hidráulica, teniendo que financiarse la mayor parte de los gastos de suministro y gestión de los recursos hídricos con cargo a los Presupuestos Generales del Estado.

Desde la Unión Europea, en un intento de corregir esta situación de ineficiencia se ha aprobado recientemente la Directiva Marco de Aguas (DMA)², la cual supondrá una serie de novedades en la gestión del agua, especialmente en lo que se refiere a su aplicación a la agricultura de regadío de los países del área mediterránea.

Una de las cuestiones más relevantes de la mencionada Directiva es sin duda la exigencia de aplicar una política de precios del agua según el enunciado de su Artículo 9³. Según éste los Estados miembros deberá aplicar una política de aproximación hacia la recuperación de todos los costes asociados a los servicios del agua, como medida de incentivar el uso eficiente y sostenible de los recursos.

No obstante, y a pesar de lo afirmado anteriormente, la redacción final de la DMA no exige que la recuperación de estos costes del agua sea íntegra⁴, tal como se había propuesto en las primeras redacciones de la DMA con carácter de proyecto. Efectivamente, se han tenido en cuenta que los costes del desarrollo del regadío en las zonas áridas y semiáridas en la Europa mediterránea son muy diferentes a los de otras zonas del norte de Europa, y a su vez, que dicho desarrollo tiene como objetivo no sólo la rentabilidad económica, sino también el asentamiento de la población en dichas zonas.

A pesar de la relajación de este principio de la recuperación íntegra de los costes, la aplicación de esta Directiva supondrá sin duda un incremento de los precios que actualmente pagan los regantes por el agua. Efectivamente, y para que la política de precios proporcione incentivos al uso racional del agua, tal y como propone la DMA, necesariamente deberán elevarse las tarifas y hacer que éstas sean volumétricas⁵. El punto de partida para este proceso de tarificación será conocer el coste íntegro del agua, aunque después este se module para evitar impactos no deseados. Sin embargo, el primer inconveniente que se presenta es la falta de datos oficiales sobre este coste.

Ante la indeterminación de la aprobada DMA respecto a la magnitud necesaria para la tarificación y la ausencia de datos oficiales relacionados con el coste del servicio del agua a la agricultura, en esta investigación se ha optado por considerar 3 escenarios de futuro diferentes de la tarificación del agua de riego en la zona concreta de estudio:

- *Tarificación “blanda”*. Se considera una tarifa del agua de 4 ptas/m³. En ningún caso esta cantidad tendría como finalidad la recuperación de costes totales, pero al menos sí la provisión de incentivos para el uso eficiente del recurso, tal y como dispone la DMA.
- *Tarificación “media”*. En un intento de aplicar el principio de recuperación total del coste del agua en la zona de regadío analizada, una tarifa de 6 ptas/m³ podría considerarse como un valor “razonable”.
- *Tarificación “dura”*. Este último caso considera una tarifa de 8 ptas/m³. Se trataría de una repercusión aproximada del coste íntegro del agua, considerando incluso los costes ambientales.

² Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (DOCE 22-XII-2000).

³ Artículo 9.1: “Los Estados miembros tendrán en cuenta el principio de la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, incluidos los costes medioambientales y los relativos a los recursos, ... de conformidad con el principio de que quien contamina paga. Los Estados miembros garantizarán, a más tardar en 2010, que la política de precios del agua proporcione incentivos adecuados para que los usuarios utilicen de forma eficiente los recursos hídricos”.

⁴ Así, en el mencionado artículo 9 de la DMA, se contempla igualmente que “los Estados miembros podrán tener en cuenta los efectos sociales, medioambientales y económicos de la recuperación y las consideraciones geográficas y climáticas de la región o regiones afectadas”.

⁵ Si las actuales tarifas fijas en función de la superficie regada se transformase en volumétricas, sin que con ello aumentase los pagos de los regantes, el precio del agua oscilaría alrededor de 2 pta/m³ (0,012 €/m³). Esta tarifa volumétrica tendría un valor casi insignificante con relación al coste real de la provisión del recurso, prueba de la subvención pública encubierta al regadío.

Este incremento previsible de los precios del agua provocará necesariamente una reacción por parte de los regantes, quienes adaptarán su toma de decisiones al nuevo contexto de precios del agua. Así, son diversas las estrategias que éstos podrán adoptar para adaptarse a esta nueva situación:

- *Sustitución de cultivos* más demandantes de agua por otros con menos requerimientos hídricos.
- *Realizar riegos deficitarios* a sus cultivos.
- *Invertir en la modernización de sus instalaciones* de riego, mejorando la eficiencia del riego.
- *Desafectación del regadío*, cambiando así hacia una agricultura de secano.
- *Abandono completo de la actividad agraria*.

Así pues, ante las diferentes alternativas por las que pueden optar los regantes, en este trabajo hemos decidido abordar fundamentalmente el tema de la modernización de infraestructuras de riego, analizando cuál será la disposición a pagar de los agricultores por dichas mejoras en la red de riego. Esta elección se debe a que esta opción sería posiblemente la que menos efectos económicos y sociales originaría en las zonas regables, ya que este proceso de adaptación a la tarificación es el que menores pérdidas de empleo y menor peligro de abandono del entorno rural produce.

1.3. Situación del regadío: la necesidad de modernización de estructuras.

España cuenta en la actualidad con 3.700.000 ha transformadas en regadío, consecuencia de una dilatada historia de fomento de regadíos que se remota hasta la época romana, aunque bien es cierto que ha sido en este último siglo en el que mayor número de hectáreas se han puesto en riego. Esta cifra total de superficie regada supone el 14,5% de la superficie agraria útil (SAU). No obstante su elevada productividad con respecto al secano (6,5 veces superior como media), hace que su aportación a la producción final agrícola (PFA) sea del 55% (MAPA, 1999). Además, a esta indudable importancia económica hay que sumar el beneficio social que genera el regadío en el medio rural, empleado directamente del orden de 550.000 agricultores. Concretamente, conviene señalar que el aumento de mano de obra del regadío con respecto al secano oscila entre el 10% en los regadíos más automatizados hasta el 4.000% en el caso de regadíos para cultivos forzados (invernaderos). Asimismo hay que considerar que la industria agroalimentaria española, gran parte de la cual se encuentra situada en el medio rural, depende en buena medida de los suministros de materias primas proporcionados por el regadío (conservas, fábricas de piensos, etc.), y sin cuya existencia gran parte de ella sería totalmente inviable (MAPA, 1999). De todo ello se deduce la gran importancia social del regadío, como fuente principal de empleo en el medio rural español.

A pesar de estos datos que evidencian la importancia estratégica del regadío en España, hay que apuntar que su estado de operatividad y conservación dista mucho de ser el adecuado. En este sentido son clarificadores los datos recogidos en la memoria del Plan Nacional de Regadíos horizonte 2008 (MAPA, 1999) sobre la edad del regadío de nuestro país: cerca del 30% de los regadíos existentes superan los 200 años de antigüedad, el 7% supera los 90 años, el 36% tiene entre 20 y 90 años, y solamente el 27% de los mismos tiene menos de 20 años.

Como consecuencia de esta antigüedad de las infraestructuras de riego, los sistemas empleados son mayoritariamente de riego por superficie (1.981.000 ha), de forma que las nuevas tecnologías, como la aspersión y el goteo, son todavía minoritarias. Además, esta misma antigüedad determina que hoy existan 735.000 ha en las que las redes de distribución están constituidas por cauces de tierra, presentando elevadas pérdidas. A su vez, de las 1.295.000 ha regadas actualmente mediante acequias de hormigón, 392.000 ha presentan graves problemas de conservación y mantenimiento. Esta pérdida de eficiencia de las conducciones con el trascurso del tiempo, unida a la modificación de

las alternativas de cultivo, ha motivado que 1.129.000 ha estén actualmente infradotadas y 694.000 ha ligeramente infradotas.

Todos estos datos justifican una especial atención en relación a la política de modernización y mejora de regadíos existentes, tal y como promueve el propio Plan Nacional de Regadíos, de forma que se realicen las pertinentes operaciones encaminadas a disminuir las pérdidas de agua por evaporación y filtración a lo largo del sistema de infraestructuras hidráulicas, permitiendo así que mejore la eficiencia técnica en el uso del riego.

