

Economía del agua y gestión de recursos hídricos

Water economics and water resources management

Pulido-Velázquez, M.^a, Cabrera, E.^b y Garrido, A.^c

^aResearch Institute of Water and Environmental Engineering (IIAMA), Universitat Politècnica de València, C/Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain. E-mail: mapuve@upv.es

^bITA, Department Hydraulic and Environmental Engineering, Universitat Politècnica de València, C/Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain. E-mail: ecabrera@ita.upv.es

^cDepartamento de Economía y Ciencias Sociales Agrarias, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, Spain. E-mail: alberto.garrido@upm.es

Recibido: 02/07/2014

Aceptado: 29/07/2014

Publicado: 02/08/2014

RESUMEN

En este artículo se sintetizan avances en la literatura relacionados con demandas, precios y costes del agua en distintos sectores, y el papel que los métodos y modelos económicos pueden jugar en el diseño de instrumentos y políticas eficientes para la gestión del agua en el nuevo contexto institucional definido por la DMA. Se analiza de forma específica la contribución de la Economía en la gestión del agua en la agricultura y en el uso urbano, y los distintos métodos para determinar el valor económico del agua en el medio ambiente. Tras esto se presenta el estado del arte de modelos que integran oferta y demanda a escala de cuenca acoplando hidrología, gestión y economía (modelos hidroeconómicos), y diversas aplicaciones a la resolución de problemas de gestión de recursos hídricos. Concluimos con un análisis de tendencias y retos futuros en el papel de los modelos y el análisis económico en la gestión de los recursos hídricos.

Palabras clave | Economía del agua; modelos hidroeconómicos; precios del agua; costes ambientales.

ABSTRACT

This paper presents advances in the literature related to demands, prices and costs of water services in different sectors, and the role of economic methods and models can play in the design of efficient instruments and policies for water management in the new institutional framework defined by the Water Framework Directive. It specifically deals with the contribution of Economics to water management in agriculture and urban use, and the different approaches to assess the economic value of water in the environment. This is followed by the state-of-the-art in models that integrate water supply and demand at the basin scale coupling hydrology, management and economics (hydroeconomic models), and several applications to solving water management conflicts. We conclude with an analysis of trends and future challenges in the role of models and the economic analysis in water resources management.

Key words | *Water economics; hydroeconomic models; water pricing; environmental costs.*

INTRODUCCIÓN. GESTIÓN DEL AGUA Y ECONOMÍA

En tiempos recientes, factores como el aumento de la demanda consuntiva por el crecimiento de la población urbana y el desarrollo económico, la mayor preocupación medioambiental, la creciente contaminación de las aguas, las incertidumbres

impuestas por el cambio climático sobre la disponibilidad futura de los recursos, y la consideración de aspectos como equidad o desarrollo sostenible complican sustancialmente la política del agua y abocan necesariamente a una gestión integral de los recursos hídricos. El agua es en muchas regiones del mundo un recurso escaso y a la vez muy valioso, por lo que la Economía, en cuanto ciencia que estudia la gestión y asignación eficiente de recursos escasos, debe ser incorporada al estudio de decisiones racionales en el uso del agua en el marco de esa gestión integral. Decisiones racionales sobre la explotación, conservación, reparto y uso de los recursos hídricos en situaciones de escasez requieren información sobre el valor económico del agua para los distintos usos en competencia. Ante situaciones de escasez de agua, demanda creciente con múltiples usos en competencia y aumento del coste incremental del desarrollo de nuevas fuentes de suministro, el uso más eficiente del recurso se vislumbra como la principal alternativa a la gestión tradicional basada en el aumento de la oferta. La mejora de la eficiencia física en el uso del agua está relacionada con la conservación (ahorro) de agua mediante el incremento de la fracción de agua usada de forma beneficiosa frente al agua aplicada. El concepto de eficiencia económica es mucho más amplio, y busca el mejor uso económico del agua mediante la combinación de medidas físicas y de gestión (Cai *et al.*, 2003).

La Economía puede asistir en la toma de decisiones en la gestión del agua en tres niveles fundamentales (Griffin, 2006):

- a) *Análisis de políticas del agua.* Las políticas públicas relacionadas con el suministro de agua y su calidad tiene importantes consecuencias económicas para los hogares, la agricultura, las empresas, industria, el medioambiente, etc. La Economía proporciona herramientas para analizar el impacto de diversas políticas del agua e instrumentos de gestión (mercados, políticas de precios, etc.) en el bienestar del hombre.
- b) *Gestión y asignación óptima del agua entre usos en competencia.* La Economía nos ilustra sobre el valor del agua en los distintos usos alternativos ayudando a la toma de decisiones sobre la asignación y priorización del recurso. Las señales de precio que reflejan la escasez de bienes y servicios y que guían la inversión y asignación de recursos en el sector privado están ausentes o distorsionadas para el agua, complicando las decisiones públicas sobre la gestión del recurso, de modo que los estudios económicos ayudan a superar estas dificultades.
- c) *Análisis de proyectos de inversión.* La rama de la Ingeniería Económica proporciona herramientas para la priorización y selección de proyectos de infraestructura para gestión del agua (ej. análisis coste-eficacia y coste-beneficio), pero también sobre el diseño óptimo de actuaciones (ej. capacidad óptima de un embalse o un campo de pozos) y su planificación en el tiempo, o sobre la forma más adecuada de financiación de los mismos.

La Economía interacciona con la gestión de los recursos hídricos a través de tres realidades (Rogers *et al.*, 1998): los precios del agua, el coste del agua (el cual supone no sólo costes financieros y recursos consumidos en los servicios del agua, sino también costes de oportunidad y externalidades económicas y ambientales), y el valor del agua, incluyendo valores de uso y de no uso o intrínsecos (ej. Young, 2006). Lo óptimo desde el punto de vista del uso sostenible del agua es que el coste total se iguale con el valor sostenible del agua en uso, maximizándose el bienestar social (Rogers *et al.*, 1998 y 2002). Aunque el principio de maximizar el valor económico total de recursos como el agua es un concepto esencial de la moderna teoría económica de recursos naturales, hay un debate considerable sobre cómo diseñar las políticas e instituciones adecuadas para acercarnos a ese óptimo (e.g. Griffin, 2006).

