

COMUNICACIONES LIBRES





El valor **intrínseco** del **agua**: una propuesta

El texto retorna a la polémica acerca del valor intrínseco del agua (VIA) que habría que incluir en el precio que paga el consumidor. Se calcula este valor con base en la energía solar involucrada en el ciclo hidrológico que genera un volumen considerable de agua de la mejor calidad y sin la intervención del ser humano. Se discute su aplicación en México al lado de otros componentes del precio, como los costos de administración, distribución y plusvalía del agua y de la energía eléctrica.

Introducción

El agua es fundamental para el sostenimiento de la vida en el planeta. La necesitan desde las bacterias hasta las ballenas, ya sea como unidad estructural, como reactivo, como matriz de las reacciones bioquímicas, en el transporte de metabolitos hacia y desde la célula, y hasta en el traslado humano de residuos y mercancías a nivel sanitario y comercial (Reid y Wood, 1976). Determinar su valor intrínseco tiene relevancia en Latinoamérica (especialmente en los países meridionales), donde el agua está limitada por la aridez y su distribución heterogénea (Anton, 1993). Además, su demanda se incrementa y su uso se intensifica al aumentar las poblaciones y actividades humanas.

Al paso del tiempo, el agua se convierte en un recurso crítico y crece la competencia por ella entre individuos, comunidades y estados (Vallentyne, citado en Wetzl, 2001). Eventualmente se generan acuerdos que condicionan su volumen y destino, con sanciones a quienes no respeten tales condiciones. El problema de las transacciones y de las sanciones económicas radica en ponerle un precio al agua. En la práctica, el precio depende de la plusvalía que le confiere el consumidor por el uso que le dé y el volumen que demande, más el costo de recolección, tratamiento



y distribución en términos del equipo, material y trabajo humano aplicado (Raucher, 2008). Pero, ¿cuánto le cuesta a la naturaleza hacer un litro de agua? ¿Cuánto vale cada litro desperdiciado? ¿Es más barata la de mar que la de manantial? ¿O la superficial que la freática?

Se ha propuesto que el valor intrínseco del agua sea el costo de su síntesis en laboratorio a partir de dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno. En el presente, se desarrolla una alternativa sobre bases más naturales y sin que intervenga la mano del ser humano.

Nuestro objetivo en este artículo es desarrollar una propuesta para determinar el valor intrínseco del agua a partir del ciclo hidrológico terrestre que la hace disponible para el mantenimiento de los fenómenos naturales y para los múltiples usos que le da la especie humana.

Antecedentes

El ciclo hidrológico

El Sol es una estrella en constante desintegración. Su enorme masa genera una fuerza gravitacional tal, que la presión resultante en su núcleo eleva su temperatura hasta producir la termofusión nuclear de la materia. La energía liberada “enciende” al Sol, que entonces emite al espacio radiación compuesta por un amplio rango de energías, que comprende desde los rayos cósmicos hasta las ondas de radio (Gates, 1980; Ghosh y Prelas, 2011).

Aquí son relevantes la radiación ultravioleta, la luz visible y el infrarrojo, que al incidir en la capa superior de la atmósfera son en parte reflejados de regreso al espacio y en parte transmitidos

hacia la superficie terrestre. Esta radiación caliente al aire, al suelo y al agua por los fenómenos de dispersión y absorción, que generan en el planeta una temperatura media de 15 °C, valor medio entre el máximo y el mínimo extremos registrados. De no ser así, la Tierra sería una enorme bola cubierta de hielo inerte en el espacio (Gates, 1980).