Las causas que explican la mala conservación y el retraso tecnológico de los sistemas de riego son múltiples, pero no cabe duda que una de las fundamentales ha sido la tradicional forma de tarificación del agua en el agro español, caracterizada, tal y como se ha apuntado, por su baja cuantía y por su pago por superficie regada. En estas circunstancias, las inversiones en modernización y mejora de la tecnología de riego habrían supuesto únicamente un gasto para los usuarios del agua, sin que en la mayoría de los casos se viesen afectadas significativamente sus cuentas de costes (ahorro en la tarificación) o de ingresos (los ahorros de agua obtenidos serían disfrutados y rentabilizados por otros usuarios). En estas condiciones, las únicas zonas donde se han incorporado las nuevas tecnologías de riego que conllevan una mayor eficiencia en el uso del agua, han sido aquéllas en las que el recurso es escaso (zona del sureste español). Sin embargo, este proceso de innovación no se ha debido, como podría pensarse, a que las tarifas del agua fuesen mayores allí donde más escasea el recurso, sino a que fundamentalmente en estas zonas los agricultores han tenido tradicionalmente un mayor coste de oportunidad por el uso del agua. Esta situación ha motivado que la adopción de modernas técnicas de riego permita a los agricultores ampliar sus zonas regables, y conseguir con ello que la inversión en infraestructura de riego sea realmente rentable para ellos.

Sin embargo, el panorama apuntado va a cambiar radicalmente con la aplicación de la DMA y su exigencia de tarifar el recurso de forma que se incentive su uso racional. Así, en primer lugar, este requerimiento de la normativa europea va a implicar la tarificación por cantidad de agua empleada⁶ y, por tanto, necesariamente la medición de caudales a nivel de los usuarios.

1.4. Objetivos.

Este trabajo tiene como objetivo genérico analizar las implicaciones de la aplicación conjunta de ambos instrumentos de la política de demanda de agua. Concretamente, se presente estudiar la existencia o no de una correlación positiva entre la demanda de tecnología ahorradora de agua y el nivel de precios a pagar por el recurso. Así pues, se trata de contrastar la hipótesis que, según se deduciría de la Teoría Económica, cuanto más aumente el precio del agua, más aumentaría la demanda de una tecnología que mejore la eficiencia del riego por parte de los regantes, como medio para disminuir el consumo del input (agua), y por tanto sus costes de producción.

Para alcanzar este objetivo, el presente trabajo trata de desarrollar una metodología que permita estimar la demanda de tecnología ahorradora de agua por parte de los regantes para cada nivel de precios del agua que pueda darse como consecuencia de la aplicación de la tarificación del recurso. Para ello, utilizaremos modelos de programación matemática basados en la Teoría de la Decisión Multicriterio, que permiten simular la toma de decisiones de los regantes acerca de la adopción de nuevas tecnologías de riego.

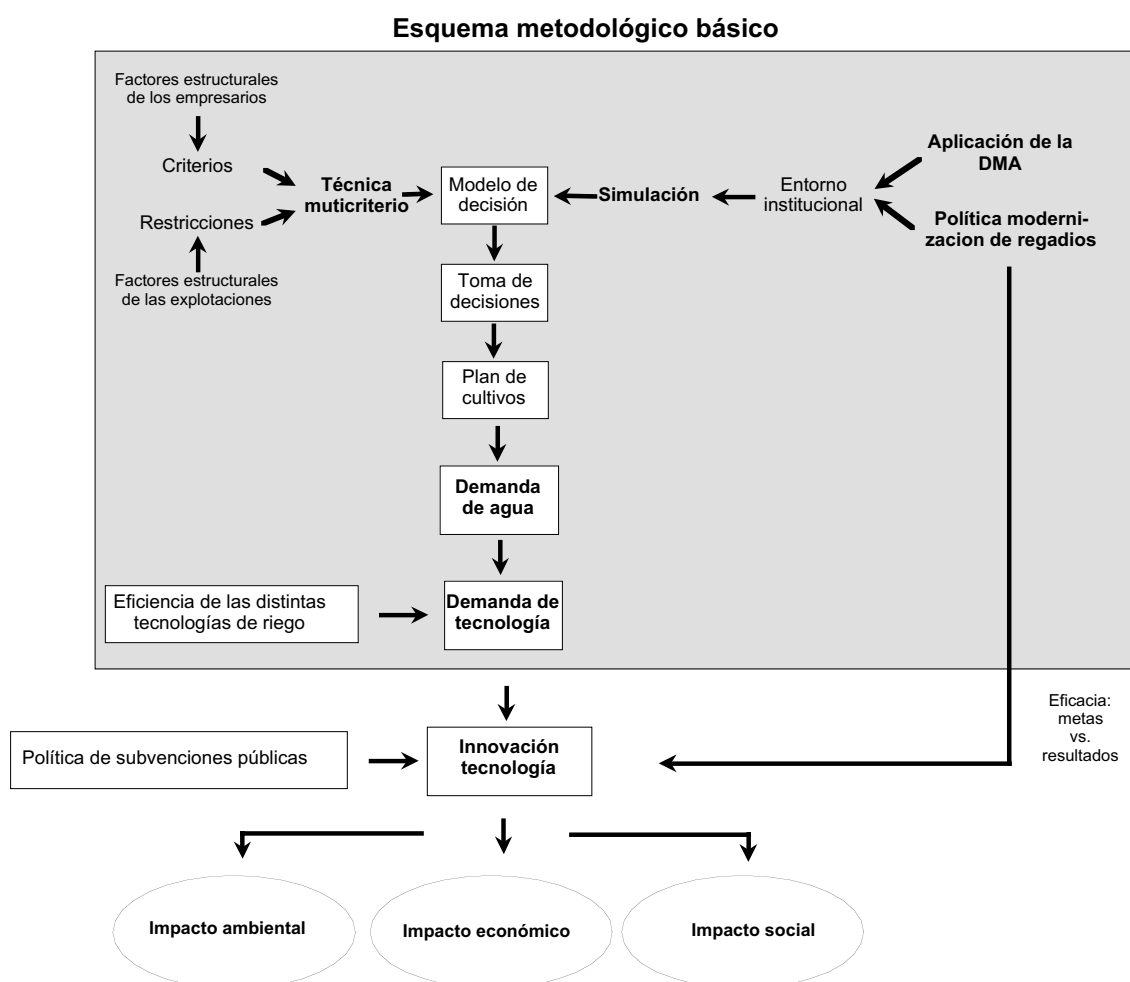
⁶ Con ello se permitirá modificar la situación actual de pago fijo en función de la superficie cultivada, que supone costes marginales nulos para los regantes, haciendo que su pago por m³ utilizado (coste marginal igual a su precio) se convierta en un estímulo para el uso más racional del recurso.

Asimismo, se realiza una aplicación piloto de esta metodología a la Comunidad de Regantes de los Canales del Bajo Carrión, situada en la provincia de Palencia. Esta Comunidad de Regantes tiene la particularidad de que en la actualidad está estudiando la aprobación de un proyecto de modernización y mejora de la infraestructura de riego, de forma que podremos analizar para distintos escenarios de precios, cuál será la disposición a pagar de los regantes de esa zona por dicha mejora, y qué parte tendría que ser subvencionada de forma directa por el Estado para que la nueva infraestructura fuese una realidad.

2. METODOLOGÍA.

2.1. Esquema metodológico básico.

El desarrollo de la metodología seguida en el presente trabajo para alcanzar el objetivo planteado anteriormente, puede verse seguidamente de forma esquematizada:



Siguiendo este guión, podemos diferenciar cuatro etapas en el desarrollo de la metodología propuesta, tal y como exponemos a continuación:

- En una *primera etapa*, establecemos un modelo matemático de programación multicriterio que permitirá simular el proceso de toma de decisiones de los agricultores ante la aplicación de una política de tarificación de los recursos hídricos contemplada en la DMA. Para llegar a esta

simulación, debemos alimentar el modelo con una serie de elementos fundamentales, como son las variables de decisión, los criterios que tendrán en cuenta los agricultores a la hora de cultivar y el conjunto de restricciones que limitan dichas decisiones de cultivo.

