

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Hidroeconomía en el contexto de cambio climático: ¿Será una alternativa viable para mejorar la cobertura vegetal y la disponibilidad hídrica?

Hydroeconomy in the context of climate change: Will it be a viable alternative to improve vegetation cover and water availability?

Carlos Moreano Huayhua

Facultad de Economía, Universidad Nacional Agraria La Molina. Av. La Molina s/n La Molina, Lima, Perú.

*Autor correspondiente: cmoreanoh@hotmail.com (C. Moreano).

RESUMEN

En este trabajo se revisan los diferentes enfoques respecto a hidroeconomía en un contexto de cambio climático y como se interrelacionan las ciencias físicas y sociales que permitan una adecuada gestión eficiente del agua para sus diferentes usos. Para este propósito se realizó una búsqueda sistemática de literatura en temas relacionados a hidroeconomía, cambio climático y biodiversidad. Los resultados nos muestran aspectos relevantes en la actualidad como la mayor demanda de agua por las diferentes actividades que se vienen desarrollando por las sociedades, más aun en un contexto de cambio climático por lo que la disponibilidad del agua para actividades consuntivas y no consuntivas, vienen siendo disminuidas, es por ello que los modelos hidroeconómicos desarrollan procesos donde interviene actividades productivas, los componentes económicos y los ecosistemas que forman parte de las provisiones del servicio de agua; dentro de los ecosistemas se toma en consideración la cobertura vegetal y biodiversidad que está relacionada con la mayor recarga de acuíferos por consiguiente mayor disponibilidad hídrica.

Palabras clave: Modelo hidroeconómico; variabilidad climática; demanda de agua; recarga hídrica; ecosistema.

ABSTRACT

In this paper, the different approaches regarding hydroeconomy in a context of climate change are taken into account and how the physical and social sciences are interrelated that allow an adequate efficient management of water for its different uses. For this purpose, a systematic literature search was conducted in topics related to hydroeconomics, climate change and biodiversity. The results show us relevant aspects at present such as the greater demand of water for the different activities that are being developed by the societies, even more in a context of climate change, so the availability of water for consumptive and non-consumptive activities, come being diminished, it is for that reason that the hydro-economic models develop processes where productive activities intervene, the economic components and the ecosystems that are part of the provisions of the water service; Within the ecosystems, the vegetation and biodiversity cover is taken into account, which is related to the greater recharge of aquifers, consequently greater water availability.

Keywords: Hydro-economic model; climatic variability; water demand; water recharge; ecosystem.

INTRODUCCIÓN

Los escenarios de cambio climático hacia el año 2070, en los aspectos socio económicos, agronómicos y sistemas hidrológicos presentan cambios que pueden afectar gravemente los sistemas de riego, reduciendo la disponibilidad de agua y los rendimientos de la cosecha por otro lado se ve incrementado la demanda de agua para consumo humano.

En ese sentido los modelos hidro-económicos permiten integrar los aspectos económicos, sociales e hidrológicos, con la finalidad de aportar perspectivas de política y revelar las oportunidades para una mejor gestión de los recursos hídricos.

Los modelos hidroeconómicos actualmente incluyen al medio ambiente, como un factor en la toma de decisiones, los valores medioambientales del agua son irregulares en la mayoría de las aplicaciones, y no debería ser una consideración sistemática de las posibilidades de los valores ambientales a incluir y cómo deben ser valorados. Se sostiene que los servicios ecosistémicos ofrecen un enfoque sistemático para identificar la gama completa de los costos y beneficios ambientales.

El presente estudio permite desarrollar una revisión de los principales enfoques en torno a la hidroeconomía, la modelación hidrológica en un entorno de cambio climático, todo ello con la finalidad de evaluar la hidroeconomía como alternativa para incluir prácticas que permitan mejorar la cobertura vegetal y biodiversidad; por ende, incrementar la oferta hídrica que cubra la demanda de agua en sus diferentes usos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estrategia de búsqueda

La presente investigación bibliográfica se desarrolló en conformidad con la declaración PRISMA (Urrútia y Bonfill, 2010). En abril de 2018 se realizó una búsqueda sistemática de literatura en las bases de datos ScienceDirect, por sensibilidad, tomando en consideración descriptores DeCS, por exhaustividad, utilizando descriptores no DeCS y por especificidad, asimismo se tomó en consideración la combinación mediante operadores booleanos de términos definidos en

conformidad a los objetivos planteados en la investigación.