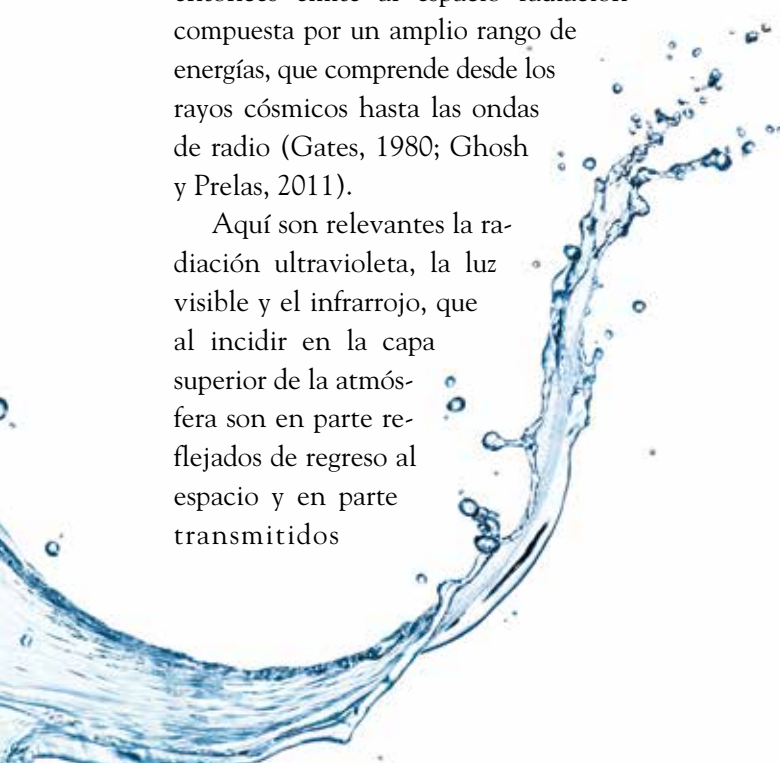
Al calentar al planeta, la energía radiante se convierte en calor (Q). El agua caliente se evapora y pasa al estado gaseoso. Sube al cielo y forma nubes que las corrientes de aire llevan en todas direcciones. Al llegar a los continentes, las nubes se elevan al chocar con las montañas y se enfrían sin perder calor (adiabáticamente). Entonces se condensan en gotas que caen al suelo como lluvia (Wetzel, 2001).

En México llueve un volumen aproximado de 1 489 km³ anuales ($V_p = 1.489 \times 10^{12} \text{ L año}^{-1}$), que de repartirse en la superficie total del territorio, llenaría una alberca de 76 cm de profundidad (Semarnat, 2010). El volumen de precipitación anual (V_p) equivale aproximadamente a la décima parte de lo que llueve en toda América del Norte, y a la vigésima parte de lo que llueve en Sudamérica (Wetzel, 2001). Esta diferencia se refleja en el gradiente norte-sur de la precipitación en la República Mexicana.

Un 73.2% (1 090 km³) del V_p se evapora nuevamente, y 4.7% (70 km³) se infiltra al subsuelo. Esto constituye el mayor volumen de agua útil del país, sobre todo en la región centro norte, que ocupa 67% del territorio nacional, y donde el efecto de continentalidad reduce la precipitación (véanse los Cuadros 1 y 2).

La diferencia de 399 km³ es agua líquida que puede acumularse en charcos, estanques y lagos, unos 11 km³ (Semarnat, 2010), o puede escurrir formando arroyos que, a su paso por las laderas, se fusionan y crecen ríos de diferente tamaño, según el área de la cuenca de captación y la intensidad de la lluvia. La mayoría de los ríos desemboca mar. A lo largo de su cauce son represados en un volumen cercano a los 159 km³, lo que representa 11% del total precipitado.

Finalmente, se vuelve a evaporar el agua del mar y la que está estancada, mientras que la vegetación evapotranspira otra parte. Ambas se suman a las nubes; se cierra así el ciclo hidrológico.



El precio del agua con base en los costos de administración

El organismo que administra el agua en México, la Comisión Nacional del Agua (Conagua), ejecuta las obras y acciones requeridas para su captación, medición, distribución, arbitraje, evaluación de la contaminación y tratamiento. Su presupuesto va en ascenso, conforme a la demanda del recurso. En 2013 fue de \$41 000 millones de pesos, y en 2014 de \$54 000 millones ($\$54 \times 10^9 \text{ año}^{-1}$), provenientes principalmente de subsidios del gobierno, y una cuarta parte de la recaudación (Conagua, 2013).

Del volumen disponible de 459 km³, están concesionados 79.752 km³, que han de incluir los 73 km³ del subsuelo (lo que implica que los mantos acuíferos están sobreexplotados) y 6.7 km³ superficiales. Si sumamos los 159 km³ de las presas, notamos que poco más de la mitad ($54\% = 249 \text{ km}^3 = 16.5\%$ del volumen total) del agua disponible entra al ámbito de la administración federal.

Si dividimos el presupuesto federal entre el volumen de agua administrado, tenemos que durante 2014 se pagaron:

$$\frac{54 \times 10^9 \text{ \$ año}^{-1}}{249 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}} = 0.2168 \text{ \$ m}^{-3} \quad [\text{ec. 1}]$$

Eliminando los lagos, cuyo nivel depende del clima y no del manejo, este pago sube a \$0.23 el m³. Y si se considera solamente lo concesionado, el pago sube a \$0.677 por m³. Aparentemente es un costo bajo, pero el agua en sí no le cuesta nada al hombre. Además



esto no incluye el volumen evaporado (73.2%), que presta servicios ambientales: lluvia potencial, regulador del clima, escudo contra la radiación ultravioleta, y promotor de la fotosíntesis y del crecimiento vegetal y animal (producción primaria y secundaria).

