

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	Evaluación de políticas alternativas de suministro de agua en Hermosillo, Sonora, México.
<i>Autor / Adscripción</i>	Héctor Manuel Bravo Pérez Juan Carlos Castro Ramírez Universidad Nacional Autónoma de México José Dolores Magaña Zamora Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Amelia Reyes Martínez Universidad Nacional Autónoma de México
<i>Publicación</i>	Tecnología y Ciencias del Agua, 4(2): 163-169
<i>Fecha de publicación</i>	2013
<i>Resumen</i>	En este trabajo se presentan los resultados, desde el punto de vista de la eficiencia económica, de las alternativas de suministro de agua a la ciudad de Hermosillo, Sonora, México. En el análisis se aplica el criterio de Kaldor-Hicks para la evaluación y se comparan dos fuentes distintas de suministro: desalar agua de mar y comprar agua a la agricultura de la región, poniendo énfasis en el conflicto distributivo entre el uso urbano y agrícola del agua entre diferentes cuencas hidrográficas.
<i>Identificador</i>	http://hdl.handle.net/123456789/1326

EVALUACIÓN DE POLÍTICAS ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE AGUA EN HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO

• Héctor Manuel Bravo-Pérez • Juan Carlos Castro-Ramírez •
Universidad Nacional Autónoma de México

• José Dolores Magaña Zamora* •
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

*Autor de correspondencia

• Amelia Reyes Martínez •
Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados, desde el punto de vista de la eficiencia económica, de las alternativas de suministro de agua a la ciudad de Hermosillo, Sonora, México. En el análisis se aplica el criterio de Kaldor-Hicks para la evaluación y se comparan dos fuentes distintas de suministro: desalar agua de mar y comprar agua a la agricultura de la región, poniendo énfasis en el conflicto distributivo entre el uso urbano y agrícola del agua entre diferentes cuencas hidrográficas.

Palabras clave: precio del agua, eficiencia económica, mercados del agua, políticas públicas del agua, mecanismos de asignación del agua, economía agrícola.

Los antecedentes del problema del agua en la ciudad de Hermosillo, Sonora

Hermosillo es la ciudad más poblada y con mayor crecimiento en Sonora, su población actual es de 784 342 (INEGI, 2010); en el año 2008, se estimaba que la tasa de crecimiento de la población sería de 2.1% anual, mientras que la del estado de Sonora se apreciaba en sólo 1%; de acuerdo con las proyecciones más recientes, se espera que Hermosillo tenga un poco más de un millón de habitantes para el año 2030 (Conapo, 2008).

La ciudad se encuentra en una zona donde los recursos hídricos son limitados. El escurrimiento superficial aprovechable ha modificado su comportamiento; la reducción en las aportaciones a la presa Abelardo L. Rodríguez no es consecuencia de una disminución de la lluvia en la cuenca, sino del cambio de régimen de los escurrimientos, que son

regulados por la presa "El Molinito", lo que ha favorecido la recarga del acuífero (OMM/PROMMA, 2003).

No obstante, el proceso de abatimiento de los niveles de bombeo en los acuíferos de la cuenca del río Sonora ha sido continuo y es consecuencia de su sobreexplotación. Así, se han formado dos conos de abatimiento en los acuíferos Mesa del Seri-El Zanjón: uno en la zona agrícola de El Zanjón y otro cercano a la presa Abelardo L. Rodríguez, lo que ha ocasionado bajos niveles de almacenamiento en dicha presa en los últimos años. Para este acuífero se estima 65% de agua aprovechable, un volumen aproximado de 3 600 hectómetros cúbicos (hm³) y una vida útil del acuífero de 12 años, a partir del año 2004 (OMM/PROMMA, 2003).

La mayor parte del agua subterránea de la Costa de Hermosillo está concesionada al Distrito de Riego 051, con 432.7 hm³, que excede en 182.7 hm³ a la recarga anual bruta, que es

de 250 hm³ (Comisión Nacional del Agua, 2007b); se estima que un 65% de agua dulce será aprovechable en el acuífero de la Costa de Hermosillo, dando un volumen aproximado de 14 336 hm³, con una extracción de 450 hm³ por año; se espera una vida útil de este acuífero de 32 años, a partir del año 2004 (OMM/PROMMA, 2003).

