

UNA REVISIÓN DE METODOLOGÍAS DE ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DEL AGUA DE RIEGO

M^a José López Baldovín y Julio Berbel Vecino

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

Resumen

La recientemente aprobada Directiva Marco de Aguas de la UE propone eliminar las tradicionales estrategias de oferta de agua, exigiendo a los Estados miembros la repercusión de los costes a los usuarios del recurso, entre los cuales se incluyen a los agricultores de regadío. Tal circunstancia justifica la necesidad de realizar estudios sobre la demanda de agua de riego en las distintas zonas regables (cuantificación de elasticidades, análisis de las respuestas de los productores ante incrementos del precio del agua, etc.). Son muchos los trabajos que han abordado esta tarea, aplicando diversas metodologías: modelización a través de la programación matemática de diversos tipos, métodos econométricos, estimaciones de valoraciones de agua a partir de datos contables, análisis basado en precios de la tierra, etc. El objetivo prioritario de este trabajo es clasificar las metodologías utilizadas para tal fin, estableciendo las ventajas e inconvenientes de cada una. Como segundo objetivo, se pretende establecer la validez de dichas metodologías en función de los distintos objetivos que puedan considerarse.

1. Introducción

1.1. La Directiva Marco de Aguas y la función de demanda de agua

La Directiva Marco de Aguas (DMA) supone una revolución en la política hidráulica de los países comunitarios, pues éstos deberán poner en vigor una serie de disposiciones legales y administrativas, antes de finales de 2003 (artículo 24). La Directiva apuesta por el empleo de instrumentos económicos, destacando la introducción de la tarificación del recurso, como medida para su conservación. Para ello 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 que “quien contamina paga” (art. 9).

Ello justifica la necesidad de estudiar la demanda de agua de riego en distintas zonas, por ser los agricultores los mayores demandantes del recurso y obtener la relación entre consumo de agua y precio. La construcción de curvas de demanda en el sector agrícola y la cuantificación de elasticidades, análisis de las respuestas de los productores ante incrementos del precio del agua, etc., son un paso necesario en esa línea.

1.2. Objetivo del estudio

Pretendemos hallar la metodología más adecuada para crear modelos económicos en los sistemas de riego con agua superficial, que sea aplicable a toda la Europa afectada por la DMA y que no requiera grandes cantidades de información, para no exigir grandes inversiones de tiempo y dinero. Calcular las consecuencias reales de aplicar la DMA en las diferentes zonas regables, conllevaría un riguroso y arduo estudio de impactos que, dada la magnitud de la tarea, necesita un enfoque metodológico pragmático, así como una correcta proporción entre modelización de la realidad y magnitud del coste.

Este objetivo se alcanzó a través de las siguientes actividades:

- * Revisar los trabajos publicados hasta el día de hoy referentes a la obtención de curvas de demanda de agua de riego.
- * Realizar una nueva clasificación de metodologías.
- * Analizar críticamente tales metodologías.
- * Estudiar qué metodología es más adecuada para modelizar el impacto de la DMA.

2. Calculo de la función de demanda de agua de riego

Hallar el valor económico del agua, requiere conocer la demanda de los usuarios. Aquel que establezca para el agua el valor máximo, será quien determine el valor económico del recurso. El análisis de la disposición al pago por el agua en la agricultura con el objeto de establecer tarifas sobre su uso puede abordarse mediante diferentes métodos:

- * Análisis residual o basado en datos contables
- * Basado en la productividad marginal
 - Trabajos basados en la función de producción
 - Modelos econométricos
 - Modelos de programación matemática
- * Basado en otras metodologías
 - Precios hedónicos
 - Valoración contingente

2.1. Análisis residual (Net-back analysis)

Este método se basa en deducir de los ingresos provenientes de cada tipo de cultivo los costes no atribuibles al agua de riego. El remanente final se equipara al valor económico del agua. Un ejemplo de su aplicación es el estudio de Bate y Dubourg (1997), que estima la demanda o disposición al pago por el agua en la agricultura de una región de Reino Unido, y compara el precio del agua con los ingresos obtenidos por la actividad agrícola, para evaluar si la agricultura sigue siendo rentable. Se concluía que, de no ser por los subsidios a los cultivos, la agricultura no era una actividad rentable.