El costo del agua municipal y la plusvalía

En el Cuadro 1 se comparan zonas secas y húmedas sobre el gradiente norte-sur (Semarnat, 2010). La cuarta columna, multiplicada por 1 000, da los litros que llueven anualmente por m². Se ve que Baja California y Sonora presentan una precipitación de 2 L y pueden pasar varios años sin lluvia; al sur de Sonora es de 10 L; en Guanajuato y Chilpancingo sube a 207 y 311 L; y en el sureste llegan a 1 000 L o más.

Cuadro 1. Comparación de la precipitación en varias zonas del país (Semarnat, 2010).

Cuenca	Nombre	Superficie (km ²)	Lámina (m)	Clima	Población ($\times 10^6$)
6	Baja Cal SE	11 541	0.00	muy seco	1
8	Sonora N	61 340	0.002	muy seco	1
9	Sonora S	139 169	0.01	muy seco	1.5
12	Lerma-Stgo.	132 724	0.207	subhúmedo	20
18	Balsas	118 097	0.311	subhúmedo	10
29	Coatzacoalcos	30 173	1.079	húmedo	8
30	Grijalva-Usum.	102 317	0.919	subhúmedo	5
31	Yucatán W	25 406	0.958	subhúmedo	2



El organismo federal entrega agua en “bloque” a los estados y municipios a través de los Consejos de Cuenca, los cuales fijan la tarifa en que “venden” el agua a los usuarios. En el Cuadro 2 se ordenaron varias ciudades de norte a sur. Comparado con el Cuadro 1, se ve que el precio es más alto donde el agua escasea (ley de la oferta y la demanda), y si el precio es bajo es porque el agua proviene del subsuelo o de una presa cercana. En contraparte, por ejemplo, en Coatzacoalcos y Chiapas dicha ley se anula, sobre todo en verano, cuando el problema no es llevarla, sino contenerla para evitar inundaciones y, en su caso, desalojarla.

La plusvalía se relaciona a la heterogeneidad hídrica y el contraste social, y resalta al comparar las regiones en que está dividido administrativamente el país (véase el Cuadro 1). En la Zona II, denominada Frontera Sur, la disponibilidad es alta, con $24043 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ año}^{-1}$, y en la Zona XIII, Cuenca del Valle de México (CVM), la disponibilidad es mínima, con $165 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Quien más pagaría por el volumen disponible vive en la zona de menor ingreso per cápita (Frontera Sur), y quien menos pagaría se encuentra en la zona de mayor ingreso per cápita (CVM).

Sin embargo, la CVM es un caso peculiar: ocupa 5% del territorio nacional y concentra hasta 33% de la población. Aquí se anula la ley de la oferta y la demanda; se eleva artificialmente la oferta, se importa agua de otras cuencas y se subsidian los altos costos de operación. Sin embargo, este esquema de administración se justifica con el argumento de que la CVM aporta 42% del Producto Interno Bruto nacional. Pero cabe preguntarse: ¿durante cuánto tiempo más?

Cuadro 2. Precio del m^3 por ciudad. Consumo unifamiliar de $30 \text{ m}^3 \text{ mes}^{-1}$.

Ciudad	Precio* del agua $\$ \text{ m}^{-3}$	Precio sin subsidio $\$ \text{ m}^{-3}$
Tijuana	18	
Hermosillo	5	
Aguascalientes	19	
Naucalpan	17	
CVM	2.3-10.3	32
Villahermosa	3.86	
Campeche	1.84	

Propuesta de un valor intrínseco para el agua

La inversión de energía solar

Se puede medir la energía solar que llega a la Tierra y cómo se reparte en el ciclo hidrológico. La que incide sobre la superficie externa de la atmósfera es de $1.92 \text{ cal cm}^2 \text{ min}^{-1}$ ($29.6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) en promedio anual. Esta cantidad, llamada constante solar, es menor en los polos y mayor en el Ecuador, debido a la esfericidad de la Tierra (Gates, 1980).