La dotación de agua potable a la ciudad de Hermosillo había sido proporcionada por medio de la presa Abelardo L. Rodríguez, pero a partir de los años noventa, el nivel de la presa comenzó a descender y el abastecimiento de la ciudad comenzó a ser de aguas subterráneas. El agua subterránea también dio muestras de estar disminuyendo: de junio de 2004 al mismo mes del año siguiente, el gasto máximo de los pozos que surten a la ciudad bajó de 3 625 a 2 649 litros por segundo (lps), equivalentes a 83.54 (hm³) anuales (Salazar y Pineda, 2010). Ante estas limitaciones y contracciones de las fuentes de suministro, la producción de agua para consumo de la ciudad ha disminuido. El volumen producido se ha mantenido entre los 70 y los 80 hm³ anuales.

Así, para abastecer de agua a la ciudad de Hermosillo (uso público urbano e industrial), se tenía una capacidad en las fuentes de 4 365 lps (137.6 hm³ anuales), incluidas tres potabilizadoras, con 1 800 lps (56.7 hm³ anuales), integrada con aguas superficiales reguladas con la presa Abelardo L. Rodríguez y las fuentes de aguas subterráneas: Mesa del Seri, La Victoria, Saucedá, Planta industrial y la región Willard, esta última destinada para la zona industrial y la planta Ford de Hermosillo (Salazar y Pineda, 2010).

La dotación de agua a la ciudad de Hermosillo tiene registros con el comportamiento siguiente: 462 litros por habitante al día (l/h/d) en 1995 y una disminución de 470 a 337 l/h/d, con la aplicación del Programa de Cultura del Agua, junto con otras medidas, como el racionamiento de la dotación. Bajo los escenarios de crecimiento de la población y suponiendo que se disminuyera la dotación

a 300 l/h/d, la demanda de agua para uso público urbano en la ciudad de Hermosillo aumentaría de 100 a 140 hm³ en el 2030 (OMM/PROMMA, 2003).

La mayor parte de esa demanda se puede atender con agua superficial, siempre y cuando el escurrimiento esperado aprovechable fluya libremente hacia la presa Abelardo L. Rodríguez; incluso si esto ocurriera, se necesita una capacidad de respaldo de los pozos. En este último punto, la ciudad cuenta con concesión de 49 hm³ de agua subterránea, pero según fuentes de 2004, se extrae un volumen del orden de 80 hm³ (OMM/PROMMA, 2003).

Ante el hecho de que la presa Abelardo L. Rodríguez, la principal fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Hermosillo, ha disminuido sus volúmenes de ingreso o se ha secado por completo durante los últimos años, y en virtud de que el gasto adicional de agua que requerirán los hermosillenses hacia el 2030 será de aproximadamente 90 hm³ sin sobreexplotar los acuíferos, entonces la fuente de abastecimiento, que se está buscando, tendrá que reponer este volumen, junto con el resto de la demanda.

Como el problema de agua en Hermosillo es apremiante, de interés general y por lo mismo de gran relevancia política, se ha sugerido una lista preliminar de opciones de adaptación que se consideran como viables:

1. Desalación de agua de mar, ya sea de Empalme o Costa de Hermosillo.
2. Creación de un mercado del agua entre la ciudad y pequeños productores agrícolas con derechos de agua (compra de derechos de agua en la Costa de Hermosillo, de preferencia entre Siete Cerros y Hermosillo).
3. Compra de derechos de agua al Distrito de Riego 041 Río Yaqui para uso urbano en la ciudad de Hermosillo (se pretende construir un acueducto de 140 kilómetros desde la presa El Novillo, para suministrar un volumen máximo de 4 m³/s).
4. Control de la demanda de agua en la ciudad de Hermosillo.