Este método, además de requerir una gran cantidad de información para ser operativo, tiene el inconveniente de atribuir todo el valor residual resultante al agua (es decir, la diferencia entre los ingresos generados por los cultivos y el coste de los inputs diferentes al agua), y no considerar otras partidas a las que atribuir parte de ese residuo (como la gestión empresarial del agricultor, el riesgo asumido por los productores, etc).

2.2. Basados en la productividad marginal

El volumen de trabajos que usan esta metodología hace que la consideremos como la más importante. Su fundamento es: fijando las cantidades de los demás inputs, el aumento marginal de la cantidad de producto por unidad de aumento del agua de riego es, por definición, la productividad marginal del agua. Este valor multiplicado por el precio del producto da el valor de cada unidad adicional de agua empleada en el riego. Está basado en la función de producción con varios grados de sofisticación: basados en la función de producción, modelos econométricos y programación matemática. Las técnicas principales para calcular dicha elasticidad son los modelos econométricos y la programación matemática, que dada su importancia, serán tratados aparte.

Los modelos basados en la función de producción son estudios que estiman el valor del agua de riego apoyándose en funciones de producción del cultivo frente al volumen de riego aplicado, obtenidas de forma empírica. Este enfoque fue utilizado por Gibbons (1986), tomando la primera derivada de la función de producción cultivo-agua y multiplicándola por el precio del cultivo, para obtener el valor marginal del agua. Una conclusión del estudio es que el valor del agua de riego dependía estrechamente de los precios de los cultivos. El método no se ha extendido mucho, debido a la cantidad de tiempo que se necesita invertir para obtener las funciones de producción del cultivo respecto a la aplicación de agua y a la variabilidad de los resultados en función del lugar donde se realice el experimento.

2.3. Basados en otras metodologías

2.3.1. Precios hedónicos

Metodología muy utilizada en economía ambiental. Determina en qué manera la utilidad de consumir el recurso agua afecta al precio de una serie de bienes para los que existe un mercado perfectamente definido (por ejemplo, el mercado de la tierra). El precio de la tierra se ha usado para valorar diferentes criterios (grado de contaminación, paisaje, etc.), pero son escasos los trabajos en el ámbito del agua de riego.

Un estudio llevado a cabo con esta metodología es Faux y Perry (1999), que valoraba el agua a partir de la diferencia entre el precio de venta de explotaciones de regadío y de secano pertenecientes al mismo grupo de una clasificación realizada de acuerdo a una serie de criterios de calidad, distancia a la ciudad, número de residencias permitidas por unidad de superficie, etc. Los resultados reflejaron que con esta metodología, el precio del agua variaba en la misma zona dentro de un amplio intervalo de precios.

En teoría, este análisis ofrece la ventaja de estimar el valor del agua basándose en transacciones de mercado y no en estimaciones de rendimientos, precios, costes fijos y variables de los cultivos. Pero en la realidad su aplicación sería muy difícil por la falta de transparencia y la estrechez del mercado de la tierra, donde son pocos los compradores y oferentes reales y el precio alcanza difícilmente un valor objetivo.

Presenta el inconveniente de requerir gran volumen de información sobre datos de transacciones de fincas agrarias para estimar el precio del agua implícito en dichas transacciones. Al igual que el análisis residual, considera todo el valor del residuo atribuible al agua, sin considerar otras posibilidades a las que atribuirlo. Además, el valor residual del agua obtenido correspondería en principio a la dotación hídrica correspondiente al propietario de la finca, independientemente de la cantidad utilizada.

2.3.2. Valoración contingente

Método directo para obtener curvas de demanda empíricas. Suele utilizarse en economía ambiental, para valorar el agua in situ, donde el agua sirve de soporte a actividades de recreo, normalmente desarrollo de la vida de muchas especies, etc. Ha sido poco aplicado al ámbito del agua de riego, pues al basarse en la realización de encuestas a agricultores sobre cuanto estarían dispuestos a pagar por el agua, no sólo es costoso, sino que se enfrenta con el propio conocimiento del agricultor sobre los mercados de agua. Además los resultados son muy ambiguos.