La energía que ingresa a la atmósfera es atenuada por los gases y el polvo del aire (efecto invernadero) y únicamente 58% llega al suelo ($17 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), y sólo una fracción de esta última es absorbida por el agua. Se puede afirmar que a 25 grados de latitud norte (como la porción centro norte de México) se presenta una temperatura media ambiental aproximada de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Evaporar un kilo de agua a esta temperatura requiere 2.44 MJ ($Q_{ev} = 2.44 \text{ MJ kg}^{-1}$). A mayor temperatura del aire, menor calor de evaporación (como en el SE del país), por lo que el calentamiento global promete ma-



por contenido de vapor de agua en la atmósfera y, consecuentemente, mayor potencial de lluvia.

La densidad del agua es unitaria, así que para evaporar la que precipita en el país en un año debió absorber una cantidad de energía igual a:

$$\begin{aligned} Q_t &= (Q_{ev})(V_p) \\ &= (2.44 \text{ MJ kg}^{-1})(1.489 \times 10^{12} \text{ kg año}^{-1}) \\ &= 3.63 \times 10^{12} \text{ MJ año}^{-1} \end{aligned}$$

Conviene transformar MJ a otra unidad llamada Watt: $1 \text{ W} = 1 \text{ Js}^{-1}$. Recíprocamente, $1 \text{ MJ} = 0.2778 \text{ kWh}$ por hora. El kWh es la unidad de medida del servicio eléctrico doméstico. Así que, en promedio anual, el Q_t en kWh de la precipitación en México es de:

$$\begin{aligned} Q_t &= (3.63 \times 10^{12} \text{ MJ año}^{-1})(0.2778 \text{ kWh MJ}^{-1}) \\ &= 1.01 \times 10^{12} \text{ kWh año}^{-1} \end{aligned}$$

En otras palabras, ésta es la energía que el Sol le proporciona al país para destilar el agua que llega en forma de lluvia limpia, sin contaminantes ni solutos (salvo en



las restringidas áreas urbanas e industriales), y conservando sus usos potenciales.

Conversión a moneda de la inversión en energía solar

En México, el kWh de electricidad cuesta al público \$0.819 por los primeros 75 kWh; \$0.990 por los siguientes 65 kWh; y \$2.898 por cada kWh adicional. Ya sea justo o no, el precio se utilizará para asignarle un valor intrínseco al agua; pero, ¿cuál de estos precios debe tomarse para los cálculos financieros?

El Sol aporta mucha más energía que los primeros 75 kWh o los siguientes 65 kWh de la tarifa citada. Siendo justos, se tendría que pagar a \$2.898 el kWh. Esto es:

$$\begin{aligned} \$T &= (1.01 \times 10^{12} \text{ kWh año}^{-1})(2.898 \text{ \$ kWh}) \\ &= 2.93 \times 10^{12} \text{ \$ año}^{-1} \end{aligned}$$

Tomando la tarifa menor, con un enfoque social, se pagarían:

$$\begin{aligned} \$T &= (1.01 \times 10^{12} \text{ kWh año}^{-1})(0.819 \text{ \$ kWh}) \\ &= 8.3 \times 10^{11} \text{ \$ año}^{-1} \end{aligned}$$

Estas cantidades representan el capital de financiamiento solar ($F\$$). El presupuesto federal está uno o dos órdenes de magnitud abajo del $F\$$, pero sirve para administrar 16.5% del volumen total que se precipita en el territorio.

Siguiendo este razonamiento, para calcular el valor intrínseco del agua (diferente al calculado en la ec. 1), se le asigna un precio simplemente dividiendo el financiamiento solar ($\$T$) entre el volumen de precipitación en metros cúbicos:

$$\begin{aligned} VIA &= \$T/V_p \\ &= (2.93 \times 10^{12} \text{ \$ año}^{-1})/(1.489 \times 10^{12} \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}) \\ &= 1.97 \text{ \$ m}^{-3} \end{aligned}$$

Si tomamos el precio menor del kWh, se obtiene:

$$\begin{aligned} VIA &= (8.3 \times 10^{11} \text{ \$ año}^{-1})/(1.489 \times 10^{12} \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}) \\ &= 0.56 \text{ \$ m}^{-3} \end{aligned}$$



Ambos valores representan el valor del agua en su estado prístino, obtenida mediante la destilación natural efectuada por la radiación solar que incide principalmente sobre el mar, y en las condiciones fisiográficas naturales de cierta porción del planeta Tierra llamada México.