La Directiva Marco del Agua (CE, 2000) ha formalizado el papel creciente de la Economía en la gestión del agua. En efecto, la DMA propone la aplicación de principios (recuperación de costes, quien contamina paga), metodologías y herramientas (análisis coste-eficacia y coste-beneficio, con un papel relevante en el diseño de programas de medidas y la justificación de posibles excepciones) e instrumentos económicos (precios del agua) en la gestión a escala de cuenca (WATECO, 2002). El precio del agua se contempla en la DMA con un doble rol: como incentivo para un uso eficiente (instrumento económico) y a la vez como instrumentos de recuperación de costes (instrumento financiero). La Directiva exige la recuperación de los costes de los servicios del agua, incluyendo no sólo los costes financieros, sino también los ambientales y del recurso. La definición y método/s de estimación de costes ambientales y del recurso ha suscitado un considerable debate en la comunidad científica (ej. Brouwer, 2004; Heinz *et al.*, 2007; Iglesias y Blanco, 2008). En este contexto, los modelos hidroeconómicos que integran a escala de cuenca ingeniería, economía e hidrología pueden resultar útiles para la simulación y valoración de impactos y políticas y su diseño con criterios de eficiencia económica, equidad y sostenibilidad ambiental (ej. Ward y Pulido-Velázquez, 2008a; Harou *et al.*, 2009).

En este artículo se sintetizan avances en la literatura relacionados con demandas, precios y costes del agua en distintos sectores, y el papel que los modelos económicos pueden jugar en el diseño de instrumentos y políticas eficientes para la gestión del agua en el nuevo contexto institucional definido por la DMA. Se analiza de forma específica la contribución de la Economía en la gestión del agua en la agricultura y en el uso urbano, y los distintos métodos para determinar el valor económico del agua en el medio ambiente. Tras esto se presenta el estado del arte de modelos que integran oferta y demanda a escala de cuenca acoplando gestión y economía (modelos hidroeconómicos), y diversas aplicaciones de los mismos a la resolución de problemas de gestión de recursos hídricos. Concluimos con un análisis de tendencias y retos futuros en el papel de los modelos y el análisis económico en la gestión de los recursos hídricos.

ECONOMÍA DEL AGUA EN LA AGRICULTURA

Precio, coste y valor económico del agua en la agricultura

Desde que se publicó en España el libro seminal de Sumpsi *et al.* (1998), se han publicado numerosos estudios de la economía del agua riego, que en conjunto componen un corpus de literatura que destaca entre las más fértiles y abundantes del ámbito internacional (Arcas *et al.*, 2010). Estos 16 años de trabajos proporcionan una visión contrastada, precisa y geográficamente diversa de la realidad del regadío español, aportando resultados útiles para el diseño de políticas. Una referencia general más moderna es Gómez-Limón *et al.* (2010).

En el caso del regadío, usuario del 70% de los recursos disponibles en España en un año normal, el precio del agua solo se descubre o emerge cuando hay transacciones de mercado. Hernández-Mora y De Stefano (2013) nos han mostrado que en el caso del riego, los mercados informales están muy presentes en nuestra realidad y han adoptado diferentes modalidades. El precio del agua en mercados formales ha sido muy documentado por diversos autores (Garrido *et al.*, 2013, Rey *et al.*, 2014 entre otros), situándose en el rango de los 0.13-0.25 €/m³, pero llegando a superar el coste de la desalación en situaciones puntuales de sequía en el sudeste y levante español (hasta 0.7 €/m³). Estos precios de intercambio, elevados si se comparan con los escenarios contemplados por Sumpsi *et al.* (1998) y muchos otros autores hasta 2005 (Arcas *et al.*, 2010), han sido revulsivos para mejorar la eficiencia técnica y económica del regadío.

El coste del agua para el riego es muy variable y ha seguido una tendencia gradualmente alcista por dos motivos. El primero, debido al cambio de regulación del mercado de la energía de 2008, ha causado elevaciones del coste del agua de más del 50% (Hardy *et al.*, 2012). Corominas (2010) estimó el coste de la energía en dos subsistemas (olivar y cultivos de verano en Andalucía), el cual llega a representar entre el 5 y el 7% del coste total del cultivo. Rodríguez-Díaz *et al.* (2011) estimó en un 36% la media del coste de la energía sobre el coste de gestión, explotación y mantenimiento de aplicación del agua en una zona modernizada del Guadalquivir.

Y el segundo, muy ligado al anterior, ha sido la modernización de regadíos. Aunque el Estado ha subvencionado una buena parte de los costes de modernización, la conversión de los sistemas de distribución por gravedad a redes en carga en más un millón de hectáreas ha elevado el coste del agua, por la doble vía de la inversión reintegrable y el coste de la energía.

Para el período 2002-2008, Calatrava y Garrido (2010) calcularon en unos 900 millones de euros al año el déficit de coste del regadío español no recuperado vía tarifas. En esta cifra no se incluyeron el coste de escasez o ambiental. Sin embargo, si se descontara la política de modernización de regadíos, la cifra sería mucho menor.

El hecho cierto es que las tarifas públicas de riego, si se descuenta el coste de la energía, no se han modificado prácticamente nada en los últimos 10 ó 15 años (Garrido y Calatrava, 2008). Dos factores dificultan una reforma a fondo del sistema tarifario. El primero es la diversidad de niveles y sistemas tarifarios que existen en el regadío español. De un lado, los usos llamados históricos y los usos de aguas subterráneas no pagan por el agua, aunque algunas comunidades autónomas han empezado a cobrar o al menos considerar como hecho imponible el uso de recursos subterráneos. Por otro lado, la componente energética ya ha encarecido el agua

sustancialmente, y posiblemente el objetivo disuasorio para el uso racional o moderado ya actúa en al menos dos tercios de todo el regadío español (modernizado y el que emplea aguas subterráneas).