Evaluación de las alternativas de oferta

De las cuatro alternativas consideradas, en este trabajo sólo se tomaron en cuenta las que incrementan el suministro de agua: desalación de agua de mar, compra de derechos del Distrito de Riego 051 Costa de Hermosillo o adquisición de los mismos al Distrito de Riego 041 Río Yaqui.

El volumen a negociar, es decir, el volumen que desea adquirir la ciudad de Hermosillo para satisfacer su demanda de agua potable es de 75 Mm³ (Duarte, 2010b).

Para determinar el precio del agua al cual estarían dispuestos a vender sus derechos los agricultores del Distrito de Riego 041, Río Yaqui, se desarrolló un modelo de programación lineal, en el cual se maximiza el beneficio bruto derivado de sembrar un número de hectáreas disponibles para cada cultivo (véase Bravo et al., 2010). El valor del agua asignado por los usuarios del Distrito de Riego 041 al cual podrían aceptar una transferencia de agua hacia Hermosillo es de aproximadamente \$10.00 por metro cúbico.

Evidentemente se trata de un precio medio, lo cual podría implicar que si la transacción que se pretende realizar es por ciclo anual de producción, los agricultores que tuvieran pérdidas económicas estarían dispuestos a realizar las transferencias de sus derechos de agua a un precio menor a éste, pero dicha consideración no cabe, puesto que si bien los usuarios del distrito de riego no son homogéneos, y hay perdedores y ganadores en cada ciclo de producción, una decisión de transferencia sólo podrá darse si la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego lo autoriza y, en este caso, la competencia por el recurso se da también al interior del distrito de riego, el cual marca un precio de competencia mayor. Quizás eso explique la proposición de la Asociación de otorgarle quinientos millones de pesos a la ciudad de Hermosillo para que los utilice en la construcción de una planta desaladora y desistiera de construir el Acueducto "El Novillo" (Duarte, 2010a).

Los agricultores del Distrito de Riego 051 Costa de Hermosillo tienen un precio de oferta menor, el cual oscila entre \$2.50 y \$3.00 por cada metro cúbico (véase Bravo et al., 2010). Ventaja comparativa que aumenta si se considera que dicho distrito se encuentra en la propia cuenca del río Sonora, que comparte la ciudad de Hermosillo.

Este solo hecho bastaría para mostrar que no se justifica económicamente la adquisición de derechos del agua de los usuarios del Distrito de Riego 041. Sin embargo, los planeadores y actores políticos relevantes pueden decidir optar por otra fuente de abastecimiento que permita incrementar la oferta de agua, de acuerdo con proyecciones de crecimiento y límites demográficos en el largo plazo.

Abstrayéndose de la segunda condición mencionada antes, es decir, que no exista una fuente alternativa de agua más barata para suministrar agua a la ciudad de Hermosillo, ¿qué criterios deben cumplirse para que se realice el intercambio entre los habitantes de la ciudad de Hermosillo, representados por el Organismo Operador de Hermosillo, y los agricultores del D.R. 041 Río Yaqui, representados por la Sociedad de Responsabilidad Limitada de los usuarios del distrito de riego?

Para que pudieran prosperar las negociaciones de mercado entre ambas partes, "el ganador potencial" debe compensar al vendedor por los beneficios perdidos, cubrir los demás costes inherentes a la transferencia y aún así ganar con la transacción. En este caso, los usuarios de la ciudad de Hermosillo tendrían incentivos para realizar el intercambio si su disposición a pagar es superior al valor de referencia considerado por el potencial vendedor más los costos de transporte y de transacción (públicos y privados) (Young, 1986).

Los costos de transportar el agua a grandes distancias de sus cauces naturales suelen ser elevados en relación con su valor en la mayoría de los usos, por lo que sólo las transferencias de volúmenes muy grandes justificarían la decisión de construir nuevos sistemas de

transporte. Esta es la razón por la cual en la mayoría de los países no existen redes de canales nacionales o regionales, y casi todos los sistemas hídricos son independientes y no están interconectados. Una excepción interesante es el caso de los cuerpos de agua naturales compartidos que sirven de acueductos naturales para transferir el recurso, a lo largo de los cuales se desarrollan los mercados del agua regionales. En consecuencia, los mercados del agua suelen ser mercados regionales relativamente independientes, definidos por cuencas fluviales, y no por regiones o naciones (Lee y Juravlev, 1998).