Consideraciones finales

El valor intrínseco del agua (VIA) calculado está exento de la ley de la oferta y la demanda y, por lo tanto, no se presta a la especulación que basa sus contrapesos en la necesidad general y en la ambición particular. Debe estar incluido en el precio que se fije a cada unidad de volumen que se oferte al público, independientemente de los costos de construcción, operación y mantenimiento (OP) y de su uso (plusvalía). O sea:

$$\text{Precio del agua} = \text{VIA} + \text{OP federal} \\ + \text{OP municipal} + \text{plusvalía}$$

El VIA es una especie de plusvalía natural y cada país debería pagarlo acorde con su balance hidrológico particular, puesto que estará pagando el servicio ambiental del agua, que incluye la evaporada, la que discurre por los ríos y la que no pasa por los medidores de ningún tipo ni dependencia gubernamental.



El VIA volumétrico puede denominarse deuda por financiamiento solar, y el capital que se recaudase por este concepto debería destinarse a proyectos de investigación científica y tecnológica, así como a obras y acciones para la conservación del volumen y la calidad del agua en los ecosistemas naturales, sobre todo para amortiguar el efecto del cambio climático (Smith, 2010).

Perspectivas de investigación

Deben notarse dos cuestiones:

1. Que los cálculos de esta propuesta se realizaron sobre cantidades medias de energía, temperatura y latitud. Se pueden precisar utilizando datos de la red de estaciones y satélites del Servicio Meteorológico Nacional, pero también cabe recalcar que este refinamiento sólo afectaría a las raíces, pero no a los órdenes de magnitud.
2. Que el ciclo hidrológico varía año con año (Semarnat, 2010 vs. Conagua, 2013). Sería cuestión de consensarlos para precisar los cálculos.

Solamente quedaría advertir que la base para el cálculo del VIA –el precio del kWh de energía eléctrica– incluye no sólo los costos de la generación, distribución y el mantenimiento de la red eléctrica, sino que contiene un dividendo para el concesionario operador,

que debe descontarse para no embarazar al VIA con una aberración de dimensión desconocida, o buscar otra base para el cálculo (helioeléctrica). El VIA también puede calcularse para usos del agua diferentes al doméstico.

Alfonso Banderas Tarabay y **Rebeca González Villela** son doctores en ciencias (biología) por la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Han impartido numerosos cursos de licenciatura y posgrado, y participado en congresos y cursos en varias universidades del país y del extranjero. Han publicado un libro, capítulos en libros y artículos en revistas arbitrados nacionales e internacionales. Su enfoque es la ecología biofísica, con énfasis en sistemas acuáticos, que actualmente aplican en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para la evaluación, el diagnóstico y la gestión de cuerpos de agua superficiales.

abanderas@tlaloc.imta.mx

rebeca_gonzalez@tlaloc.imta.mx



Lecturas recomendadas

- Anton, D. J. (1993), *Thirsty Cities. Urban Environments and Water Supply in Latin America*, Ottawa, International Development Research Center.
- Conagua (2013), *Estadísticas del Agua en México 2013*, México, Semarnat/Conagua. Disponible en <www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/SGP-2-14>. Consultado el 24 de noviembre de 2014.
- Diario Oficial de la Federación (2013), *Ley de Aguas Nacionales*, México, H. Congreso de la Unión-Secretaría de Servicios Parlamentarios.
- Gates, D. M. (1980), *Biophysical Ecology*, Nueva York, Springer Verlag.
- Ghosh, T. K. y M. A. Prelas (2011), *Energy Resources and Systems, vol. 2: Renewable Resources*, Londres/Nueva York, Springer Dordrecht Heidelberg, pp. 79-144.
- Raucher, R. (2008), "The value of water: What it means, why it's important, and how water utility managers can use it", *The Business of Water. A Concise Overview of Challenges and Opportunities in the Water Market (A compilation of recent articles from Journal AWWA)*, Denver, American Water Works Association, pp. 31-38.
- Reid, G. K. y R. D. Wood (1976), *Ecology of Inland Waters and Estuaries*, 2a. ed., Nueva York, D. Van Nostrand Co.
- Semarnat (2010), *Atlas Geográfico del Medio Ambiente y Recursos Naturales*, México, Semarnat.
- Smith, J. B. (2010), *Climate Change and Water: International Perspectives on Mitigation and Adaptation*, Denver, American Water Works Association/IWA Publishing.
- Vallentyne, J. R. (1972), "Freshwater supplies and pollution: Effects of the demographic explosion on water and man", en N. Polunin (ed.), *The Environmental Future*, Londres, Macmillan Press Ltd., pp. 181-211. Citado en Wetzel, R. G. (2001), *Limnology. Lake and River Ecosystems*, 3ra ed., San Diego, Academic Press.
- Wetzel, R. G. (2001), *Limnology. Lake and River Ecosystems*, 3ra ed., San Diego, Academic Press.