En un país semiárido como España, la producción agrícola cuando se tiene acceso al agua de riego es incomparablemente mejor que si se depende exclusivamente de las precipitaciones. El valor del agua se puede cifrar en tres aspectos: la mayor rentabilidad de la tierra, pudiendo cultivar en la época seca y más cálida, y lo que se suele olvidar, evitar el barbecho; estabilizar las producciones físicas, lo que ayuda a estabilizar las rentas de los productores y facilitar la comercialización a transformadores e industrias de la cadena de valor, que valoran disponer de un flujo de producción estable y de calidades homogéneas; y por último, asegurar un mayor control del manejo de los cultivos, logrando más calidad en cultivos como el viñedo de transformación, olivar y frutas y hortalizas, y pero también en cereales, forrajes, remolacha o tubérculos.

El valor del agua se puede apreciar mediante modelos de programación matemática, que se han empleado abundantemente en la literatura, pero también en modelos hedónicos aplicados sobre los precios de la tierra. Se dispone de estadísticas muy detalladas de estos últimos desde hace más de 30 años, referidas a orientaciones productivas (tierra de labor, viñedo, olivar, etc) y, lo que es más importante, si la tierra es de regadío o no. A partir de las diferencias entre precios de secano y regadío se pueden obtener medidas del valor del agua en cada Comunidad Autónoma. La productividad económica del agua, o su valor de uso, es muy variable; pero el rango en toda España podría oscilar entre los 0.15 €/m³ en las zonas más elevadas y frías, hasta los 2-3 €/m³ en el levante español, llegando a los 8-10 €/m³ en producciones muy específicas, como la flor cortada.

Economía del agua de riego: escasez, calidad e instrumentos económicos

No es arriesgado afirmar que si todos los productores españoles tuvieran un acceso económico a un río o pozo no existiría agricultura de secano en ninguna parte de nuestra geografía, exceptuando posiblemente el norte peninsular o partes de Galicia. El motor no sería tanto la mejora del beneficio esperado, que al integrar el coste de capital de las instalaciones no lo hace tan diferente del secano, como la posibilidad de estabilizar las rentas y facilitar una producción de calidades más controlables y por tanto más fáciles de comercializar. Para las explotaciones mixtas, agrícolas-ganaderas o integradas en SATs o cooperativas, las ventajas serían cuantiosas. La nueva Política Agraria Común (PAC), que busca una mayor orientación de la agricultura al mercado, y el escenario de precios mundiales a medio plazo van a acrecentar la presión y la demanda del agua de riego¹.

Desde esta perspectiva, la presión por emplear más caudales va a existir siempre, alimentada por el estímulo a mejorar la productividad del trabajo y del capital. Es por ello que el papel tutelar, supervisor e intervencionista de las administraciones será siempre necesario, con independencia del rigor con que se cobre el agua o la profundidad y la operatividad de los mercados de agua. En el regadío, pues, coexisten un marco de reparto del agua basado en la acción colectiva y comunal, una señal de precio, ahora fortalecida por el coste energético, y puntuales intercambios en un mercado del agua regulado. Los tres aspectos descansan en un ordenamiento jurídico fuerte, garantista y, en general, eficaz. Pero el sustrato que predomina y actúa con mayor presencia es el público-privado: la gestión del agua en el ámbito de decisión de la cuenca hidrográfica (o subsistema de explotación) y el funcionamiento de las comunidades de regantes. En estos ámbitos se dirimen las cuestiones fundamentales del reparto del agua, tanto en situaciones de normalidad como de escasez, dejando a los instrumentos económicos un papel más marginal, puntual y específico. Si acaso, su función y efectos se materializan gradualmente en procesos lentos de cambios estructurales (modernización), posibilidad ocasional de participar en un banco de aguas o mediante el empleo de modernas tecnologías de riego. Es llamativo que en la UE solo en España, y el Inglaterra por razones diferentes, se han introducido cambios legislativos para facilitar el libre intercambio de derechos del agua. Italia ha renunciado explícitamente a implantar medidas de mercado, y por referéndum a cualquier forma de privatización en la gestión o asignación del agua. Francia estudia qué papel y aceptación podría tener el mercado del agua, Portugal no parece haber dado ningún paso en esta dirección.

En el caso del doble cambio técnico que supone la modernización del riego (en alta y en los sistemas de distribución) y la adopción en finca de tecnologías modernas, se puede dar la paradoja de Jevons (Dumont *et al.*, 2013; Gómez y Pérez-Blanco, 2014):

¹ En este sentido, merece la pena consultar el reciente informe de la PAC de la Corte Europea de Auditores, en el que se señala la oportunidad perdida de no haber reforzado la vinculación entre los mandatos de la Directiva Marco del Agua y la condicionalidad de las ayudas agrícolas en el nuevo marco de pagos directos a los productores que, no lo olvidemos, tiene una vigencia de 7 años (2015-2021).

una mejora en la productividad y eficiencia técnica redobla la demanda de agua y propicia, en ausencia de un control preciso del uso de la fracción ahorrada por la tecnología, aumentos del uso. Si sumamos la posibilidad de capitalizar o remunerar el ahorro técnico, por ejemplo cuando se puede vender o comprar el agua, la presión sobre el recurso aumenta y cabe esperar que los productores busquen la máxima rentabilidad. Por ello, hemos reclamado en muchas ocasiones que el mercado solo es compatible con un sistema de control eficaz que asegure un seguimiento en tiempo real de los caudales captados, distribuidos y los irrecuperablemente perdidos (evapotranspiración), lo cual es perfectamente posible con tecnologías de uso comercial (Garrido *et al.*, 2013).