Tiwari (1996) empleó diferentes técnicas de valoración del agua de riego en Tailandia y los resultados mostraron que los valores de la disposición al pago obtenidos con este método para los agricultores, oscilaban en torno al 20% de los valores hallados mediante aproximaciones de la productividad marginal y en torno al 10% de los resultados obtenidos mediante análisis residual. Resultaba obvio que los agricultores trataban de evitar dar a conocer los verdaderos valores por temor a las consecuencias.

En general, los agricultores piensan que el Estado debe seguir financiando las infraestructuras relacionadas con el riego y, salvo casos excepcionales, hemos podido comprobar a través de nuestras propias encuestas en diversas comunidades de regantes del sur de España, que los agricultores ven el recurso agua como un bien de todos, no susceptible de comprar y vender. Esto se verifica en el estudio de Ortiz (2001), en el que se pone de manifiesto la percepción de los regantes en relación a la propiedad del agua, concluyendo de las encuestas que el 70 % de los regantes opinaba que el acceso al agua para usos agrícolas debe tener condiciones más favorables que otro tipo de usuarios (industriales o turísticos), basándose en el mayor riesgo

que implica la actividad respecto a otras por depender de la climatología, o en la necesidad del regadío para fijar la población en el medio rural, etc. En consecuencia, la calidad de los resultados a obtener por este método deja bastante que desear.

3. Modelos econométricos

Moore *et al.* (1994) obtuvieron la función de demanda de agua de riego identificando precio del agua con coste del bombeo, bajo el enfoque de *cortes transversales*. Los análisis examinan la respuesta de los regantes a la variación de precios del agua en el corto plazo. Los resultados se evidenciaron que los regantes, frente a la variación de precios del agua, prefieren cambiar la asignación de superficie de los cultivos antes que modificar el volumen de agua aplicado. La segunda evidencia fue la inelasticidad de la demanda de agua de riego, llevando a cuestionar a los precios del agua como instrumento de política que induzca a una mejor gestión de la misma. Los autores señalaron que el estudio no se refería a regantes de agua superficial, y en consecuencia, los resultados no eran transferibles a los mismos.

Otros estudios utilizan un enfoque diferente: las *series temporales*, que permite hacer predicciones acerca de la demanda futura, haciendo factible el estudio del impacto de políticas de demanda de agua (si existiesen datos de precios para el agua superficial utilizada en el regadío). El estudio de Moore (1999) es un ejemplo de modelo econométrico bajo el enfoque de series temporales o históricas que estima el precio sombra del agua de riego, definiéndose éste como el ingreso por unidad adicional de agua, a partir de la estimación de una función de ingreso, cuando se dispone de datos sobre ingresos pero no sobre costes de producción o sobre beneficio, para medir la demanda de agua de agricultores y comunidades de regantes. Para ello estimó una función de ingresos cuyas variables explicativas son la superficie regable, la cantidad de agua utilizada y los precios de los productos en cada período, de donde obtiene una expresión de ingreso marginal en función de dichas características. Moore propone que, si el agua se considera como un factor de producción fijo, su valor marginal puede calcularse como la derivada de una función de ingreso respecto a la cantidad de agua disponible. El hecho de que el agua sea un recurso generalmente asignado por la administración, cuyo precio y cantidad se establecen institucionalmente y no a través del mercado, permite considerarlo como un factor de producción fijo, de manera similar a la tierra y modelizarla como tal en la función de ingreso.

La ventaja de esta metodología es que con técnicas apropiadas, se puede extraer la máxima información posible sin recurrir a estimaciones estadísticas, permitiendo identificar los factores influyentes en el comportamiento de los agentes económicos y cuantificar su influencia. Si existieran precios reales del agua superficial, convertirían a este método en el más adecuado para diseñar los modelos que estimen el impacto de la DMA. Pero los actuales mal llamados precios del agua en los regadíos de agua superficial, sólo representan un porcentaje de los costes derivados de la extracción del recurso. Es decir, lo que se paga por el agua es una tarifa fijada administrativamente, no un precio derivado del mercado o de una imputación completa de costes.