El hecho de que la transferencia sea entre diferentes cuencas impone una restricción para las transacciones de agua: el alto costo de inversión, operación y mantenimiento del Acueducto "El Novillo" hace que se desestime dicha negociación. Los beneficios para los habitantes de la ciudad de Hermosillo tendrán que ser lo suficientemente grandes como para compensar estos elevados costos de transporte.

Cuando los costos de transporte superan a las ganancias potenciales del negocio se pierde el incentivo para participar en el mercado. Esto significa que los costos de transporte pueden suprimir transacciones que, de lo contrario, habrían sido beneficiosas para las partes y la sociedad.

Dado que los costos de transacción aumentan los costos de una transferencia de mercado, los beneficios potenciales tienen que tener, en general, la magnitud suficiente como para justificar los costos de transacción vinculados con la transferencia propuesta y el riesgo de que la transacción no se realice. En casos extremos, los costos de transacción pueden impedir que los mercados se formen. Esto explicaría la relativamente baja presencia de las transacciones de agua (Young, 1986).

En el cuadro 1 se comparan las alternativas para incrementar el abastecimiento de agua en la ciudad de Hermosillo y se evalúan para determinar cuál es la que le convendría a la sociedad de acuerdo con los criterios definidos.

Con el fin de calcular la rentabilidad del agua para cada uno de los diferentes usos, fue necesario determinar la demanda del agua para cada uso y después calcular el excedente del consumidor. No fue posible estimar econométricamente la demanda por falta de información, por lo que se procedió a calibrar cada una de las funciones, asumiendo que las cantidades de agua consumida y las tarifas por el agua observados en Hermosillo son asignaciones y precios de equilibrio (véase Bravo et al., 2010).

Una vez calculados los excedentes del consumidor, para cada tipo de demanda de agua deben compararse los beneficios y los costos sociales que corresponden a las diferentes opciones evaluadas.

Debe recordarse que existen al menos tres opciones para satisfacer el volumen de agua demandado por la ciudad de Hermosillo, considerando un incremento de la oferta:

1. Producir agua en una planta desaladora.
2. Adquirir los derechos sobre el agua que ampare dicho volumen del Distrito de Riego 051 Costa de Hermosillo.
3. Traerlo desde la cuenca del río Yaqui, adquiriéndolo previamente de los agricultores del Distrito de Riego 041 Río Yaqui (en este trabajo se analiza la política de oferta y el *trade off* existente entre el uso de agua agrícola y urbano; sin embargo, una alternativa que debe tomarse en consideración es el control de la demanda de agua en la ciudad de Hermosillo a través de las tarifas).

El primer requisito para que se realice la transacción de mercado es que la rentabilidad esperada, por ejemplo los beneficios directos (BD) que los habitantes de Hermosillo esperan obtener por la mayor cantidad de agua adquirida, sean superiores a los rendimientos sacrificados o beneficios directos que dejarían de percibir los vendedores de los derechos de agua (BDP) más los costos de transacción y transporte del agua (CTyT).

Siguiendo a Young (1986), esta condición puede expresarse en general de la siguiente manera:

$$BD > BDP + CTyT \quad (1)$$

En el lado izquierdo de (1) aparecen los beneficios directos (BD) que esperan obtener los habitantes de Hermosillo por la asignación de 75 Mm³; en este caso, BD se calculó como el excedente del consumidor y es equivalente a 2 329.7 millones de pesos para cada una de las alternativas.

El lado derecho de la desigualdad muestra la suma de los beneficios directos que dejan de obtener los vendedores agrícolas cuando transfieren sus derechos de agua (BDP) más los costos de transacción y transporte que deban ser sufragados por los adquirientes de los derechos (CTyT).