Pero sin duda el problema más difícil de abordar es el de la contaminación difusa. Es cierto que en la UE el problema se ha revertido en los últimos años (EC, 2013), apreciándose las reducciones de la contaminación de nitratos en la de los países. Sin embargo, la literatura académica - marcadamente teórica y orientada a proponer marcos de regulación de difícil aplicación práctica - no se ha visto reflejada en políticas de escala suficiente. Posiblemente tienen más futuro y virtualidad las ventajas económicas y técnicas de un manejo más preciso de los nutrientes en la explotación (Gabriel *et al.*, 2013).

ECONOMÍA DEL AGUA EN EL USO URBANO

Precios y costes del agua en el uso urbano

De los tres usos del agua, agrícola, ambiental y urbano, este último presenta una serie de características que los diferencia de los precedentes y por las que, al plantear análisis integrados, menos condicionado está. Las principales son:

- Es la demanda prioritaria, indiscutible incluso en épocas de escasez.
- Representa, pese a una población que crece sin cesar, una cantidad muy inferior a la de los otros dos usos.
- Desde la óptica de la calidad sucede justo lo contrario. Es, con diferencia, la más exigente porque el agua de consumo urbano debe cumplir unos requisitos cada vez más exigentes (BOE, 2003), sólo alcanzables con un coste razonable cuando la calidad del agua bruta de partida es buena.
- Las inversiones requeridas por todo el ciclo urbano son, por metro cúbico de agua utilizado, las más elevadas. Y al tiempo es el uso por el que el usuario puede pagar un precio unitario mayor. Por ello se puede afirmar (Briscoe, 1996) que en el abastecimiento urbano el coste de uso es alto (es mucho menor en el regadío) mientras que el coste de oportunidad es reducido, dado su elevado valor económico (el coste de oportunidad es alto en el regadío cuando compite con el uso urbano o industrial).

Si a ello se añade el hecho probado de que la recuperación íntegra de costes contribuye de manera definitiva a mejorar la eficiencia y la sostenibilidad, parece evidente que el precio medio que por el agua deben pagar los abonados deben permitir satisfacer este principio, mayormente cuando, además, es una exigencia de la Directiva Marco del Agua.

Llegados a este punto, de inmediato surge la cuestión del agua derecho universal del hombre que incluso ha originado una respuesta específica de la Comisión Europea (EC, 2014) ante el primer requerimiento ciudadano que ha alcanzado las firmas necesarias. El comunicado manifiesta un hecho que nadie discute: “el acceso a un agua potable segura y al saneamiento está inextricablemente ligado al derecho a la vida y a la dignidad humana, así como a la necesidad de garantizar un nivel de vida adecuado” Es, pues, menester compatibilizar el derecho humano al agua con una recuperación completa de costes que garantice la sostenibilidad económica del servicio, algo perfectamente posible con una tarificación progresiva y social. Del mismo modo que la sostenibilidad económica de un país se fundamenta en recaudar con los impuestos (indirectos más directos) una cantidad igual a los gastos que debe asumir, con independencia del régimen fiscal, más o menos progresivo, que se quiera implantar, la recuperación de costes del agua urbana exige que el ciudadano pague un precio medio del metro cúbico del agua que permita atender todos los costes del sistema. Y ello con independencia de que, incluso, la cantidad mínima que garantice el derecho a la vida y a la dignidad, sea casi gratis.

Es pues, muy importante, diferenciar entre tarificación y recuperación completa de todos los costes del agua urbana. Estos costes, conceptualmente bien establecidos (Cabrera *et al.*, 2012), son:

- *Costes del recurso*. Término esencial para la DMA integrado por tres sumandos. A saber:
 - *Coste por la compra del agua en alta (bruta o depurada) a otro operador*.
 - *Coste temporal de oportunidad. Asociado al lucro cesante*.
 - *Costes variables generados por externalidades*.
- *Costes de operación y mantenimiento (O&M)*. Básicamente coste (fijo) del personal más los variables ligados a la producción (reactivos) y distribución (energía).
- *Coste del capital*. La anualidad que permite reponer las infraestructuras.
- *Costes ambientales*.
- *Costes sociales*. Para compensar los inconvenientes (la apertura de una zanja frente a un restaurante) que personas ajenas al desarrollo de la actividad soportan (Coase, 1960).

Por lo general los de mayor entidad son los costes de operación y mantenimiento y los de capital, lo que hace que el precio final del agua dependa de la organización y capacidad tecnológica de la empresa de suministro (O&M) y de la calidad de servicio estrechamente ligada a las inversiones (una cloración tiene un coste muy inferior a tratamientos que, como la ozonización, mejoran las características organolépticas del agua y que, por tanto, propician el consumo del agua de grifo). También las circunstancias del sistema condicionan el precio final del agua: no es lo mismo disponer de agua de calidad procedente de una fuente natural que tener que depender de una desaladora.

En los países latinos, es el caso de España, el precio del agua urbana sólo acostumbra a recuperar el coste de Operación y Mantenimiento pero no así el sumando que, las más de las veces, tiene un coste superior, la costosa amortización de todas las instalaciones (potabilizadoras, tuberías de transporte, redes de distribución y drenaje, y depuración). El ciclo urbano del agua (que se va consolidando a lo largo de todo el siglo XX) es muy posterior al ancestral regadío que siempre había sido promovido y subsidiado por el Estado. No extraña, pues, que la administración se constituya en promotor y financiador de la obra hidráulica urbana, un proceder que ha llegado hasta nuestros días. También explica por qué en los países del norte de Europa (donde no hay necesidad de obras para regar) muy pronto se entendió (no hubo el menor choque cultural) la necesidad de recuperar todos los costes. El resultado es que el precio del agua urbana en Dinamarca, Holanda, Alemania o Suiza, países sin problemas de cantidad, es varias veces el que aquí se paga.