Inconvenientes que se encuentran al aplicar los modelos econométricos:

1. Suelen presentar problemas de inferencia, debido a que los datos que se utilizan en estos modelos suelen ser de corte transversal, ya que los precios del agua en una zona específica no varían de forma significativa en el tiempo. Las observaciones utilizadas para estimar modelos econométricos, apenas varían en términos de consumos y precios, por lo que las elasticidades estimadas sólo serán relevantes en pequeños tramos de la curva de demanda, lo cual resulta insuficiente para estudiar las consecuencias de implantar políticas de agua, como la recuperación de costes.

2. Otra limitación proviene de que permiten estimar una única medición de la elasticidad de la demanda, dos a lo sumo, a corto y a largo plazo, o para bajos y altos precios. Con ello se está pasando por alto las claves del comportamiento de los agricultores en relación al uso del agua. Lo lógico es que la elasticidad de la función de demanda de agua de los agricultores varíe a lo largo de la curva, y existen evidencias empíricas de que las funciones de demanda de agua no se ajustan a las de los textos clásicos.
3. Requieren gran cantidad de información (ingresos, costes de los factores productivos, consumos de agua, rendimientos, etc.), sólo disponibles en zonas muy localizadas. Esto último impide que se pueda extender su aplicación a diferentes zonas geográficas y que se puedan aplicar al análisis de políticas propuestas que involucren desviaciones significativas de las tendencias históricas.
4. No pueden incluir restricciones de desigualdad, como por ejemplo, restricciones agronómicas o de política agraria.
5. Las limitaciones de los modelos bajo el enfoque de series temporales pueden proceder de la calidad de los datos que constituyen las largas series de tiempo, sin olvidar los cambios de escenarios que se han ido produciendo en el sector agrícola, como reformas de política agraria o innovaciones tecnológicas.

4. Modelos de programación matemática (PM)

La PM permite derivar funciones de demanda de agua basándose en la utilización de modelos de asignación de superficie, agua y otros factores de producción entre distintos cultivos alternativos. Son modelos formulados mediante relaciones matemáticas que simulan el comportamiento optimizador de los agentes económicos y, que si han sido debidamente validados, permiten analizar las variaciones de ciertos parámetros relevantes para la discusión de políticas económicas. La valoración del agua que se obtiene así corresponde a la que se derivaría de alcanzar la mayor eficiencia en el proceso productivo, es decir, maximizando, por ejemplo, el beneficio de la actividad, sometido a restricciones técnico-económicas.

Entre las limitaciones de la PM está que los resultados del programa dependen de la estimación de los coeficientes técnicos de las ecuaciones que integran el modelo y de la hipótesis de linealidad de la función objetivo, así como de las restricciones. Si los coeficientes agronómicos de producción y el conjunto de restricciones técnicas se consideran correctos, las fronteras (potenciales del sector) del conjunto de posibilidades de producción también serán correctas. Si bien es verdad que existen errores de medida en cada uno de los coeficientes, que pueden asemejarse a variables aleatorias sujetas a distribuciones de probabilidad, tales posibles errores de medida normalmente son mucho menores en magnitud que los posibles errores introducidos en otros modelos haciendo asunciones del comportamiento de productores y consumidores. Otra posible limitación, como ocurría con el análisis residual, reside en la importancia de considerar todos los posibles costes. Igualmente, será necesario conocer una función de producción o la respuesta del cultivo a la cantidad de agua aplicada.

Hay multitud de trabajos que utilizan esta metodología para obtener la curva de demanda de agua. Dentro de esta metodología existen diversos tipos, como podremos ver, y cada uno será más o menos adecuado para obtener la función de demanda de agua en función del contexto (tipos de cultivo, aleatoriedad en el suministro y/o consumo de agua, consideración de corto o largo plazo, etc). No obstante, todo problema de PM tiene un punto de partida común, consistente en la siguiente estructura:

$$\begin{array}{ll} \text{Optimizar} & f(x) \\ \text{Sujeto a} & x \in F_d \end{array} \quad (1)$$

siendo x el vector de variables de decisión, $f(x)$ la función objetivo, F_d el conjunto de

restricciones, incluida la obligación de no negatividad en las variables de decisión. Una primera clasificación de los modelos de PM hace referencia a la linealidad de las restricciones. Así, cuando en (1), $f(x)$ y F_d son lineales estamos ante un problema de programación lineal.