La búsqueda de la ruta general utilizada fue: [(Hydro-economy AND Climate Change AND biodiversity)]. En las bases de datos ScienceDirect, y Scopus se utilizaron los límites de tiempo "2003 to 2018".

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron solo artículos originales reportados en la literatura científica en los últimos 15 años (2003 a 2018), escritos en el idioma inglés. Los artículos fueron estudios relativos a la hidroeconomía y su relación con las actividades agrícolas, productivas, así como su relación con los ecosistemas, biodiversidad y uso de agua para consumo humano. Se excluyeron los artículos que solo contemplaran aspectos económicos, debido a que el objetivo del estudio es desarrollar las actividades económicas en torno a los recursos hídricos y la biodiversidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación del protocolo de búsqueda mediante las rutas descritas previamente arrojó 28 artículos publicados entre 2003 y 2018 (Science Direct). Posteriormente se eliminaron 6 referencias debido a que no cumplían con los objetivos de la investigación, se evaluaron 22 publicaciones con base en el título y el resumen. Se analizaron 22 artículos en texto completo las mismas que forman parte de la revisión.

Historia de la hidroeconomía

Inicialmente el concepto de hidro-economía no se concebía como tal, el término utilizado fue relacionado a la evaluación económica respecto al agua. La evaluación económica de las transferencias de agua propuestas ha tomado varios caminos, que dependen en parte de la naturaleza de las soluciones propuestas. Esta evaluación de las asignaciones de agua, por supuesto, requiere considerar factores de costo (suministro) y de beneficio (demanda) y la interacción entre ambos, a fin de ayudar a determinar quién gana y quién pierde y en qué cantidad. Los primeros enfoques analizaron los costos versus los beneficios de la transferencia de un suministro fijo y predeterminado de agua (Booker y Young, 1994).

La hidroeconomía en un contexto de cambio climático

Los escenarios de climático hacia el año 2070, en los aspectos socio económicos, agronómicos y sistemas hidrológicos presentan cambios que pueden afectar gravemente los sistemas de riego, reduciendo la disponibilidad de agua y los rendimientos de la cosecha, por otro lado, se ve incrementado la demanda de agua para fines poblacionales.

Los riesgos climáticos que vienen enfrentando los agricultores está determinado actualmente por la tecnología y eficiencia de uso de agua, así como la ubicación espacial y las decisiones tomadas por las políticas actuales (Esteve *et al.*, 2015).

Los modelos de optimización hidroeconómica se desarrollaron para incorporar el valor del agua en zonas urbanas y agrícolas, sí como los costos de daño ocasionados por eventos extremos como inundaciones. Las compensaciones económicas por el acceso al agua para uso agrícola y poblacional, son más elevados en los escenarios de cambio climático cuando se presenta disminución de las precipitaciones; asimismo la gestión integrada de los recursos hídricos es esencial para desarrollar estrategias de adaptación efectiva y hacer frente a los desafíos emergentes del cambio climático y eventos extremos que afectaran a muchas regiones en el futuro (Mirchi *et al.*, 2018).

Los formuladores de políticas en cuencas áridas y semiáridas enfrentan decisiones difíciles sobre las políticas de gestión del agua necesarias para adaptación al cambio climático. El modelo hidroeconómico es un enfoque de vanguardia que se puede usar para guiar el diseño y la implementación de estas políticas en cuencas. Una brecha importante en el desarrollo de la modelización hidroeconómica hasta la fecha ha sido la débil integración de las representaciones físicas de las fuentes de agua y usos tales como la interacción entre el almacenamiento del agua superficial y el uso del suelo, para luego tomar decisiones de uso eficiente de agua a escala de cuenca (Kahil *et al.*, 2016).