- Una vez que se definen los modelos de decisión, la *segunda etapa* consistirá en simular la toma de decisiones de los agricultores ante la aplicación de la DMA (distintos precios del agua) y los distintos niveles de eficiencia de riego posibles. El resultado de las diferentes combinaciones que nos ofrecen en principio los modelos serán los planes de cultivo en cada caso.
- Estas decisiones sobre los cultivos (variables de decisión de los agricultores) no tienen importancia en sí mismas para nuestro análisis, aunque son un elemento intermedio necesario que nos permitirá pasar a una *tercera etapa* en la que se estimarán las curvas de demanda de agua de riego que presentan los regantes. A partir de la misma, y para distintos niveles de eficiencia, podremos estimar la disposición a pagar (demanda) de los agricultores por las mejoras tecnológicas para cada nivel de precios del agua, obteniendo así finalmente la demanda de tecnología ahorradora de agua.
- La *cuarta y última etapa* del esquema básico metodológico es establecer, primero, las necesidades de financiación pública (o no) para que se realice la innovación tecnológica y segundo, en caso de que ésta se produzca, cuantificar los impactos económicos, sociales y ambientales que esta política de modernización tendría.

2.2. La modelización de sistemas agrarios a través de la Teoría de Decisión Multicriterio.

Un principio básicamente aceptado en la Teoría Económica clásica es que el comportamiento de los empresarios se rige por la maximización del beneficio⁷. Siguiendo este principio, la toma de decisiones de cualquier agricultor, como empresario agrario, se podría realizar a través de simples modelos de programación lineal cuya función objetivo fuese el beneficio. Este axioma ha sido, sin embargo, frecuentemente discutido por distintos autores. Éstos consideran que los empresarios a la hora de tomar sus decisiones de producción tienen en mente, además del beneficio, otra serie de consideraciones relacionadas con su entorno económico, social, cultural y ambiental. Piénsese por ejemplo en la aversión al riesgo, la minimización de capital circulante en la producción, la minimización de la complejidad de gestión, la minimización de la mano de obra ajena y un largo etcétera. En este contexto el empresario tomará sus decisiones de forma que se intenten satisfacer, en la medida de lo posible, todos ellos de forma simultánea (Simon, 1972).

Ante estas evidencias, consideramos necesario analizar el problema económico que nos ocupa dentro de la estructura teórica del paradigma de la Decisión Multicriterio. En concreto, se ha optado por realizar una modelización basada en la Teoría de la Utilidad Multi-Atributo (MAUT), desarrollada especialmente a partir de Keeney y Raiffa (1976). El cálculo de estas funciones de utilidad multiatributo de los decisores agrarios nos permitirá, por tanto, realizar las simulaciones de escenarios relativos a la aplicación de la tarificación y su correspondiente traducción en la demanda de tecnología ahorradora de agua.

La Teoría de la utilidad multiatributo (MAUT) tiene por objeto reducir los problemas de decisión en contexto multicriterio a través de una función de utilidad cardinal, expresión matemática capaz de ordenar las alternativas de acuerdo con un criterio único (valor alcanzado por la función de utilidad). Sin embargo, este enfoque tan atractivo cuenta como mayor inconveniente la estimación de tales funciones de utilidad.

⁷ La Teoría Económica en realidad siempre ha considerado que los agentes económicos, incluidos los agricultores, maximizan su utilidad. Lo que ocurre es que para ésta, tan sólo el beneficio produce utilidad (consideración de funciones de utilidad monoatributo).

Normalmente, en contexto multiatributo, se ha optado por calcular funciones de utilidad aditivas, especialmente en el ámbito agrario, cuando uno de los criterios considerados es el riesgo. La valoración de las distintas alternativas (función de utilidad) en este caso, resulta de sumar las contribuciones de cada uno de los atributos considerados adecuadamente ponderados en función de su importancia. Como los diferentes atributos están medidos en diferentes unidades, se requiere la normalización correspondiente. Matemáticamente resultaría:

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij}, \quad i = 1, \dots, m$$

donde U_i es el valor de la utilidad de la alternativa i , w_j es la ponderación o peso otorgado al atributo j y r_{ij} es el valor del atributo j para la alternativa i .

Fishburn (1982) expone los requerimientos matemáticos necesarios para suponer una función de utilidad aditiva. Desde un punto de vista práctico, dos son las condiciones que deben satisfacerse (Hardaker *et al.*, 1997). Primero, que los atributos integrantes de la función deben ser preferentemente independientes⁸. Segundo, que el valor de utilidad de un criterio debe ser independiente del nivel de otro. Aunque estas condiciones pueden llegar a ser realmente restrictivas, Edwards (1977) y Farmer (1987) han demostrado que la función aditiva permite una aproximación sumamente cercana a la función de utilidad verdadera, incluso cuando las anteriores condiciones no son satisfechas.

Teniendo en cuenta estas consideraciones de partida, para este trabajo se ha considerado conveniente el cálculo de una función de utilidad multiatributo de tal forma que puedan considerarse ésta como función objetivo del modelo de programación matemática que nos permitan simular el comportamiento de los regantes ante los nuevos escenarios de precios del agua.

La técnica multicriterio elegida para la estimación de la función de utilidad separable y aditiva es la desarrollada por Sumpsi *et al.* (1993 y 1997)⁹. Nos remitimos a ellos para cualquier consulta en relación a la misma.

2.3. Simulaciones de las decisiones de cultivo y generación de la demanda de agua y de tecnología ahorradora de agua de riego.

Bajo el esquema de modelización realizada a través de la programación multicriterio antes expuesta, estaremos en disposición de realizar la simulación de los escenarios que centran este estudio: la tarificación impuesta por la DMA y la posibilidad de modernizar el regadío (mejorar la eficiencia en el uso del agua). Para ello se propone introducir los cambios necesarios en el modelo a desarrollar para adaptarse al contexto normativo de cada uno de los escenarios planteados:

- *Escenarios de precios.* Se propone analizar cada uno de los casos con mayores posibilidades de ocurrencia, tal y como antes de comentaron: tarificación “blanda” (4 ptas/m³), tarificación “media” (6 ptas/m³) y tarificación “dura” (8 ptas/m³).
- *Escenarios de eficiencia.* El grado de eficiencia en el uso del agua de riego está en función del tipo de tecnología de riego utilizada, pudiendo así pasar de una eficiencia del 50-60% en el riego por

⁸ Un atributo r_i es preferentemente independiente de otros $n-1$ atributos r_j si las preferencias relacionadas con diferentes niveles del atributo r_i no dependen del nivel que toman los otros $n-1$ atributos (véase, por ejemplo, Huirne y Hardaker, 1998). Con ello la utilidad generada por los n atributos valorados por el decisor en las diferentes alternativas a través de una función matemática $U = U(r_1, r_2, \dots, r_n)$, pasa a ser una función separable $U = f\{u_1(r_1), u_2(r_2), \dots, u_n(r_n)\}$.

⁹ 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 este mismo sentido debe apuntarse que esta misma técnica ha sido anteriormente empleada con éxito en diversos estudios, en concreto por Sumpsi *et al.* (1993 y 1997), Amador *et al.* (1998), Gómez-Limón y Berbel (1995), Gómez-Limón y Arriaza (2000).

gravedad al 70-80% en el riego por aspersión o al 90% en el riego por goteo¹⁰. En este sentido, los escenarios a simular distintas tecnologías de riego presentarán diferentes grados de ahorro de agua sobre la situación actualmente existente.

La resolución de los modelos de simulación nos dará en cualquiera de los escenarios planteados los planes de cultivo óptimos en cada caso. Sin embargo, estos resultados no tienen mayor significación para los gestores de las políticas agraria y ambiental. En lo que sí tienen interés éstos es en analizar una serie de valores relacionados con la realidad objetiva, que resultan como consecuencia de estos planes de cultivo (variables de decisión de los agricultores), en la medida que les permita cuantificar los impactos resultantes de los instrumentos aplicados por cada política. Nos referimos en concreto a valores de tipo económico (renta del agricultor y recaudación estatal), social (empleo directo generado) y medioambiental (consumo de agua y demanda de fertilizantes). El cálculo de estos valores, que denominaremos atributos de los gestores políticos, y el correspondiente análisis de efectividad de los instrumentos económicos elegidos, serán el núcleo del desarrollo de la tercera y última etapa de la metodología planteada.

3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La evaluación del impacto de las distintas políticas sobre la gestión de los recursos hídricos necesita concretarse en el análisis de sistemas reales de la agricultura de regadío. Para ello, la aplicación práctica de la metodología propuesta se realizará sobre la Comunidad de Regantes del Bajo Carrión, situada en el centro de la provincia de Palencia, en el norte de España.