4.1. Programación Lineal (PL)

Con ella se puede obtener la valoración marginal del agua por tipo de cultivo o por tipo de explotación agrícola. En el primer caso, partiendo de un coste nulo para el agua, a medida que se eleva el coste de dicho recurso, su asignación se irá limitando a los cultivos en los que el uso del agua genere la mayor contribución neta al beneficio (en el supuesto de que la función objetivo consista en maximizar el beneficio). Eventualmente, para cada cultivo se llega a un coste máximo del agua a partir del cual ya no resulta económica su explotación en regadío, por lo que una mínima elevación de dicho coste llevaría a suprimir la cantidad de agua de riego que anteriormente tenía asignado dicho cultivo. En conjunto, se obtiene una función inversa de demanda formada por pares de valores (valor del agua para el cultivo en cuestión, volumen de agua de riego). En el caso en que se obtiene la valoración marginal del agua por el tipo de explotación, el conjunto de soluciones de la PL se plantea respecto a la dotación de agua para riego de la explotación, con lo que se obtiene un precio sombra o valoración marginal de la misma.

Un ejemplo de estudio que ha utilizado esta metodología es Amir y Fisher (1999). En su modelo, tomando precios y cantidades de agua, generan las distribuciones de cultivos maximizadoras de los ingresos. En cada comarca surgió una curva de demanda de agua diferente, procediendo posteriormente a su agregación. La aparición de puntos o tramos de discontinuidad en las curvas podía deberse a artificios resultantes de la agregación o a situaciones reales motivadas por el limitado número de actividades en el distrito. Aportan un método de suavización de la curva de demanda que puede reflejar mejor la realidad: cada actividad se desarrolla en gran diversidad de terrenos, con diferentes márgenes brutos, pero debido al gran número de explotaciones consideradas, asumieron que el margen bruto se distribuye como una normal.

La principal ventaja de la PL es su simplicidad, ya que la información técnica y económica requerida es menos compleja que en otros métodos de programación y los modelos obtenidos son relativamente fáciles de aplicar en diferentes zonas geográficas (tras los convenientes ajustes en el modelo –en parámetros y restricciones- que caractericen la casuística de cada área de estudio). En este aspecto, esta metodología podría parecer la apropiada para estudiar el impacto de la política de tarifación propuesta en la DMA. Ahora bien, la PL plantea limitaciones a la hora de incluir aspectos dinámicos y de incertidumbre. Además, al obtener las funciones de demanda de agua, como se lleva a cabo en los trabajos mencionados, un ligero incremento en el precio del agua puede ocasionar una variación brusca en la distribución de cultivos. Por tanto esta metodología resulta excesivamente rígida.

4.2. Programación Estocástica

Una clasificación diferente de modelos de PM se puede hacer atendiendo a la existencia de parámetros aleatorios, como por ejemplo, el consumo de agua. Si los hay, nos enfrentamos a un problema de *programación estocástica*, frente a los modelos de *programación determinística* en los que todos los parámetros son exógenos.

Como ejemplo de este tipo de PM, citamos el estudio de Willis y Whittlesey (1998), que utilizan programación no lineal estocástica con restricción de aleatoriedad en un modelo para

gestionar el agua de riego, en el caso en que la demanda y el suministro de agua son parámetros estocásticos. Concluyeron que se podría reducir el actual incentivo al riego disminuyendo la incertidumbre en el suministro de agua. En otro estudio de Houk *et al.* (2000), se valoran el agua de riego en cinco regiones de Norteamérica, constituyendo el volumen de agua disponible para riego la variable estocástica. Las decisiones se toman siguiendo una secuencia en función de sus probabilidades asociadas. El resultado indica que en años secos el valor marginal del agua se incrementa en aproximadamente el 350%, demostrándose que el valor del recurso es función de su escasez. Bontemps *et al.* (2001) utiliza la PM estocástica para introducir el factor riesgo a la hora de hallar la función de demanda de agua, en un contexto en el que las necesidades de riego dependen fuertemente de las condiciones climatológicas, en una zona de Francia. El suministro de agua era, por tanto, el parámetro estocástico y las condiciones climatológicas eran simuladas mediante el teorema de Bayes.