Una metodología que interacciona la hidroeconomía y biodiversidad, es el modelo de hidrología (WEAP), que es un sistema de evaluación y planificación de

los recursos hídricos, la importancia del uso de este modelo nos permite analizar la distribución espacial y temporal de los efectos de diferentes políticas agrícolas y agua bajo diferentes escenarios climáticos.

Permite la predicción del clima, así como los resultados de políticas públicas a nivel de parcelas (estrés hídrico, impactos y adaptación) a nivel de cuenca (recuperación de ecosistemas) (Varela-Ortega *et al.*, 2011).

Hidroeconomía y modelos hidroeconómicos

Los modelos hidroeconómicos representan modelos distribuidos espacialmente de los sistemas conformados por los recursos hídricos, la infraestructura, las opciones de ordenación y los valores económicos de manera integrada.

Dentro de las herramientas de la hidroeconomía está la asignación del agua y la gestión, las mismas que son impulsadas por el valor económico del agua o económicamente evaluadas para aportar perspectivas de política y revelar las oportunidades para una mejor gestión. Un concepto central es que la demanda de agua no es un requisito fijo sino es la función donde la cantidad de agua que se utilice en diferentes momentos tiene valores diferenciados económicos totales y marginales (Harow, 2009).

Los modelos hidroeconómicos son a menudo utilizados para evaluar las opciones de gestión de los recursos hídricos, normalmente con el objetivo de entender cómo maximizar el valor de uso de agua y reducir los conflictos entre los usos que compiten entre sí (Momb Blanch *et al.*, 2016).

Modelos hidroeconómicos y biodiversidad

Los modelos hidroeconómicos representan una escala hidrológica regional, la ingeniería, los aspectos ecológicos y económicos de los sistemas de recursos hídricos dentro de un marco coherente. La idea es poner en funcionamiento los conceptos económicos, incluyéndolas en el corazón de los modelos de gestión de recursos hídricos.

Estos modelos han surgido como una herramienta privilegiada para llevar a cabo la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) (Global Water Partnership,

2000; Mariño y Simonovic, 2001; Cardwell *et al.*, 2006). Los modelos hidroeconómicos son herramientas orientadas a la solución para descubrir nuevas estrategias para lograr una mayor eficiencia y transparencia en el uso del agua. El objetivo es buscar un sistema en una nueva manera de investigar prometedoros planes de gestión del agua y de perspectivas de política. Las recientes investigaciones sobre modelos hidroeconómicos han sido descritos por McKinney *et al.* (1999), Jakeman y Letcher (2003), Lund *et al.* (2006), Heinz *et al.* (2007), Cai (2008), Pulido-Velázquez *et al.*, Brouwer y Hofkes (2008) y Ward (2009).

Tradicionalmente los ingenieros se encargan de evaluar los costos de construir, operar y mantener el abastecimiento del agua, transporte, almacenamiento, alcantarillado, drenaje y reutilización de aguas residuales, así como estimar las necesidades de agua (Randall, 1981).

La economía ayuda a los gestores del agua mover desde un punto de vista estático de la demanda de agua, definida a través de derechos de aguas, las prioridades y las proyecciones de crecimiento de la población y las necesidades de agua agrícola e industrial a una vista de demandas relacionadas con el concepto de valor económico. El valor del agua cambia con la cantidad y tipo de uso.

Monetizar todos los usos del agua permite una comparación ecuánime entre usos. Determinar el valor de los recursos disputados ayuda a difundir los conflictos mediante la introducción de claridad y revelar las frecuencias relativamente modestas a sumas involucradas (Fisher *et al.*, 2002). La monetización convierte un complejo problema de gestión multi-objetivo en un simple objetivo único del problema.

Actualmente los conflictos sociales entre el desarrollo humano basado en el riego y la conservación de los ecosistemas acuáticos vienen generando una serie de debates públicos.

Por otro lado, el uso del agua para las actividades productivas como la agricultura y consumo humano, vienen generando una serie de conflictos sociales debido a la creciente demanda de agua por consiguiente a la degradación de los ecosistemas acuáticos como los hume-

dales en cabeceras de cuenca y zonas de recarga hídrica.