La puesta en riego de la zona data de la década de los setenta, siendo al principio gestionada por la propia Administración. No fue sin embargo hasta 1990 cuando se constituyó formalmente la Comunidad de Regantes del Bajo Carrión, como órgano interno de gestión del agua de riego.

En total, la zona comprende 6.554 ha de regadío, integrando a 889 comuneros, lo que implica una superficie media por explotación de 7,37 ha. El sistema de riego que predomina es por superficie, utilizando el riego por aspersión únicamente en el caso de la remolacha.

La dotación media de agua está en torno a los 5.950 m³/ha anuales, repartido durante toda la campaña de riego. No obstante, debe apuntarse que la sub-cuenca del Carrión es una de las pocas deficitarias dentro de la cuenca del Duero, por lo cual es normal que en años secos la dotación sea considerablemente inferior.

La distribución general de cultivos en un año medio sin restricciones de agua, suele ser, por orden decreciente: cereales de invierno, maíz, remolacha, alfalfa, girasol y otros cultivos menores.

La elección de esta zona para el estudio de un caso real se ha debido tanto a sus características técnicas (homogeneidad de las explotaciones integrantes en cuanto a dimensiones y suelos), que la hacen muy adecuada para la aplicación de la metodología propuesta, como a razones de orden práctico, por la buena disposición de datos de calidad.

Las fuentes consultadas para reunir la información necesaria para el estudio (alimentación de los modelos) fueron tanto oficiales como obtenidas a través de una encuesta realizada a 52 agricultores de la zona.

¹⁰ Estas diferencias en la eficiencia del riego se deben fundamentalmente a que las nuevas técnicas de riego mejoran la uniformidad del riego y disminuyen las pérdidas de agua por percolación y escorrentía dentro de las explotaciones.

4. LOS MODELOS.

4.1. Construcción del modelo básico de decisión.

Tal y como hemos expuesto, el agricultor, como empresario, está obligado a tomar las decisiones referentes a la producción. Para el caso de las explotaciones agrícolas, la decisión fundamental es establecer qué va sembrar en su tierra; es decir, cuál va a ser su plan de cultivos. Para ello dispone, como *variables de decisión*, la posibilidad de asignar a cada actividad (cultivo) una determinada superficie (x_i). Con el valor que conceda a cada una de ellas el productor pretende la consecución de distintos *objetivos*. En definitiva, la programación multicriterio establece matemáticamente los valores de las variables decisionales eficientes de acuerdo con estos objetivos, simulando el proceso mental del agricultor. La optimización de los anteriores objetivos está sujeta a distintas *restricciones*. Variables decisionales, objetivos y restricciones son, por tanto, los componentes del modelo que proponemos. Pasamos ahora a una exposición sintética de los mismos.

4.1.1. Variables.

Las variables que se consideran en el modelo son las superficies destinadas a cada uno de los cultivos (x_i) presentes en la zona de estudio.

4.1.2. Objetivos.

En esta primera etapa de la metodología seguida se seleccionan *a priori* los objetivos que se suponen más relevantes para explicar el comportamiento de los agricultores del área de estudio. La elección de estos objetivos concretos se ha realizado en base a la información obtenida de los propios productores analizados en la encuesta. En concreto, los objetivos en principio a considerar son:

- a) Maximizar el Margen Bruto (MB).
- b) Minimizar el riesgo, contabilizado como la varianza del MB esperado (VAR).
- c) Minimizar el uso de la Mano de Obra (MO).

Los anteriores objetivos serán los que utilizaremos para el cálculo de la matriz de pagos (siguiente paso de la metodología), con lo que podremos cuantificar la importancia relativa que tiene cada uno de los objetivos en la toma de decisiones del conjunto de agricultores analizado. En este sentido, se asume que estos tres objetivos son suficientes para explicar el comportamiento de los agricultores.

Igualmente debe resaltarse que la elección de los anteriores objetivos se debe en buena medida a las suposiciones que se establecen sobre las pautas psicológicas y de comportamiento de los productores de la zona analizada. La validez o no de éstos es lo que pretendemos contrastar con todo el proceso multicriterio que realizaremos a continuación. Sólo con posterioridad podremos conocer con certeza cuáles de ellos son efectivamente tenidos en cuenta por estos empresarios y en qué medida.

4.1.3. Restricciones.

En cuanto a restricciones, el modelo desarrollado cuenta con las siguientes:

- a) Utilización de la superficie total (explotación ideal de 100 ha).
- b) Limitaciones de la PAC (obligación de retirada de tierras, límite a la superficie de girasol y cuota de remolacha).
- c) Sucesión y frecuencia de los cultivos (según la encuesta realizada a los productores).
- d) Limitaciones de mercado y limitaciones tradicionales (aplicable a la alfalfa, único cultivo en la zona de carácter especulativo).

4.2. Ponderación de pesos de los objetivos y obtención de la función de utilidad.

Una vez definido el modelo, se han optimizando sucesivamente los distintos objetivos propuestos: maximizar MB y minimizar VAR y MO. Con los valores obtenidos se construye la siguiente matriz de pagos:

Tabla 1. Matriz de pagos				
<i>Valores Alcanzados</i>	<i>Valores Óptimos</i>			Realidad
	MB	VAR	MO	
MB (ptas./ 100 ha)	14.127.856	3.413.705	2.776.138	12.328.862
VAR (Ud./ 100 ha)	39.454	558	863	21.283
MO (jornales / 100 ha)	810,3	93,9	40,0	706,5

De esta tabla podemos obtener la información necesaria para comparar los valores reales de las variables de decisión y los que toman cuando se optimizan los distintos objetivos por separado, apreciándose los conflictos existentes entre los mismos.

Se nota además que, cuando queremos optimizar un único objetivo, la solución obtenida se aleja bastante de la realidad. Esto parece lógico, ya que los agricultores en la práctica se comportan de acuerdo a un conjunto de objetivos, y no solamente en función de uno sólo. Lo que se persigue con esta técnica es, por tanto, conocer cuáles son éstos y en qué medida participan en la toma de decisiones. Para ello, partiendo de la anterior matriz de pagos, se puede construir el modelo que permite obtener el peso de los diferentes objetivos:

De la resolución del procedimiento multicriterio antes comentó, se han obtenido las siguientes ponderaciones de los diferentes objetivos:

W_1 (maximizar el margen bruto, MB)	=	0,8321
W_2 (minimizar el riesgo, VAR)	=	0,1679
W_3 (minimizar la mano de obra, MO)	=	0,0000

Ante los resultados obtenidos se puede afirmar que, a nivel agregado, los agricultores de la CR del Bajo Carrión maximizan el margen bruto (MB) con un peso de 0,8321 y minimizan el riesgo (VAR) con un peso de 0,1679. Es decir, el comportamiento revelado por los agricultores a nivel agregado queda subrogado por una función de utilidad del tipo:

$$U = 83,21\% \text{ MB} - 16,79\% \text{ VAR}$$

Debe igualmente destacarse que la minimización de la mano de obra, como indicador de los costes y la complejidad gerencial, no es un objetivo tenido en cuenta por los regantes objeto de estudio. Este resultado muestra que la hipótesis inicial de su consideración por parte de estos productores era errónea, descartándose su participación en la función de utilidad multiatributo.

Para el empleo práctico de la anterior función de utilidad en los modelos de simulación se deben normalizar primero los pesos, para obtener así unas magnitudes adimensionales que permitan las operaciones algebraicas correspondientes. Para ello se divide el valor de los pesos de cada atributo por la diferencia entre los mejores y peores valores que alcanza cada atributo en la matriz de pagos (puntos conocidos como “ideal” y “anti-ideal” respectivamente). Así, el MB se divide por (14.127.856 - 2.776.139) y la VAR por (39.454 - 558), resultando la siguiente función de utilidad transformada:

$$U = 7,33 \text{ MB} - 431,69 \text{ VAR}$$

Teniendo en cuenta que la población de estudio (regantes de la CR del Bajo Carrión) 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. Será ésta por tanto la que se considere como función objetivo a maximizar en su toma de decisiones (elección del plan de cultivos).

4.3. Simulaciones: cálculo de las funciones de demanda de agua de riego y disponibilidad a pagar por la incorporación de tecnología ahorradora del recurso.