La PM estocástica permite tomar decisiones de forma secuencial y es recomendable cuando las decisiones de los primeros periodos pueden originar graves consecuencias en etapas posteriores. Además permite planificar actividades agrarias en el largo plazo teniendo en cuenta la incertidumbre con respecto a los parámetros. Pero presenta el inconveniente de que son modelos más difíciles de plantear y resolver. La gran dimensión de los modelos, cuando ocurren distintos escenarios, hace complicado resolver los problemas de incertidumbre.

4.3. Programación Multicriterio

Otra forma de clasificar los modelos de PM sería en función del número de objetivos a optimizar. La Economía tradicional perseguía optimizar sólo un objetivo, normalmente el beneficio. Posteriormente surgió la programación multicriterio en la que son tenidos en cuenta varios criterios en la toma de decisiones, con el fin de hacer el modelo más realista, ya que en la gestión de recursos naturales, los aspectos sociales y medioambientales no pueden ignorarse en la toma de decisiones.

Con la programación multicriterio se trata de optimizar las decisiones en un contexto de objetivos múltiples, a menudo en conflicto. El propósito de este enfoque consiste en segregar del conjunto de soluciones posibles un subconjunto cuyos elementos gocen de optimalidad paretiana. Tal tarea se aborda utilizando información técnica y en ocasiones, se introducen las preferencias del centro decisional, para elegir de entre las soluciones eficientes aquella solución que resulte óptima para el centro decisor. Sin embargo, estos procedimientos pueden ofrecer dificultades para revelar las preferencias de los agentes, debido a los sesgos introducidos por la propia interacción con los decisores o al entrevistador. Pero existe la posibilidad de elegir una metodología dentro de este enfoque que no requiere interacción con los regantes (decisores), pues permite obtener la función de utilidad a optimizar basándose únicamente en los planes de cultivo que estos eligen.

Un ejemplo de esta metodología es Cañas *et al.* (1999), donde se estima la curva de demanda de agua para una comunidad de regantes, estableciendo dos fases en el estudio. En la primera, obtienen la función de utilidad multiobjetivo que los agricultores tratan de optimizar, mediante PL multicriterio. En la segunda, se realiza una simulación de las decisiones eficientes de cultivo que establecerían los agricultores en el supuesto de aplicarse una política de tarifas sobre el agua de riego. Así, se obtienen pares de valores (cantidad, precio) en función del volumen de agua requerido para cada plan de cultivos, que configurarían la curva de demanda.

Realmente no hemos encontrado estudios que obtengan la función de demanda de agua haciendo uso exclusivo de la PM multicriterio, pues siempre se hace necesario el uso de la simulación en una segunda etapa para poder obtener dicha función.

4.4. Programación multiperiodo

Una última manera de clasificar los modelos de PM puede hacerse en base a si la toma de decisiones debe variar en el tiempo. En caso afirmativo, se trata de un modelo de programación multiperiodo, en caso contrario se habla de programación estática. Como su nombre indica, esta técnica determina la decisión óptima en cada periodo de tiempo llamado escenario. Por tanto, el modelo requiere una función objetivo y un conjunto de ecuaciones recurrentes. Una ecuación recurrente proporcionará el valor de una variable durante un escenario en función de las condiciones ocurridas en escenarios previos.

Un ejemplo de estos modelos en el ámbito de la gestión del agua de riego lo encontramos en Varela-Ortega *et al.* (1998). Diseñan un modelo que maximiza el beneficio sujeto a restricciones que simulan el comportamiento de los agricultores ante diferentes precios del agua, y analizan los efectos de diferentes políticas de precios sobre las curvas de demanda. Se asume que el regante toma sus decisiones en función de sus expectativas sobre los márgenes de los cultivos, las condiciones financieras y la disponibilidad de agua. Obtienen la curva de demanda de agua de riego agregada a nivel de comunidad de regantes, a través de la hipótesis de que el comportamiento de toda explotación perteneciente a una zona regable vendrá representada por una de las explotaciones tipo consideradas en el análisis. Concluyen que los efectos de una política de precios en el agua de riego dependen de las condiciones estructurales e institucionales de cada región. Bontemps *et al.* (2001) estiman funciones de demanda de agua de riego en diversas zonas de Francia simulando la toma de decisiones de los agricultores con un modelo que integra a su vez un modelo de simulación del crecimiento de los cultivos. Las funciones obtenidas dependen de las condiciones climatológicas (simuladas por el, pero tienen en común la forma de la curva y el que pueden descomponerse en cuatro tramos, dos inelásticos y dos elásticos.