Los modelos hidroeconómicos pueden ser usados para guiar el diseño y la aplicación de políticas que permitan la integración de los aspectos biofísicos de las fuentes de agua y su interacción con la tierra y los recursos hídricos superficiales.

Ante políticas que no permitan una adecuada gestión integrada de los recursos hídricos y los ecosistemas naturales, los usuarios del agua se verán afectados por la disminución del agua en las diferentes fuentes hídricas para el normal desarrollo de sus actividades (Kahil *et al.*, 2016).

Otro modelo que integra los aspectos hidrológicos, ecológicos y económicos está basado en el modelo de redes Bayesianas, encargado de evaluar los impactos biofísicos y económicos de escenarios de gestión de las cuencas hidrográficas, este modelo demuestra un enfoque flexible para incorporar diferentes tipos de datos (Kragt, 2013).

Un enfoque de optimización mediante modelos de hidroeconomía permite evaluar la cantidad y calidad de agua a lo largo de un período de planificación del manejo de los recursos hídricos, esto se logra mediante la programación dinámica estocástica conocido como el método del valor del agua (Davidsen *et al.*, 2015).

Un modelo hidroeconómico puede combinar un modelo hidrogeológico para simular la evolución de la calidad de las aguas subterráneas con componentes agronómicos y económicos para evaluar los costos esperados, efectividad y beneficios de la implementación de esquemas de agricultura y medio ambiente (Hérivaux *et al.*, 2013).

Los modelos hidroeconómicos actualmente incluyen al medio ambiente, como un factor en la toma de decisiones, los valores medioambientales del agua son irregulares en la mayoría de las aplicaciones, y no debería ser una consideración sistemática de las posibilidades de los valores ambientales a incluir y cómo deben ser valorados. Se sostiene que los servicios ecosistémicos ofrecen un enfoque sistemático para identificar la gama completa de los costos y beneficios ambientales.

Los principales retos de la representación holística del medio ambiente en los

modelos hidroeconómicos son los límites actuales para la comprensión de las funciones ecológicas que se refieren a las características físicas, ecológicas y económicas y los valores umbrales críticos del medio ambiente; y el tratamiento de la incertidumbre (Momb Blanch *et al.*, 2016). Un modelo hidroeconómico revela la planificación y costos de revisión de la infraestructura de suministro de agua en urbanizaciones y ciudades. Sirve como herramienta de gestión para los administradores de los servicios de agua, el mismo que permite una provisión eficiente del suministro de agua para fines de uso poblacional y contar con beneficios económicos y ambientales (Papagiannis *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

El crecimiento demográfico actualmente viene generando mayor presión por el acceso al agua para riego y consumo humano, por lo que se debe de tomar estrategias y políticas que permitan una mejor eficiencia en la gestión de los recursos hídricos. El cambio climático es un problema transversal en las diferentes actividades, por lo que las instituciones y usuarios de agua deberán de generar estrategias de adaptación al cambio climático. La modelación hidroeconómica permite guiar el diseño y la aplicación de políticas que permitan la integración de los aspectos biofísicos de las fuentes de agua y su interacción con la tierra y los recursos hídricos superficiales. La biodiversidad es un componente de los ecosistemas relacionados a la generación de la recarga hídrica por consiguiente a la disponibilidad en las diferentes fuentes de agua, la misma que deberá ser tomada en consideración para investigar en futuros modelos hidroeconómicos.

AGRADECIMIENTOS

A Fondo Nacional de Desarrollo Científico Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT) del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) por financiar esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Booker, J.; Young, R. 1994. Modeling Intrastate and interstate Markets for Colorado River Water Resources. *Journal of Environmental Economics and Management* 26: 66-87.