La generación de la curva de demanda de agua exige la construcción del correspondiente modelo de simulación. Éste será semejante al que nos ha permitido obtener la matriz de pagos anterior, pero modificado en los siguientes aspectos:

1. La función a optimizar (maximizar) es la función de utilidad anteriormente obtenida.
2. Para el cálculo del margen bruto (MB_i) de cada uno de los cultivos se considera un coste extra, generado por la tarifa del agua considerada.
3. Se introducen nuevas actividades para posibilitar la modelización de los cultivos con riegos deficitarios y de los cultivos de secano realizados en la zona.

A este último respecto hemos de señalar cómo en el modelo de simulación no se va a asignar una única actividad (variable de decisión, x_i) por cultivo. En el interés por modelizar estos sistemas agrarios con la mayor fidelidad posible, se ha optado por introducir la posibilidad que los agricultores realicen riegos deficitarios y, en caso extremo, cultivos de secano (sin riego alguno). Así, para los cultivos considerados se han establecido diferentes dosis de riego (y la posibilidad del secano si ésta es factible) considerándose cada binomio cultivo-dosis de riego como actividades independientes (x_i). A cada una de ellas, lógicamente, se les han asignado rendimientos esperados y MB diferentes.

Planteado así el modelo, la forma de operar para simular el comportamiento de los agricultores en cada uno de ellos será parametrizar el valor del agua de riego, comenzando con una tarifa de 0 ptas/m³. Esta tarifa será la que se irá incrementando progresivamente, incorporándose como un coste variable del cultivo. Así se podrá calcular para cada tarifa el plan de cultivo eficiente, y con ello el consumo de agua (curva de demanda de agua de riego), la renta y la recaudación obtenida por el Estado, el empleo generado y los fertilizantes consumidos.

Con este procedimiento, sin mayores alteraciones del modelo original, se podrá establecer, por tanto, la demanda de agua por parte de los regantes de la zona de estudio dentro de su actual situación tecnológica. Sin embargo, este mismo procedimiento de parametrización del precio del agua también podría emplearse para conocer la curva de demanda bajo otros supuestos de eficiencia en el uso del recurso. Así, se establece las posibilidades de incorporar tecnologías de riego que ahorren un 10%, un 20%, un 30% y 40% de agua empleada en la zona regable. Para ello bastará con modificar en nuestro

modelo original las necesidades hídricas de los cultivos. El resultado será por tanto la estimación de cuatro nuevas curvas de demanda, una por cada uno de los escenarios de ahorro de agua planteado.

En este trabajo se asume que la incorporación de tecnología ahorradora de agua no afecta la variabilidad de márgenes de brutos de los cultivos; tan sólo supondrá un ahorro corriente por la disminución del pago de tarifas. Teniendo en cuenta esta suposición, la estimación de la disponibilidad a pagar por estas tecnologías se realiza obteniendo la diferencia de márgenes brutos obtenidos por los regantes con cada tecnología de riego. Efectivamente, para cada precio del agua (consideramos 4, 6 y 8 ptas/m³ como tarifas más probables) la disponibilidad a pagar de los regantes se corresponderá con el ahorro en las tarifas (aumento del MB) que cada tecnología proporcione.

Las cuantías así resultantes como disponibilidad a pagar se obtienen en ptas/ha y año. Para que esta magnitud permita comparaciones con la magnitud requerida para la realización de las inversiones necesarias para la introducción de esas tecnologías, se realiza la correspondiente suma de flujos actualizados. Para ello consideraremos que las inversiones de mejora tienen una vida de 25 años y que a los ahorros producidos anualmente se pueden actualizar a una tasa del 4%. Con ello se puede obtener la disponibilidad a pagar total por la incorporación de tecnologías ahorradoras de agua.

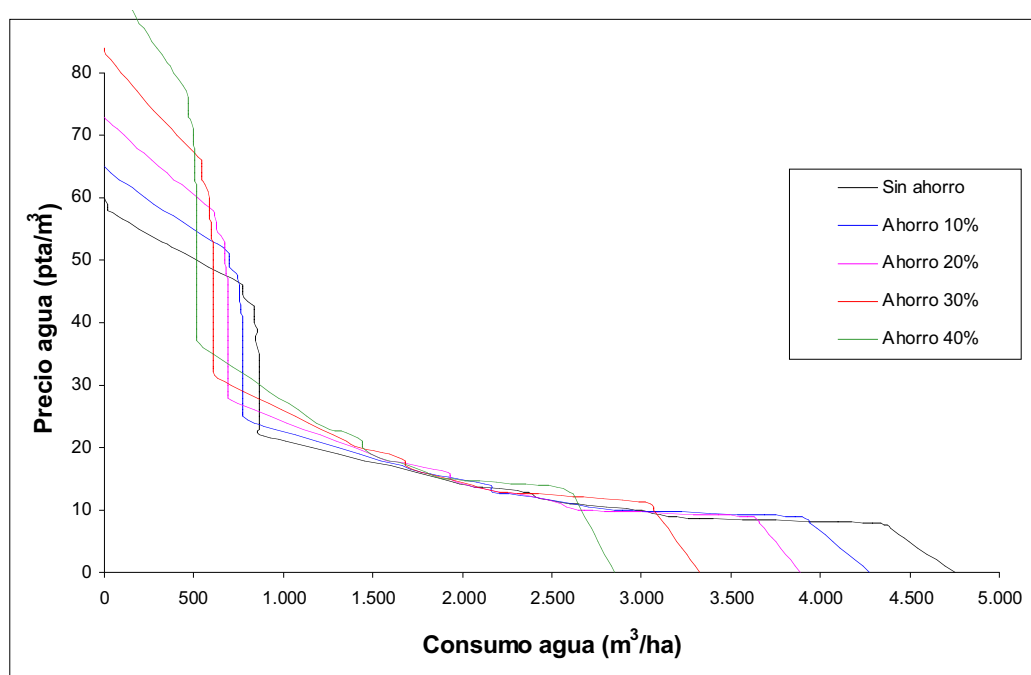
Las cifras así obtenidas nos permitirán posteriormente la comparación con las inversiones reales necesarias para la realización de las correspondientes obras de mejora y modernización y, por diferencia, se podrá estimar la necesaria subvención pública para que esta innovación sea realidad.

5. RESULTADOS

5.1. Curva de demanda de agua.

Como resultado de las simulaciones antes apuntadas, obtenemos como primer resultado las curvas de demanda de agua en función del ahorro que puede proporcionar la inversión en las distintas tecnologías de riego (Figura 1).

Figura 1. Curvas de demanda de agua.



Podemos observar cómo, a pesar de que existen diferencias entre las distintas curvas, todas ellas siguen un patrón similar, en cuanto que podemos distinguir 2 tramos claramente diferenciados:

- *Tramo “inelástico”*. En este primer tramo, la reacción de los regantes ante incrementos en el precio del agua no se corresponde con disminuciones significativas del consumo de la misma. La explicación de la existencia de este primer tramo hay que buscarla en la resistencia de los agricultores a cambiar sus planes de cultivo originales por otros que sean menos demandantes de agua.
- *Tramo “elástico”*. En un segundo tramo, para precios mayores, la curva de demanda de agua adquiere una forma más elástica; es decir, ante aumentos sucesivos del precio, el agricultor cambia sus planes de cultivo introduciendo progresivamente aquéllos con menor consumo hídrico, y disminuyendo, por tanto, el consumo total de agua.

Este mismo patrón de comportamiento de las curvas de demanda ya se ha descrito anteriormente, pudiendo destacar los estudios de Sumpsi *et al.* (1999) y Gómez-Limón y Berbel (1999).

La existencia del tramo inelástico se debe básicamente a la rigidez de las estrategias de los regantes para adaptarse a la tarificación del agua en el corto plazo. Efectivamente, en la C.R. del Bajo Carrión la única adaptación a corto plazo que pueden realizar los regantes es la sustitución de cultivos de regadío por cultivos de secano, habida cuenta del escaso número de cultivos y técnicas agrícolas posibles (Sumpsi *et al.*, 1999). De este modo, el inicio del tramo elástico de la curva de demanda coincide con la sustitución del trigo de regadío por la cebada de secano. Así, el punto de inflexión que separa ambos tramos se produce cuando la utilidad (rentabilidad y seguridad en el MB, ponderadas según la expresión multiatributo) aportada por ambos cultivos se iguala. Hasta dicho nivel de precios del agua apenas se producen cambios de cultivos o de técnicas ahorradoras de agua (uso de riegos deficitarios), conservándose el plan de cultivos actual. Tras este punto de inflexión, se van sustituyendo cultivos altamente demandantes de agua por otros de secano, hasta llegar a una alternativa cebada-girasol completamente de secano. Así, sucesivamente van desapareciendo los cultivos de trigo, maíz, alfalfa y remolacha, a medida que el precio del agua hace que su utilidad sea inferior a la de los cultivos de secano.