Este tipo de programación es útil cuando los productores agrarios deban de afrontar restricciones cambiantes a lo largo del proceso productivo, tales como la elección de una rotación de cultivos, la decisión de comprar nuevos equipos, etc., o bien hacer frente a situaciones de incertidumbre, o situaciones de recursos agotables, etc. Otra ventaja de este tipo de programación es que reduce sustancialmente el trabajo por el hecho de que una vez el estado óptimo para un escenario ha sido establecido, la política óptima para los demás escenarios es independiente de la política adoptada en los escenarios previos. El inconveniente que puede presentar esta modalidad de PM es la de convertirse en difícil de manejar cuando intervienen en los modelos más de tres variables que interaccionan entre los distintos periodos.

5. Conclusiones

La aprobación de la DMA supone un profundo cambio para los regantes de la UE, en tanto que obliga a implantar una política de tarifación sobre el agua. Con ello surge la necesidad de estudiar la demanda de agua en los regadíos, para lo que existen diferentes metodologías, si bien no todas resultan válidas para la aplicación de dicha directiva, pues se necesita una metodología reproducible en diferentes zonas geográficas y que no requiera datos anteriores sobre precios del agua, pues históricamente, el agua aplicada en los regadíos de origen superficial ha tenido precio nulo, por estar las infraestructuras subvencionadas por el Estado, circunstancia que está próxima a cambiar.

Hemos agrupado las metodologías utilizadas para el cálculo de la función de demanda de agua de riego, y como resultado hemos concluido que, el análisis residual, que proporciona una asignación económicamente eficiente del agua (sin considerar otros tipos de eficiencia), requiere gran cantidad de información, por lo que no es un método pragmático para el objetivo perseguido. Igualmente sucede con el análisis de precios hedónicos o la Valoración Contingente. Además, ésta última ofrece escasa fiabilidad.

Más difundido está el análisis de la productividad marginal, dentro del cual encontramos diversos enfoques. El enfoque basado en estudios experimentales no resulta factible debido a la gran inversión de tiempo que requiere y a la variabilidad de los resultados en función de la zona estudiada. El enfoque econométrico aunque permite identificar los factores que condicionan el comportamiento de los agricultores y cuantificar su influencia, suele presentar problemas de inferencia cuando los datos utilizados son de corte transversal. Ello es porque los precios del agua apenas varían en el tiempo, lo que motiva que las elasticidades estimadas apenas sean significativas y tiendan a encontrar una función de demanda de agua inelástica. Por ello, los modelos econométricos tampoco son eficaces para evaluar el impacto de políticas tales como la recuperación de costes derivados del uso del agua y porque además, son estudios centrados en zonas localizadas, donde el riego se hace con agua subterránea, de titularidad privada. Cuando se utilizan datos de series temporales, la posible limitación de los modelos econométricos proviene de la deficiente calidad de los datos integrantes de extensas series de tiempo, así como de la imposible aplicación a los regadíos de agua superficial, en los que el recurso agua no ha tenido un precio propiamente dicho.