Los rendimientos sacrificados por los vendedores agrícolas (BDP) se calcularon como la utilidad neta por metro cúbico (por ejemplo, descontadas las pérdidas por conducción) que dejarían de obtener en promedio los agricultores de los Distritos de Riego 041 Río Yaqui y 051 Costa de Hermosillo (véase Bravo et al., 2010).

Se puede expresar la relación (1) con el subíndice *H*, *Y*, *M*, según sea la alternativa: compra de derechos de los agricultores de Hermosillo, del Yaqui o desalación de agua de mar. Se tendrían entonces las siguientes relaciones:

$$BD > BDP_H + CTyT_H \quad (1a)$$

$$BD > BDP_Y + CTyT_Y \quad (1b)$$

$$BD > BDP_M + CTyT_M \quad (1c)$$

Aquí, los costos de transporte y de transacción se presentan como costos residuales, es decir, son los costos máximos que harían factible, en el límite, cada opción. Así, las expresiones anteriores se convierten en:

$$BD - BDP_H = CTyT_H \quad (2a)$$

$$BD - BDP_Y = CTyT_Y \quad (2b)$$

$$BD - BDP_M = CTyT_M \quad (2c)$$

En el caso de la desalación de agua de mar (alternativa 2c), el costo de oportunidad es cero, por lo que no existen rendimientos sacrificados ($BDP_M = 0$). Esto le otorgaría, en principio, la mayor ventaja entre las opciones, siempre y cuando no hubiera una fuente más barata, como se discutió en el apartado anterior. Sin embargo esta opción tiene un costo promedio de \$8.22 por metro cúbico, entregado en las afueras de la ciudad (Pineda, 2007), que implicaría una erogación de \$616.5 millones, que debe considerarse bajo el supuesto de que los costos de transacción y transporte del recurso sirven como límite máximo para establecer la factibilidad de la medida; es decir, que dichos costos podrían llegar a ser casi equivalentes a los beneficios directos percibidos por los habitantes de Hermosillo.

Si se elimina esta opción —que no es de mercado, por existir un exceso de oferta de agua de mar— pueden compararse las dos alternativas de mercado y que enfrentan a los usos agrícola y urbano, y el posible trasvase del recurso entre cuencas distintas. La comparación se muestra en el cuadro 1.

Dada la forma en que se determinó el límite máximo de los costos de transporte y de transacción, este valor puede interpretarse como una medida inversa de la eficiencia social de llevar a cabo la alternativa, de esto se desprende que la alternativa de importar agua de la cuenca del río Yaqui es la que admite un valor máximo de costos de transacción y transporte. Sin embargo, esta aparente ventaja se desvanece, porque el costo de transporte en el caso del Distrito de Riego 051 sería claramente inferior, por encontrarse dentro de la misma cuenca que la ciudad de Hermosillo.

Finalmente, si se desea importar agua de la cuenca del río Yaqui, lo más recomendable es realizar un estudio para determinar los costos de transacción y transporte, y verificar

Cuadro 1. Beneficios y costos sociales de las fuentes alternativas para la asignación del agua a la ciudad de Hermosillo, Sonora, México.

Alternativa	Vendedor	Comprador	
		Rendimientos sacrificados (BDP) (millones de pesos)	Rentabilidad esperada (BD) (millones de pesos)
Desalar agua de mar	NA	2 329.7	1 713.2
Mercado de agua:			
D.R. 051 Costa de Hermosillo	411.7*	2 329.7	1 918
D.R. 041 Río Yaqui	267*	2 329.7	2 062.7

Fuente: propia.

* Para el cálculo de los rendimientos sacrificados (BDP), véase el Anexo B Mimeo.

NA: no aplica.

que se cumplan las condiciones de viabilidad, antes de proponer una transacción de mercado a los agricultores del Distrito de Riego 041. Asimismo, deben considerarse los costos ambientales del trasvase entre las cuencas del río Yaqui y el río Sonora, que pueden llegar a ser considerables y siempre deben tomarse en cuenta en la toma de decisiones.