A pesar de estas similitudes entre las distintas curvas observadas en la Figura 1, podemos apreciar también ciertas diferencias entre ellas:

- A lo largo del tramo inelástico que presentan las curvas de demanda, observamos que a medida que aumenta el ahorro de agua conseguido con las mejoras tecnológicas, disminuye la cantidad demandada de agua para cada precio. Para una mejor observación de estas diferencias en el consumo de agua puede observarse la Tabla 2, en relación a las tarifas más probables que se repercutirán a los agricultores.
Asimismo, dentro de este tramo, podemos observar cómo a medida que se incrementa el nivel de ahorro de agua de riego como consecuencia de la adopción de mejoras tecnológicas, los agricultores son más insensibles al incremento de los precios del recurso. De este modo, podemos observar cómo el tramo inelástico de las curvas es mayor a medida que mejora la tecnología de riego.
- Siguiendo la pendiente de las curvas, llegamos a los tramos elásticos, en los que podemos apreciar que las curvas de demanda se solapan entre sí. Esto nos indica que independientemente de cuál sea el ahorro generado por la innovación de los equipos de riego, la cantidad demandada para cada precio será similar. De este modo, la inversión en tecnología de riego para estos niveles de precios no será una herramienta realmente efectiva para lograr importantes diferencias de ahorro en el agua consumida.

- En el tramo final de las curvas de demanda, podemos observar que el precio máximo que los agricultores estarán dispuestos a pagar por el agua de riego será más elevado a medida que aumente la eficiencia de la tecnología utilizada, pasando así de una capacidad de pago máxima de 95 pta/m³ en el caso de un ahorro del 40% a una tarifa máxima admisible de 60 pta/m³ para el caso actual en el que no hay innovación tecnológica (sin ahorro de agua).

En el presente trabajo, por las razones comentadas con anterioridad, nos centraremos en un intervalo de precios del agua que abarca desde las 4 hasta las 8 pta/m³, al considerar que éste se aproxima con alta probabilidad al futuro escenario de tarificación que contempla la aplicación de la DMA. En este sentido, la Tabla 2 expone la influencia de los diferentes escenarios sobre el consumo de agua.

Tabla 2. Disminución del consumo de agua (m³/ha)*.

Tecnología de riego	Precio agua		
	4 pta/m ³	6 pta/m ³	8 pta/m ³
Sin ahorro	206 (4,34%)	310 (6,52%)	413 (8,69%)
Ahorro 10%	642 (13,52%)	726 (15,28%)	810 (17,04%)
Ahorro 20%	977 (20,57%)	1.034 (21,76%)	1.090 (22,95%)
Ahorro 30%	1.527 (32,13%)	1.577 (33,19%)	1.628 (34,26%)
Ahorro 40%	1.975 (41,56%)	2.012 (42,35%)	2.049 (43,13%)

*Entre paréntesis aparece el porcentaje que supone la disminución del consumo sobre la demanda actual.

Así pues, y teniendo presente que nuestro análisis se reduce al primer tramo inelástico de las curvas de demanda consideradas, podemos observar en la tabla anterior que sin innovación tecnológica el máximo ahorro de agua que podremos alcanzar, concretamente para una tarifa de 8 pta/m³, será inferior al 9%. Este hecho nos indica que la aplicación de la DMA como única política de demanda de agua, no conseguirá su objetivo de reducir de forma considerable el consumo de agua por parte de la agricultura. Por el contrario lo que sí provocará la tarificación de los recursos hídricos, será una disminución de las rentas agrarias a consecuencia del aumento de costes en el desarrollo de su actividad. Este mismo efecto colateral también ha sido descrito en trabajos anteriores como el de Sumpsi *et al.* (1999) y Gómez-Limón y Berbel (2000).

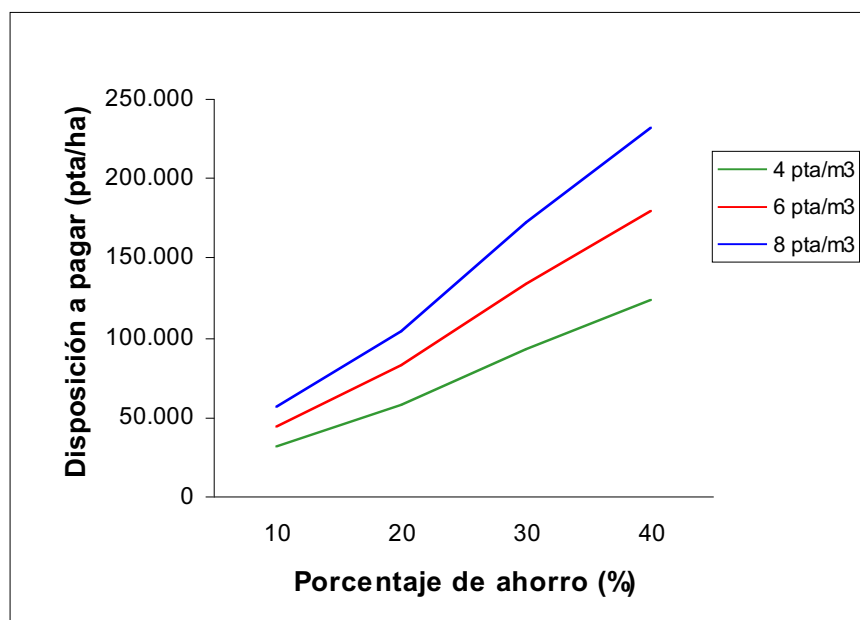
De los resultados de esta misma tabla también queda patente que, para conseguir los objetivos de racionalidad y ahorro de agua se requiere de una política activa de modernización y mejora de infraestructuras de regadío; sólo con ello se pueden obtener ahorros que superen el 10% del agua actualmente empleada.

5.2. Disponibilidad a pagar por una tecnología ahorradora de agua. Necesidad de subvenciones públicas.

La adopción de tecnologías ahorradoras de agua permitirá utilizar de forma más eficiente el agua derivada para el riego, consiguiendo así disminuir la cantidad utilizada para el desarrollo de las actividades agrícolas. La pregunta clave para conocer si estas tecnologías de riego se implantarán realmente es saber si éstas resultan lo suficientemente atractivas para los agricultores. En definitiva se trata de conocer qué cantidad estarán dispuestos a invertir los agricultores en dichas tecnologías, y si ésta es suficiente para financiar las correspondientes innovaciones.

Siguiendo la metodología comentada con anterioridad, y para un escenario de tarifas planteado como el más probable, la Figura 2 representa la disponibilidad a pagar (DAP) por dichas tecnologías de riego que mejoran la eficiencia del uso del recurso. Esta DAP será el punto de partida de todo el análisis que se presenta a continuación.

Figura 2. Disposición a pagar por una tecnología ahorradora de agua.



En la figura anterior podemos observar, tal como predice la Teoría Económica, que los regantes estarán dispuestos a invertir una mayor suma de dinero en la modernización de su explotación a medida que aumenta el precio del agua de riego. Efectivamente, a medida que el input se encarece, el ahorro que generan las nuevas tecnologías se incrementa, y con ello la disponibilidad de pago de los regantes. Así, para una mejora que permita un ahorro del 10% la disposición a pagar aumenta desde 30.534 pta/ha para una tarifa del agua de 4 pta/m³, hasta las más de 56.000 pta/ha cuando el precio del agua alcanza las 8 pta/m³ (ver también Tabla 3).

Las distintas innovaciones tecnológicas de riego permiten pasar de la situación actual de la zona regable, con una eficiencia que ronda el 50%¹¹, a distintas situaciones futuras en las que se pueden conseguir ahorros de agua entre el 10% (mejora de las conducciones sin cambiar el sistema de riego) y el 40% (paso a riego por goteo). No obstante, es necesario apuntar que este incremento de la eficiencia en el uso del agua no puede lograrse de forma continua; las innovaciones tecnológicas posibles permiten lograr mejoras de eficiencia concretas, reduciendo así las posibilidades de opción a un conjunto discreto y limitado de alternativas.