Hasta ahora España ha rehuído incluir en la factura las inversiones y su amortización. De hecho la Directiva Marco del Agua, publicada en 2000, preveía para la entrada en vigor del principio de recuperación de costes un periodo de diez años. Pero se llegó al 2010 con aumentos en el precio del agua al compás del IPC. La depreciación de las obras promovidas en el pasado (las tuberías no se renuevan) e ingentes cantidades de fondos estructurales europeos que han permitido subsidiar nuevas infraestructuras lo han posibilitado. Pero el irremediable envejecimiento de las instalaciones y unos fondos que, para tal menester, han visto su fin en 2013, van a obligar a incluir en el precio del agua la recuperación de la partida de mayor peso, el coste del capital, lo que supondrá que, dependiendo del caso, el actual precio medio del agua urbana se multiplique por un factor comprendido entre 2 y 4.

COSTE Y VALOR DEL AGUA EN EL MEDIO AMBIENTE

El principal problema a la hora de valorar mejoras y daños ambientales o dar un valor a usos ambientales (incluyendo valores de no uso), estéticos o recreativos consiste en que con frecuencia no existe un mercado para obtener directamente su valor. Sin embargo, conocer el valor económico de los usos ambientales puede ser fundamental para una gestión racional de los mismos, para centrar la atención de los decisores y del público en recursos infravalorados y amenazados, y para determinar el nivel de protección, desarrollo y monitorización económicamente justificable. El objetivo fundamental no es poner una etiqueta con un precio al medio ambiente, pero sí expresar el efecto de un cambio marginal en la provisión de servicios de ecosistemas en relación con otros bienes que la gente valora. En los últimos 30 años, la valoración de los servicios ambientales ha pasado a ser una de las áreas de investigación más significativas y de evolución más rápida en la economía y ecología ambiental (Turner *et al.*, 2003).

Existe actualmente una extensa literatura en la valoración de mejora de la calidad del agua (revisada por Olmstead, 2010) y sobre el valor del agua en ríos, acuíferos y humedales para usos ambientales y recreativos (ej. Hanley *et al.*, 2006).

Se han desarrollado dos enfoques principales para la valoración de bienes de no mercado. El primer enfoque consiste en construir un mercado hipotético y, mediante encuestas, desvelar la disponibilidad a pagar por disfrutar del bien ambiental (métodos directos o de preferencias declaradas). Dentro de este enfoque el más conocido es el método de valoración contingente (VC), en el que los usuarios revelan su disposición a pagar para diversas situaciones hipotéticas que se le plantean mediante un cuestionario. Por ejemplo, Loomis (1996) aplica VC para medir el beneficio ambiental de eliminar una presa y restaurar el estado del río. A pesar de su interés y frecuente aplicación, la VC presenta resultados inciertos (su fiabilidad depende fuertemente del diseño del cuestionario) y notables complicaciones metodológicas (Freeman, 2003). La técnica de los experimentos de elección nos permite valorar bienes ambientales en función de sus atributos (Hanley *et al.*, 2006).

Los métodos indirectos o de preferencias reveladas consisten en inferir el valor ambiental a través de comportamientos observados en mercados reales (Champ *et al.*, 2003), como ocurre con los métodos del coste de viaje y valoración hedónica. Finalmente los métodos de transferencia de beneficios se emplean para transferir beneficios obtenidos en otro caso de estudio (Brouwer, 2000; Colombo and Hanley, 2008).

Sin embargo, a pesar de los avances en métodos y aplicaciones, la valoración ambiental continúa siendo un “arte imperfecto”; al ser la valoración un ejercicio basado en hacer inferencias en base a hipótesis de partida, estará siempre sujeto a interpretación y debate (Braden, 2000).

MODELOS HIDROECONÓMICOS Y GESTIÓN EFICIENTE

La gestión de sistemas de recursos hídricos supone influir y mejorar la interacción entre tres subsistemas: el natural (marco biofísico), el económico, y el legal-institucional. Los modelos hidroeconómicos permiten analizar los problemas de gestión del agua mediante modelos que representan de forma explícita estas interacciones. La combinación de aspectos económicos, ingenieriles y ambientales de la gestión proporciona así resultados más relevantes para la toma de decisiones en un entorno tan complejo como el del agua.

Por modelos hidroeconómicos (MHE) nos referimos a modelos espacialmente distribuidos de gestión de una cuenca o sistema en los que tanto el suministro del agua como las demandas son caracterizadas económicamente (Harou *et al.*, 2009). Esta definición se relaja a veces para referirnos en general a modelos de gestión de recursos hídricos que incluyen la componente económica. En los MHE la gestión y asignación del agua o está dirigida por el valor económico del agua o es evaluada económicamente para contribuir al análisis de políticas y revelar oportunidades para una mejor gestión. La visión tradicional de la demanda de agua como requerimientos fijos a satisfacer es cambiada por una visión dinámica de la demanda relacionada con el concepto del valor económico del agua. La integración de la Economía en los modelos de gestión permite además la consideración conjunta de opciones de oferta y de demanda en un marco coherente.

Los MHE integran topología y características del sistema, hidrología superficial y subterránea y relación río-acuífero, infraestructura hidráulica, caracterización económica (curvas de demanda frente al precio, costes de operación, beneficios asociados a la producción hidroeléctrica, etc.), y restricciones institucionales, operativas y ambientales. Producen resultados sobre la gestión del recurso (ej. volúmenes, caudales, suministros, garantías, etc.), resultados económicos (ej. beneficios y costes de escasez, agregados y por usuario) y otros indicadores como los precios sombra, que reflejan el valor marginal del agua en el espacio y el tiempo (Pulido-Velázquez *et al.*, 2008).