- Brouwer, R.; Hofkes, M. 2008. Integrated hydro-economic modelling: approaches, key issues and future research directions. *Ecological Economics* 66 (1), 16–22.
- Cai, X. 2008. Implementation of holistic water resources–economic optimization models for river basin management – Reflective experiences. *Environmental Modelling and Software* 23(1): 2–18.
- Cardwell, H.; Cole, R.; Cartwright, L.; Martin, L. 2006. Integrated water resources management: definitions and conceptual musings. *Journal of Contemporary Water Research and Education* 35: 8–18.
- Davidson, C.; Pereira-Cardenal, S.; Liu, S.; Mo, X.; Rosbjerg, D.; Bauer-Gottwein, P. 2015. Using stochastic dynamic programming to support water resources management in the Ziya River basin. *J. Water Resour. Plann. Manage* 141 (7): 04014086
- Esteve, P.; Varela-Ortega, C.; Blanco-Gutiérrez, I.; Downing, T. 2015. A hydro-economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agricultura. *Ecological Economics* 120: 49-58.
- Fisher, F.; Arlosoroff, S.; Eckstein, Z.; Haddadin, M.; Hamati, S.; Huber-Lee, A.; Jarrar, A.; Jayyousi, A.; Shamir, U.; Wesseling, H. 2002. Optimal water management and conflict resolution: The Middle East water project. *Water Resources Research* 38 (11): 1243.
- Global Water Partnership. 2000. Integrated Water Resources Management. Global Water Partnership TAC Background Paper 4. Stockholm, Sweden. Disponible en: <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/04-integrated-water-resources-management-2000-english.pdf>
- Heinz, I.; Pulido-Velazquez, M.; Lund, J.; 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.
- Hérviaux, C.; Orban, F.; Brouyere, S. 2013. Is it worth protecting groundwater from diffuse pollution with agri-environmental schemes? A hydro-economic modeling approach. *Journal of Environmental Management* 128: 62-74.
- Kahil, M.; Ward, A.; Albiac, J.; Eggleston J.; Sanz D. 2016. Hydro-economic modeling with aquifer-river interactions to guide sustainable basin management. *Journal of Hydrology* 539: 510-524.
- Kragt, M. 2013. Hydro-economic modelling in an uncertain world: Integrating costs and benefits of water quality management. *Water Resources and Economics* 4(0):1–21.
- Jakeman, A.; Letcher, R. 2003. Integrated assessment and modelling: features, principles and examples for catchment management. *Environmental Modelling and Software* 18(6): 491–501.
- Lund, J.; Cai, X.; Characklis, G. 2006. Economic engineering of environmental and water resource systems. *Journal of Water Resources Planning and Management* 132(6): 399–402.
- Mariño, M.; Simonovic, S. 2001. Integrated Water Resources. *Management* 272.
- McKinney, D.; Cai, X.; Rosegrant, M.; Ringler, C.; Scott, C. 1999. Modeling Water Resources Management at the Basin Level: Review and Future Directions. SWIM Paper 6. International Water Management Institute, Colombo.

- Mirchi, A.; Watkins, D.; Engel, V.; Sukop, M.; Czajkowski, J.; Bhat, M.; Rehage, J.; Letson, D.; Takatsuka, Y.; Weisskoff, R. 2018. A hydro-economic model of South Florida water resources system. *Science of the Total Environment* 628-629: 1531-1541.
- Momblanch, A.; Connor, J.; Crossman, N.; Paredes-Arquiola, J.; Andreu, J. 2016. Using ecosystem services to represent the environment in hydro-economic models. *Journal of Hydrology* 538: 293-303.
- Papagiannis, F.; Gazzola, P.; Burak, O.; Pokutsa, I. 2018. Overhauls in water supply systems in Ukraine: A hydro-economic model of socially responsible planning and cost management. *Journal of Cleaner Production* 183: 358-369.
- Randall, A. 1981. Property entitlements and pricing policies for a maturing water economy. *The Australian Journal of Agricultural Economics* 25: 195-220.
- Urrútia, G.; Bonfill, X. 2010. PRISMA declaration: A proposal to improve the publication of systematic reviews and meta-analyses. *Journal of Medicina Clínica* 135 (11), 507-511.
- Varela-Ortega, C.; Blanco-Gutierrez, I.; Swartz, C.; Downing, T. 2011. Balancing groundwater conservation and rural livelihoods under water and climate uncertainties: An integrated hydro-economic modeling framework. *Global Environmental Change* 21: 604-619.
- Ward, F. 2009. Economics in integrated water management. *Environmental Modelling and Software* 24(8): 948-958.