Para analizar la disposición a pagar que presentan los agricultores de la C.R. del Bajo Carrión ante la modernización de la zona regable, estudiamos dos posibles opciones de forma concreta, ya contempladas por la propia Comunidad:

- a. *Propuesta de modernización de la zona regable mediante la construcción de balsas reguladoras que permitan un mejor aprovechamiento de los retornos.* Esta modernización prevé un ahorro del

¹¹ Esta baja eficiencia es fruto de las características estructurales de la zona analizada, la cual presenta un riego mayoritario por superficie, por turnos y con conducciones de una antigüedad superior a los 30 años.

10% de la cantidad de agua utilizada por los regantes, mejora presupuestada en 600 millones de pta. Esta cantidad supone una inversión total de 90.000 pta/ha.

Teniendo en cuenta los posibles niveles de precios del recurso que podrán encontrarse los agricultores con la aplicación de la DMA y el ahorro de agua que esta inversión supone, podemos ver en la siguiente tabla cuál será su disponibilidad a pagar por adoptar este tipo de mejora concreta de su sistema de riego.

Tabla 3. Necesidad de subvención para una mejora tecnológica con un ahorro del 10%.

Precio agua	DAP por regantes (pta/ha)	Necesidad subvención (pta/ha)	Total inversión (pta/ha)
4 pta/m ³	30.534	59.466	90.000
6 pta/m ³	43.963	46.037	90.000
8 pta/m ³	56.166	33.834	90.000

Así, tal como se ha comentado, vemos que a medida que aumenta el precio del agua, aumenta la disponibilidad a pagar de los agricultores para mejorar la tecnología de riego. Esto se debe a que gracias a esta inversión, los agricultores obtendrán un beneficio propio derivado del menor consumo de agua en el desarrollo de su actividad. Sin embargo, en ningún caso dicha DAP será suficiente para afrontar autónomamente esta inversión, de forma que su realización dependerá de la existencia de subvenciones públicas. La cuantía de estas últimas deberá alcanzar entre el 38% y el 66% de la inversión total, para una tarificación de 8 y 4 pta/m³ respectivamente.

Estos resultados son coincidentes con lo que ha ocurrido en la realidad. Concretamente esta opción de mejora de la tecnología de riego se estudió en profundidad por la C.R. analizada, llegándose a solicitar subvenciones públicas para su realización. Dichas ayudas públicas para la modernización de la zona regable se aprobaron para financiar el 60% de la inversión total, si bien finalmente éstas se consideraron insuficientes por los regantes. Esto fue consecuencia del bajo estímulo (DAP) que tienen los agricultores para invertir en mejoras de tecnología de riego en un escenario como el actual, donde los precios marginales del agua son nulos. Quizá cuando la aplicación de la DMA sea una realidad, y comiencen a aumentar los precios del agua, esta forma de mejora de la infraestructura de riego llegue a resultar atractiva para los propios regantes y sea implantada en la zona.

- b. Propuesta de modernización de la zona regable mediante la construcción de balsas de regulación e impulsión que permitan pasar de un riego actual por superficie a riego por aspersión en toda la Comunidad.* Esto permitirá, al igual que en el caso anterior, un uso más eficiente del agua de riego. Este proyecto de modernización prevé una disminución de la cantidad de agua consumida del 30%, estando presupuestada dicha mejora en 7.900 millones de pta (1.200.000 pta/ha).

En la siguiente tabla vemos que, al igual que en el caso anterior, la disposición a pagar de los regantes por esta mejora tecnológica también aumenta a medida que se incrementa el precio del agua.

Tabla 4. Necesidad de subvención para una mejora tecnológica con un ahorro del 30%.

Precio agua	DAP por regantes (pta/ha)	Necesidad subvención (pta/ha)	Total inversión (pta/ha)
4 pta/m ³	92.376	1.107.624	1.200.000
6 pta/m ³	133.629	1.066.371	1.200.000
8 pta/m ³	171.593	1.028.407	1.200.000

Para afrontar esta mejora tecnológica, podemos apreciar que, al igual que en el caso de una innovación tecnológica que proporcione un ahorro del 10%, será necesario complementar la aportación que los regantes estarían dispuestos a realizar (DAP) con subvenciones públicas que cubran el resto de la inversión. Un dato a destacar es que, en este caso particular, el hecho de conseguir un ahorro del 30% de la cantidad consumida requerirá una subvención muy superior a la del caso anterior, necesitando así una financiación pública del proyecto que aborde entre el 85,7% de la inversión, para una tarifa del agua de 8 pta/m³, y el 92,3% en caso que la tarifa sea de 4 pta/m³.

5.3. Eficiencia social de la modernización de regadíos.

La modernización de los regadíos supone una mejora en la eficiencia del uso del agua por parte de los regantes. Sin embargo, tal como hemos comentado, los agricultores sólo estarán dispuestos a pagar por el beneficio privado que les genere dicha modernización. El resto de la inversión deberá afrontarlo la sociedad a través de subvenciones, si ésta quiere que estas mejoras realmente se realicen. En este contexto la pregunta a responder es si la sociedad está interesada en aportar recursos presupuestarios a este tipo de inversiones de mejora de regadíos. En definitiva se trata de conocer la eficiencia económica de este tipo de políticas.

A pesar que la modernización de la tecnología de riego va a suponer para los agricultores una disminución de los costes por consumo de agua en su actividad (al conseguir reducir la cantidad de agua utilizada), la sociedad también obtiene una serie de beneficios por este tipo de inversiones. Básicamente, éstos son dos: el ahorro de agua obtenida que podrá utilizarse para otros usos más valorados por la sociedad, y el mantenimiento de empleos en el mundo rural, evitando así su abandono. Así pues, la pregunta planteada anteriormente puede concretarse en conocer si estos beneficios compensan el esfuerzo presupuestario requerido para subvencionar la modernización del regadío.

Tal como se ha señalado, uno de los beneficios que obtendrá la sociedad por estas inversiones es el ahorro de la cantidad de agua utilizada en la actividad agrícola, lo que proporcionaría una mayor disponibilidad de recursos hídricos para otros usos:

- Abastecimiento urbano, de claro interés social al aumentar la calidad de vida de los habitantes de las ciudades.
- Actividades industriales, las cuales pueden emplear nuevos recursos hídricos como input de sus procesos productivos y con ello generar nueva riqueza.
- El medioambiente, destinando más agua al incremento y mantenimiento de caudales en cauces y ecosistemas acuáticos. Sin embargo, a diferencia de los casos anteriores, este uso alternativo no tiene capacidad de pago propia (tiene que realizarse internalizando los costes en los presupuestos públicos), también representa un beneficio para la sociedad en la medida que ésta valora el mantenimiento de los sistemas naturales, tanto por su intrínseca riqueza biológica como por su disfrute en el tiempo de ocio (pesca, paisaje, etc.).

En este sentido, la sociedad debería valorar en términos monetarios los volúmenes de agua ahorrados en el sector agrario como una compensación por las subvenciones realizadas para modernización y mejora de sus infraestructuras. Este tipo de valoración sobrepasa el objetivo del presente trabajo, pero lo que si deseamos poner de manifiesto son las importantes cantidades de agua que pueden ahorrarse cada año con la aplicación conjunta en ambas políticas de demanda, tal y como muestra la Tabla 5.

Tabla 5. Cantidad de agua ahorrada en la C.R. Bajo Carrión (Hm³/año).

Tecnología de riego	Precio agua		
	4 pta/m ³	6 pta/m ³	8 pta/m ³
Ahorro 10%	4,24	4,79	5,34
Ahorro 20%	6,45	6,82	7,20
Ahorro 30%	10,08	10,41	10,74
Ahorro 40%	13,03	13,28	13,52

A pesar de la dificultad de valoración de este ahorro de agua, pero para comprender la magnitud de los ahorros que se pueden conseguir, puede señalarse que para el primer caso de mejora antes analizado (ahorro del 10% de agua), y para la tarifa intermedia, el ahorro sería de 4,8 millones de m³ al año. Si se pensase, en una valoración más que prudente, que algún otro usuario (ciudad o industria) estuviese dispuesto a pagar 20 pta/m³ por nuevos recursos, la valoración de este ahorro sería de 96 millones de pta al año. Esta corriente de flujos monetarios durante los años en los que el ahorro fuese una realidad generaría una valoración total próxima a los 1.500 millones de pta¹², frente a los 303 millones de subvenciones que habría que aportar para la ejecución de la oportuna inversión.