Recibido: 06/06/11
Aceptado: 01/08/12

Referencias

- BRAVO, H.M., CASTRO, J.C., MAGAÑA, J.D. y REYES, A. *La asignación del agua en la ciudad de Hermosillo, Sonora: el conflicto entre el uso urbano y el uso agrícola*. [Mimeo] 2010.
- CONAPO. *Proyecciones de la población de México, de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades, 2000-2050. Documento metodológico*. México, D.F.: Consejo Nacional de Población, 2008.
- DUARTE, D. *Dossier Político* [en línea], julio, 2010a. Disponible en *World Wide Web*: <http://www.dossierpolitico.com/>.
- DUARTE, D. *Dossier Político* [en línea], agosto, 2010b. Disponible en *World Wide Web* <http://www.dossierpolitico.com/>.
- INEGI. *México en cifras*. México, D.F.: INEGI, 2010.
- LEE, T.R. y JURAVLEV, A.S. *Los precios, la propiedad y los mercados en la asignación del agua*. Serie Medio Ambiente y Desarrollo 6. Chile: CEPAL, ONU, 1998.
- OMM/PROMMA. *Manejo sostenible del agua con protección de su calidad en la Costa de Hermosillo y la cuenca del río Sonora, México*. Informe 156. Gerencia de Aguas Subterráneas, Gerencia Regional Noroeste, Subdirección General Técnica, 2003.
- PINEDA, N. Construcciones y demoliciones. Participación social y deliberación pública en los proyectos del acueducto de El Novillo y de la planta desaladora de Hermosillo, 1994-2001. *Región y Sociedad*. Número especial, Colegio de Sonora, Sonora, México, 2007, pp. 89-115.
- SALAZAR, A. y PINEDA, N. Escenarios de demanda y políticas para la administración del agua potable en México: el caso de Hermosillo, Sonora. *Región y Sociedad*. Vol. XXII, núm. 47, enero-abril de 2010, pp. 105-122.
- YOUNG, R.A. Why are there so few transactions among water users? *American Journal of Agricultural Economics*. Vol. 68, No. 5, December, 1986.

Abstract

BRAVO-PÉREZ, H.M., CASTRO-RAMÍREZ, J.C., MAGAÑA-ZAMORA, J.D. & REYES-MARTÍNEZ, A. *Evaluation of alternative policies for water supply in Hermosillo, Sonora, Mexico*. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*. Vol. IV, No. 2, April-June, 2013, pp. 163-169.

This paper presents results related to the economic efficiency of water supply alternatives for Hermosillo, Sonora, Mexico. The analysis applied the Kaldor-Hicks criterion to evaluate and compare two different supply sources: desalinated seawater and bought water for agriculture in the region. Emphasis is given to the distributive conflict between urban and agricultural water uses in the different hydrographic watersheds.

Keywords: *water price, economic efficiency, water markets, water policy, water allocation mechanisms, agricultural economics.*

Dirección institucional de los autores

Dr. Héctor Manuel Bravo Pérez

Facultad de Economía
Universidad Nacional Autónoma de México
Prosperidad 88, Colonia Escandón
11800 México, D.F., MÉXICO
Teléfono: +52 (55) 5273 7300
hctorb@economia.unam.mx

Dr. Juan Carlos Castro Ramírez

Departamento de Economía
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
Av. San Rafael Atlixco, núm. 186, Colonia Vicentina
09340 México, D.F., MÉXICO
Teléfono: +52 (55) 5804 4771

M.I. José Dolores Magaña Zamora

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso
62550 Jiutepec, Morelos, MÉXICO
Teléfono: +52 (777) 3293 675
jmagana@tlaloc.imta.mx

M.I. Amelia Reyes Martínez

Estudiante del doctorado en Economía
Facultad de Economía
Universidad Nacional Autónoma de México
Prosperidad 88, Colonia Escandón
11800 México, D.F., MÉXICO
Teléfono: +52 (55) 5622 2164
melita1997@yahoo.com