Los orígenes de este tipo de modelos se remontan a los años 60 y 70 en aplicaciones al árido suroeste americano e Israel (ej. Bear *et al.*, 1964). Samuelson (1952) fue el primero en simular el resultado del mercado perfectamente competitivo como solución de un problema de optimización. Vaux y Howitt (1984) aplican un modelo no lineal de equilibrio interregional para evaluar el potencial de los mercados en mitigar el impacto de la escasez de agua mediante su reasignación entre regiones de California de forma que se maximice el beneficio social neto. El modelo de Booker and Young (1994) presenta como novedad frente al anterior que incorpora la red de flujo del sistema, incluyendo las principales aportaciones hidrológicas, puntos de derivación, embalses,

conducciones, retornos y demandas. Lo aplican a analizar el impacto en salinidad y suministro de agua de diversas políticas de mercado en la cuenca del río Colorado. Desde entonces, el desarrollo de los modelos hidroeconómicos ha crecido en complejidad y diversidad de ámbitos de aplicación y técnicas de modelación (Harou *et al.*, 2009; Booker *et al.*, 2012). Algunas aplicaciones incluyen:

- Análisis y gestión de sequías (ej. Booker, 1995)
- Protección frente a avenidas (Zhu *et al.*, 2007)
- Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas (ej. Lefkoff y Gorelick, 1990; Pulido-Velazquez *et al.*, 2004 y 2006)
- Impacto del cambio climático y adaptación (Tanaka *et al.*, 2007)
- Instrumentos para control de la contaminación (ej. Martinez y Albiac, 2004; Peña-Haro *et al.*, 2010)
- Mercados del agua (ej. Booker and Young, 1994; Charaklis *et al.*, 2006)
- Implementación de la Directiva Marco, coste del recurso (costes de oportunidad) y diseño de políticas eficientes de precios (Heinz *et al.*, 2007; Pulido-Velazquez *et al.* 2008 y 2013)
- Asignación del agua entre usos en competencia (ej. Bielsa y Duarte, 2001).
- Evaluación de políticas de conservación del agua en la agricultura (ej., Ward and Pulido-Velazquez, 2008b)

Los modelos hidroeconómicos pueden ser de simulación (responden a “qué pasa si”) o de optimización (buscan la mejor solución según una función objetivo). Se pueden diseñar de forma holística (todo integrado en un único modelo) o compartimental (se comparten resultados entre modelos mediante un acoplado secuencial). Finalmente pueden ser desarrollado “*ad-hoc*” o bien mediante Sistemas de Ayuda a la Decisión (SAD) generalizados, que permiten a los usuarios diseñar y resolver MHE para cualquier sistema en un entorno gráfico tanto para la entrada de datos como para la salida y el posproceso de resultados (Pulido-Velázquez *et al.*, 2014).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este entorno de creciente escasez y competencia por un recurso escaso y vulnerable, la Economía tiende a desempeñar un papel cada vez más relevante en el diseño de políticas del agua y la gestión de sistemas de recursos hídricos. Claro ejemplo de esta tendencia es la Directiva Marco del Agua, que viene a formalizar el papel de la Economía en la gestión del agua a través de la aplicación de principios, metodologías, herramientas e instrumentos económicos.

Los progresos en los métodos para estimar el valor económico asociado al buen estado ecológico de las masas de agua y en metodologías de transferencia de beneficios pueden proporcionar *input* críticos para políticas futuras de asignación del agua, incluyendo caudales ecológicos, y control de la contaminación.

La gestión sostenible de los sistemas de recursos hídricos implica no sólo sostenibilidad ambiental pero también financiera. En este último aspecto la política de recuperación de costes que se adopte es fundamental, y las tarifas deben diseñarse de forma que transmitan al usuario una señal del valor real del recurso y de los costes incurridos, incluyendo no sólo costes financieros sino también ambientales y del recurso. La recuperación real de costes en los sectores agrícola y urbano supone un reto clave en la gestión del agua, con muchas implicaciones ambientales, sociales y económicas. Los instrumentos económicos deben desempeñar un papel cada vez más relevante tanto en la recuperación de costes (instrumento financiero) como en la gestión de la demanda (instrumento económico).

Los modelos hidroeconómicos (MHE) permiten analizar los problemas de gestión del agua considerando de forma explícita las interacciones entre ingeniería, economía y medio ambiente, proporcionando resultados más relevantes para la toma de decisiones en un entorno tan complejo como el del agua. Tal y como se ha revisado en este artículo, es un campo de investigación muy activo y con cada vez más ámbitos de aplicación en la gestión del agua. La interacción entre los sistemas naturales y humanos ha llevado a hablar de sistema acoplados hombre-naturaleza. En este sentido, una línea de trabajo novedosa es la integración de modelos hidroeconómicos con modelos de simulación de agente (ej. Zhao *et al.*, 2013). En estos trabajos la cuenca se caracteriza como

un sistema multiagente con procesos de decisión desagregados e iterativos a nivel de agente, y mecanismos de coordinación que inducen consecuencias a nivel de cuenca.