Para el segundo de los casos concretos de modernización expuesto, y siguiendo un planteamiento igual al anterior, el ahorro del agua podría valorarse como mínimo en 210 millones de pta/año, lo que equivaldría a una suma actualizada de 3.300 millones de pta. Esta cantidad se contrapone con los 7.000 millones de pta de subvenciones que se requerirían para su ejecución.

El segundo beneficio que puede percibir la sociedad por el ahorro de recursos hídricos debido a la mejora de la tecnología de riego es el mantenimiento un mayor número de empleos (y por tanto de habitantes) en las zonas rurales. Efectivamente, si no se realizase una política activa de modernización, y por lo comprobado hasta el momento, habría muchas zonas regables que estarían destinadas a ir desapareciendo por obsolescencia de su infraestructura de riego. De hecho, esta circunstancia es una realidad que ya ha ocurrido en algunos regadíos tradicionales del interior peninsular. Este abandono del regadío supone la sustitución en estas zonas de cultivos de regadío (remolacha, alfalfa o el maíz) por otros de secano, mucho menos rentables y con menor demanda de mano de obra, que a la postre implica una menor capacidad de fijar población. Concretamente, la desaparición del regadío en la zona estudiada en este trabajo supondría pasar de un empleo agrícola directo de 214 UTA a tan sólo 62 UTA¹³ (disminución del 71% del empleo agrario). Además de esta mano de obra directa, habría que valorar las pérdidas indirectas en los sectores secundario y terciario enclavados en el mundo rural y dependientes de las producciones y rentas del regadío. En definitiva se trataría de una pérdida muy importante de trabajo en zonas eminentemente agrarias que induciría muy probablemente a un aumento del éxodo rural ya existente.

La sociedad europea desde hace ya tiempo considera que el patrimonio natural y cultural del mundo rural es un elemento a mantener, de ahí las constantes ayudas al sector agrario y al desarrollo rural a nivel europeo y nacional. Sin embargo, la valoración de este patrimonio y la conservación que del

¹² Se trataría de una suma actualizada de los flujos durante 25 años con una tasa de actualización del 4%.

mismo se puede hacer manteniendo las zonas regables es igualmente de difícil valoración, por lo que no nos atrevemos a dar ni siquiera una cifra indicativa.

En este orden de cosas, quedaría por tanto sin responder la pregunta de si los beneficios sociales que genera la modernización de regadíos compensa las subvenciones que ésta exige; en definitiva, si este tipo de política es económicamente eficiente. Para poder responder sería necesaria una valoración económica precisa de los elementos antes apuntados.

Debido a la evidentes complicaciones que la valoración de estos efectos de las políticas económicas acarrea, las sociedades democráticas suelen delegar en la clase política para la realización de estas valoraciones de forma un tanto subjetiva. Así los gobernantes, como representantes sociales, deben ser los que finalmente determinen la conveniencia o no de las subvenciones a la mejora de las zonas regables, valorando no sólo su eficiencia económica, sino también su equidad.

6. CONCLUSIONES.

Las conclusiones que se desprende del presente trabajo pueden resumirse en los siguientes puntos:

- En el *plano metodológico*, se puede considerar que el planteamiento teórico desarrollado, basado en la Teoría de la Utilidad Multiatributo, ha sido un *instrumento útil para simular el comportamiento de los regantes* ante el futuro incremento de los precios del agua contemplado en la DMA. A través de ella hemos podido analizar cuál será la DAP de los agricultores por una tecnología de riego ahorradora de agua ante distintos escenarios de tarificación del recurso, así como las necesidades de subvenciones para su realización.
- De los resultados obtenidos se desprende la *necesaria combinación de las políticas de tarificación de agua y de modernización y mejora de los regadíos* para lograr de una forma más efectiva los objetivos planteados de racionalidad en el uso del agua, tal como propugnan las políticas de gestión de los recursos hídricos basadas en la demanda.
- Para que sean una realidad las innovaciones tecnológicas que proporcionen aumentos en la eficiencia del uso de agua en la zona regable analizada, no será suficiente con las inversiones que los regantes están dispuestos a realizar de forma autónoma, sino que *será necesaria una política de subvenciones públicas* que cubra una parte importante de los costes que supondrán estas mejoras. Estas necesidades de subvención serán proporcionalmente mayores a medida que aumenta la eficiencia del sistema de riego.
- La política de subvenciones públicas al regadío puede justificarse desde el punto de vista de los *beneficios que las mejoras en el regadío reportan para el conjunto de la sociedad*. Estos beneficios, difíciles de valorar monetariamente, se concretan en el incremento de la disponibilidad de agua para otros usos distintos del agrario y en el mantenimiento de la población en las zonas rurales.

La dificultad de valoración económica de los beneficios sociales de la mejora de regadío exige a los gobernantes realizar valoraciones subjetivas sobre la eficiencia y equidad de tales políticas y, por tanto, la toma de decisiones oportuna.

¹³ Una UTA (Unidad de Trabajo Agraria) equivale a un empleo de dedicación exclusiva en actividades agrarias.

BIBLIOGRAFÍA

- AMADOR, F.; SUMPSI, J.M. y ROMERO, C. (1998) "A Non-interactive Methodology to Assess Farmers' Utility Functions: An Application to Large Farms in Andalusia, Spain". *European Review of Agricultural Economics*, nº 25, pp. 95-109.
- BALLESTERO, E., ROMERO, C. (1998) *Multiple Criteria Decision Making and its Applications to Economic Problem*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- EDWARDS, W. (1977) "Use of multiattribute utility measurement for social decision making", en D.E. BELL, R.L. KEENEY y H. RAIFFA (eds.) *Decisions*. John Wiley & Sons, Chichester.
- FARMER, P.C. (1987) "Testing the robustness of multiattribute utility theory in an applied setting". *Decision Sciences*, nº 18, pp. 178-193.
- FERNÁNDEZ, E. y ARIAS, C. (2000) *La demanda de tecnología ahorradora de agua en la agricultura de regadío*. VI Conferencia Internacional del Seminario Permanente Ciencia y Tecnología del Agua. Economía del agua: hacia una mejor gestión de los recursos hídricos. Iberdrola. Valencia.
- FISHBURN, P.C. (1982) *The Foundations of Expected Utility*. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- GÓMEZ-LIMÓN, J.A. y ARRIAZA, M. (2000) "Socio-Economic and Environmental Impact of Agenda 2000 and Alternative Policy Choices for Market Liberalisation on an Irrigated Area in Northwestern Spain". *Agricultural Economics Review*, nº 2, pp. 18-30.
- 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*, Vol. X, nº 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*, nº 63, pp. 49-72.
- HARDAKER, J.B.; HUIRNE, R.B.M. y ANDERSON, J.R. (1997) *Coping with Risk in Agriculture*. CAB International, Oxon, UK.
- HUIRNE, R.B.M. Y HARDAKER, J.B. (1998) "A multi-attribute utility model to optimise sow replacement decisions". *European Review of Agricultural Economics*, nº 25, pp. 488-505.
- KEENEY, R.L. y RAIFFA, H. (1976) *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade Offs*. John Wiley & Sons, Nueva York.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (1999) *Plan Nacional de Regadíos. Horizonte 2008*. MAPA, Madrid.
- RANDALL, A. (1981) "Property entitlements and pricing policies for a maturing water economy". *The Australian Journal of Agricultural Economics*, Vol. XXV, nº 3, pp. 195-220.
- ROMERO, C. (1991) *Handbook of Critical Issues in General Programming*. Pergamon Press, Oxford.
- ROMERO, C. y REHMAN, T. (1989) *Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decision*. Elsevier, Amsterdam.
- SIMON, H.A. (1972) "Theories of bounded rationality", en C.B. RADNER y R. RADNER (eds.) *Decision and Organization*. North Holland Publishing Company, Amsterdam.
- 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.
- SUMPSI, J.M.; AMADOR, F. y ROMERO, C. (1997) "On Farmers' Objectives: A Multi-Criteria Approach". *European Journal of Operational Research*, Vol. XCVI, nº 1, pp. 64-71.
- SUMPSI, J.M.; GARRIDO, A.; BLANCO, M.; VARELA, C. e IGLESIAS, E. (1999) *Economía y política de gestión del agua en la agricultura*. Mundi-Prensa, Madrid.