El tercer enfoque dentro del análisis de la productividad marginal son los modelos de PM. Estos permiten analizar el impacto de políticas que implican la variación de ciertas variables, debido a que con ellos se obtiene una función de demanda mucho más sensible a los cambios de los precios que con los métodos econométricos. Aunque tienen sus limitaciones, resultan los más adecuados para evaluar el impacto de la DMA, por no requerir series temporales de datos (problema insalvable en el caso de querer obtener datos de precios de aguas superficiales) y no necesitar ceñirse a áreas localizadas (son modelos reproducibles en otras áreas tras algunos ajustes en las restricciones para adaptarse a la casuística de la zona a analizar). De las modalidades de PM existentes, la PL es la simple, si bien su rigidez desaconseja su empleo debido a los saltos bruscos que aparecen en las curvas de demanda obtenidas con este método, por lo que será necesario recurrir a la *programación no lineal*. La PM estocástica permite introducir el riesgo en los modelos cuando existen parámetros aleatorios, pero su complejidad puede suponer un obstáculo que puede ser evitado utilizando otra modalidad de PM: la *programación multicriterio*. Esta última posibilita la introducción del riesgo en los modelos incorporando cierta dosis de realismo.

Abundan los estudios que utilizan la PM estática, para modelizar sistemas agrarios en el corto plazo con cultivos herbáceos. Pero en el caso de cultivos leñosos, tales modelos no tienen aplicación, por necesitarse abordar el estudio en el largo plazo y porque tales cultivos implican realizar fuertes inversiones iniciales seguidas de un periodo improductivo y, posteriormente están sujetos a producciones e inversiones variables de un periodo a otro. Es en estos casos cuando la *programación multiperiodo* puede resultar muy útil.

Concluimos que los modelos de PM estática, determinística y no lineal, bajo el paradigma multicriterio resulta ser el más adecuado para llevar a cabo la evaluación del impacto de una política de recuperación de costes en el agua de riego, cuando nos enfrentamos al caso de cultivos de regadío anuales, por no requerir gran cantidad de información, que se traduce en problemas de presupuesto y tiempo, no necesitar datos históricos de precios del agua

superficial utilizada en el riego y por ser reproducible. Ahora bien, en el caso de introducir cultivos frutales en los modelos, que requieren estudios en el largo plazo y la inclusión de diferentes escenarios de política agraria en el tiempo, será necesario sustituir el carácter estático de la programación *por el multiperiodo*.

6. Bibliografía

Amir, I.; Fisher, F.M. (1999): Analyzing agricultural demand for water with an optimizing model, *Agricultural Systems*, 61, pp 45-46.

Bate, R.N.; Dubourg, W.R. (1997): A net-back analysis of irrigation water demand in East Anglia. *Journal of Environmental Management*, 49 (3), pp. 311-322.

Bontemps, C.; Couture, S.; Favard, P. (2001): *Is the irrigation water demand really convex?*. EAERE. Southampton, January 14th.

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*, nº 188. pp 67-92.

Faux, J.; Perry, G.M. (1999): Estimating irrigation water value using hedonic price analysis a case study in Malheur County, Oregon. *Land Economics*, 75 (3), pp. 440-452.

Gibbons, D.C. (1986): *The economic value of water*. Ed. Resources for the future, Inc., Washington

Houk, E.; Taylor, G.; Frasier, M. (2000): *Valuing the characteristics of irrigation water in the Platte river basin*. Paper presented at the Western Agricultural Economics Association Annual Meetings, Vancouver, British Columbia.

Moore, M.R. (1999): Estimating Irrigators' ability to pay for reclamation water. *Land Economics*, 75(4); pp 562-78.

Moore, M.R.; Gollehon, N.R.; Carey, M.B. (1994): Multicrop production decisions in western irrigated agriculture: the role of water price. *American Journal Of Agricultural Economics*, 76 (4), 859-874.

Ortiz, D. (2001): Los contratos de cesión de agua en un contexto de propiedad común: el caso de las Comunidades de Regantes del Guadalquivir. *IV Congreso Nacional de la AEEA*.

Tiwari, DN; Loof, R.; Paudyal, G.N.(1999): Environmental-economic decision-making in Lowland Irrigated Agriculture Using Multicriteria analysis techniques. *Agricultural Systems*, 60 (2), pp 99-112.

Varela-Ortega, C.; Sumpsi, J.M.; Garrido, A.; Blanco, M.; Iglesias, E. (1998): Water pricing policies, public decision-making and farmers response. Implications for water policy. *Agricultural Economics*, 19(1-2), pp 193-202.

Willis, D.B.; Whittlesey, N.K. (1998): The effect of stochastic irrigation demands and surface-water supplies on-farm water management. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 23 (1), pp 206-224.