REFERENCIAS

- Arcas, N., Alcón, F., Gómez-Limón, J.A. de Miguel, M.D. 2010. Review. The evolution of research regarding the economics of irrigation water. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(S2), S172-S186. doi:10.5424/sjar/201008S2-1360
- Bear, J., Levin, O., Buras, N. 1964. *Optimal utilization of aquifers as elements of water-resources systems*. Progress Report No. 1: Basic Concepts and Program of Research, Technion – Israel Institute of Technology, Hydraulic Laboratory, Haifa.
- Bielsa, J., Duarte, R. 2001. An economic model for water allocation in north eastern Spain. *International Journal of Water Resources Development*, 17(3), 397-408. doi:10.1080/07900620120065165
- BOE (Boletín Oficial del Estado), 2003. REAL DECRETO 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE de 21 de Febrero de 2003, 7228 – 7245.
- Booker, J.F. 1995. Hydrologic and economic impacts of drought under alternative policy responses. *Water Resources Bulletin*, 31 (5), 889-906. doi:10.1111/j.1752-1688.1995.tb03409.x
- Booker, J.F., Young, R.A. 1994. Modeling intrastate and interstate markets for Colorado River water resources. *Journal of Environmental Economics and Management*, 26(1), 66-87. doi:10.1006/jeem.1994.1005
- Booker, F. Howitt, R.E., Michelsen, A.M., Young, R.A. 2012. Economics and the modeling of water resources and policies. *Natural Resource Modeling Journal*, 25(1), 168-218. doi:10.1111/j.1939-7445.2011.00105.x
- Braden, J.B. 2000. Value of valuation: introduction. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 126(6), 336-338. doi:10.1061/(ASCE)0733-9496(2000)126:6(336)
- Briscoe, J. 1996. Water as an economic good. The idea and what it means in practice. *Proceedings of the World Congress of the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID)*. Cairo, Egypt.
- Brouwer R. 2004. The concept of environmental and resource cost. Lessons learned from ECO2. In: *Environmental and resource cost and the water framework directive. An overview of European practices* (Brouwerand R, Strosser P, eds). RIZA Working Paper, Amsterdam, Holland.
- Brouwer, R. 2000. Environmental value transfer: state of the art and future prospects. *Ecological Economics*, 32(1), 137-152. doi:10.1016/S0921-8009(99)00070-1
- Cabrera, E., Pardo, M.A., Cabrera Jr. E., Arregui, F.J., 2012. Tap water costs and service sustainability, a close relationship. *Water Resources Management*, 27(1), 239-253. doi:10.1007/s11269-012-0181-3
- Cai, X.M., Rosegrant, M.W., Ringler, C., 2003. Physical and economic efficiency of water use in the river basin: Implications for efficient water management. *Water Resources Research*, 39(1), 1-12. doi:10.1029/2001WR000748
- Calatrava, J., Garrido, A. 2010. *Measuring irrigation subsidies in Spain: an application of the GSI method for quantifying subsidies*. Global Subsidies Initiative (GSI), International Institute for Sustainable Development (IISD). Geneva. http://www.globalsubsidies.org/files/assets/irrig_Spain.pdf
- Champ, P.A., Brown, T.C., Boyle, K.J. 2003. *Primer on Nonmarket Valuation. The Economics of Nonmarket Goods and Resource.*, V. 3. Kluwer Academic Publishers. 588 pp. doi:10.1007/978-94-007-0826-6
- Characklis, G.W., Kirsch, B.R., Ramsey, J., Dillard, K.E.M., Kelley, C.T. 2006. Developing portfolios of water supply transfers. *Water Resources Research*, 42(5), 14. doi:10.1029/2005WR004424
- Coase R.H, 1960. The Problem of Social Cost. *Journal of Law and Economics*, 3, 1-44. doi:10.1086/466560

- Colombo, S., Hanley, N. 2008. How can we reduce the errors from benefits transfer? An investigation using the choice experiment method. *Land Economics*, 84(1), 128–147.
- Corominas, J. 2010. Agua y energía en el riego, en la época de la sostenibilidad. *Ingeniería del Agua*, 17(3), 219-233.
- EC (European Commission). 2013. Report from the Commission to the Council and the European Parliament on the implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. Based on Member State reports for the period 2008-2001. Brussels
- EC (European Commission). 2014. COM(2014) 177 final. *COMMUNICATION FROM THE COMMISSION on the European Citizens' Initiative "Water and sanitation are a human right! Water is a public good, not a commodity!"*. European Commission. Brussels, 19.3.2014
- Dumont, A., Mayor, B., López-Gunn, E. 2013. Is the Rebound Effect or Jevons Paradox a Useful Concept for better Management of Water Resources? Insights from the Irrigation Modernisation Process in Spain. *Aquatic Procedia*, 1, 64-76. doi:10.1016/j.apro.2013.07.006
- Freeman, A.M. III. 2003. *The measurement of environmental and resource values. Theory and methods*. Resources for the Future, Washington, DC., 2nd edition, 490 pp.
- Gabriel, J.L., Garrido, A., Quemada, M. 2013. Cover crops effect on farm benefits and nitrate leaching: linking economic and environmental analysis. *Agricultural Systems*, 121, 23-32. doi:10.1016/j.agsy.2013.06.004
- Garrido, A., Rey, D., Calatrava, J. 2013. La flexibilización del régimen de concesiones y el mercado de aguas en los usos de regadío. En Embid Irujo, A. (Ed.) *Usos del Agua Concesiones, Autorizaciones y Mercados del Agua*. Thomson Reuters Aranzadi, Cizur Menor (Navarra), 177-196
- Gómez, C.M., Pérez-Blanco, C.D. 2014. Simple Myths and Basic Maths about Greening Irrigation. *Water Resources Management*, publicado online, junio 2014. doi:10.1007/s11269-014-0725-9.
- Gómez-Limón, J.A. Calatrava, J., Garrido, A., Sáez, F.J., Xabadia, A. (eds). 2009. *La economía del agua de riego en España*. Fundación Cajamar. Almería. España.
- Griffin, R.C. 2006. *Water Resource Economics – The Analysis of Scarcity, Policies and Projects*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Hanley N., Wright, R., Alvarez-Farizo, B. 2006. Estimating the economic value of improvements in river ecology using choice experiments: an application to the Water Framework Directive. *Journal of Environmental Management*, 78(2), 183-193. doi:10.1016/j.jenvman.2005.05.001
- Hardy, L. Garrido, A., Juana, L. 2012. Evaluation of Spain's Water–Energy Nexus. *International Journal of Water Resources Development*, 28(1), 151-170. doi:10.1080/07900627.2012.642240
- Harou, J. J., Pulido-Velázquez, M., Rosenberg, D. E., Medellín-Azuara, J., Lund, J. R., Howitt, R. E. 2009. Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects. *Journal of Hydrology*, 375(3-4), 627-643. doi:10.1016/j.jhydrol.2009.06.037
- Heinz, I., Pulido-Velázquez, M., Lund, J.R., Andreu, J. 2007. Hydro-economic modeling in river basin management: implications and applications for the European water framework directive. *Water Resources Management*, 21(7), 1103-1125. doi:10.1007/s11269-006-9101-8
- Iglesias, E., Blanco, M. 2008. New directions in water resources management: The role of water pricing policies. *Water Resources Research*, 44(6), W06417. doi:10.1029/2006WR005708
- Loomis, J. 1996. Measuring the economic benefits of removing dams and restoring the Elwha river: results of a contingent valuation survey. *Water Resources Research*, 32(2), 441-447. doi:10.1029/95WR03243
- Martínez, Y., Albiac, J. 2004. Agricultural pollution control under Spanish and European environmental policies. *Water Resources Research*, 40(10), W1051. doi:10.1029/2004WR003102

- Olmstead, S.M. 2010. The economics of water quality. *Review of Environmental Economics and Policy*, 4(1), 44-62. doi:10.1093/reep/rep016
- Peña-Haro, S., Llopis-Albert, C., Pulido-Velázquez, M., Pulido-Velázquez, D. 2010. Fertilizer standards for controlling groundwater nitrate pollution from agriculture: El Salobral-Los Llanos case study, Spain. *Journal of Hydrology*, 392(3-4), 174-187. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.08.006
- Pulido-Velázquez, M., Jenkins, M.W., Lund, J. R. 2004. Economic values for conjunctive use and water banking in southern California. *Water Resources Research*, 40(3), W03401. doi:10.1029/2003WR002626
- Pulido-Velázquez, M., Sahuquillo, A., Andreu, J. 2006. Economic optimization of conjunctive use of surface and groundwater at the basin scale. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(6), 454-467. doi:10.1061/(ASCE)0733-9496(2006)132:6(454)
- Pulido-Velázquez, M., Andreu, J., Sahuquillo, A., Pulido-Velázquez, D. 2008. Hydro-economic river basin modelling: The application of a holistic surface-groundwater model to assess opportunity costs of water use in Spain. *Ecological Economics*, 66(1), 51-65. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.12.016
- Pulido-Velázquez, M., Álvarez-Mendiola, E., Andreu, J., 2013. Design of Efficient Water Pricing Policies Integrating Basinwide Resource Opportunity Costs. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(5), 583-592. doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000262
- Pulido-Velázquez M., López-Nicolás A., Macián-Sorribes H., Peña-Haro S., Escrivá-Bou A. 2014. Potencial de los modelos hidroeconómicos en la en la gestión de sistemas de recursos hídricos. En: *Aplicaciones de Sistemas Soporte a la Decisión en Planificación y Gestión Integradas de Cuencas Hidrográficas* (Solera et al., ed.), 247-257. Ed. Marcombo, Barcelona.
- Rey D., Garrido A., Calatrava J. 2014. The Water Markets in Spain: moving towards 21st century mechanisms and approaches with 20th century regulations. In: *Water Markets for the 21st Century: What Have We Learned?* Easter W. and Huang Q. (eds.). Springer. En prensa.
- Rodríguez-Díaz, J.A., Pérez-Urrestarazu, L., Camacho-Poyato, E., Montesinos, P. 2011. The paradox of irrigation scheme modernization: more efficient water use linked to higher energy demand. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(4), 1000-1008. doi:10.5424/sjar/20110904-492-10
- Rogers P., Bhatia R., Huber A. 1998. *Water as a social and economic good: how to put the principles into practice*. Global Water Partnership, TAC Background Paper n.2. Stockholm, Sweden.
- Rogers, P., Silva, R.D., Bhatia, R. 2002. Water is an economic good. How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. *Water Policy*, 4(1), 1-17. doi:10.1016/S1366-7017(02)00004-1
- Samuelson, P.A. 1952. Spatial price equilibrium and linear programming. *American Economics Review*, 42(2), 283-303.
- Sumpsi Viñas J.M., Garrido, A., Blanco Fonseca, M., Varela Ortega, C., Iglesias Martínez, E. 1998. *Economía y Política de gestión del agua en la agricultura*. Mundi-Prensa, MAPA, Madrid, 351 pp.
- Tanaka, S.K., Zhu, T., Lund, J.R., Howitt, R.E., Jenkins, M.W., Pulido-Velázquez, M., Tauber, M., Ritzema R.S., Ferreira, I.C. 2006. Climate Warming and Water Management Adaptation for California. *Climatic Change*, 76(3-4), 361-384. doi:10.1007/s10584-006-9079-5
- Turner, R.K., Paavola, J., Cooper, P., Farber, S., Jessamy, V., Georgiou, S. 2003. Valuing nature: lessons learned and future research directions. *Ecological Economics*, 46(3), 493-510. doi:10.1016/S0921-8009(03)00189-7
- Vaux, H.J., Howitt, R.E., 1984. Managing water scarcity: an evaluation of interregional transfers. *Water Resources Research*, 20(7), 785-792. doi:10.1029/WR020i007p00785
- Ward, F.A., Pulido-Velázquez, M., 2008a. Efficiency, equity, and sustainability in a water quantity-quality optimization model in the Rio Grande basin. *Ecological Economics*, 66 (1), 23-37. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.08.018

Ward, F.A., Pulido-Velázquez, M. 2008b. Water conservation in Irrigation can increase water use. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA (PNAS)*, 105(47), 18215-18220. doi:10.1073/pnas.0805554105

WATECO. 2002. *Economics and the environment. The implementation challenge of the Water Framework Directive. A guidance document.* Working group for WFD economic studies.

Young, R.A. 2005. *Determining the economic value of water: concepts and methods.* Resources for the Future, Washington, DC, USA.

Zhao, J., Cai, X., Wang, Z. 2013. Comparing administered and market-based water allocation systems through a consistent agent-based modeling framework. *Journal of Environmental Management*, 123, 120-130. doi:10.1016/j.jenvman.2013.03.005

Zhu, T.J., Lund, J.R., Jenkins, M.W., Marques, G.F., Ritzema, R.S. 2007. Climate Change, Urbanization, and Optimal Long-Term Floodplain Protection. *Water Resources Research*, 43(6), (W06421). doi:10.1029/2004WR003516