

Recibido: Mayo, 2017
Aceptado: Octubre, 2017

Propuesta de gestión económica sustentable para el Acuífero Metropolitano de la Ciudad de México, 2015-2050

Diógenes Hernández Chávez¹

Proposal for sustainable economic management for the Acuífero Metropolitano de la Ciudad de México, 2015-2050

Resumen

La problemática del abasto del agua en la Ciudad de México lleva varias décadas. La viabilidad a futuro de las fuentes superficiales y subterráneas está en entredicho. En este trabajo se muestra un análisis en el Acuífero de la Ciudad de México, acotado a las 16 delegaciones que conforman la ciudad. Se propone un esquema tarifario como instrumento de gestión del agua en el que se pueda optimizar el consumo de agua en la población en función de la sustentabilidad del acuífero: se clasifica en tarifas sustentables y no sustentables. Este esquema incluye tarifas diferenciadas que contemplan subsidios para clases con menores ingresos, siempre y cuando el consumo se encuentre dentro de los límites de la sustentabilidad. Se utiliza una valoración económica de la escasez por medio de los pagos de

¹ Profesor del Centro Universitario Nezahualcóyotl de la Universidad Autónoma del Estado de México. Consultor en evaluación social de proyectos, finanzas y social media.

derechos de agua, la cual sirve de base para incorporar al esquema propuesto y con ello lograr modificar la conducta de los consumidores en la demanda del bien, lo anterior, con base en la parte teórica de la economía ambiental. El análisis se lleva a un horizonte de tiempo hasta el año 2050. Al finalizar se muestra el beneficio que tendría el acuífero al detener casi por completo la sobreexplotación.

Clasificación JEL: Q25, Q51.

Palabras clave: economía del agua, valoración económica, economía de los recursos naturales, economía ambiental.

Abstract

The problem of the water supply in Mexico City has been present for several decades. The future viability of surface and ground sources is at stake. We show an analysis in the Aquifer of Mexico City, bounded to the 16 delegations that make up the city. A tariff scheme is proposed as an instrument of water management in which the water consumption in the population can be optimized according to the sustainability of the aquifer: it is classified in sustainable and unsustainable tariffs. This scheme includes differentiated tariffs that include subsidies for classes with lower incomes, as long as consumption is within the limits of sustainability. An economic valuation of the shortage is used by means of the payments of water rights, which serves as a basis to incorporate the proposed scheme and with that to achieve to modify the behavior of the consumers in the demand of the good, the above, based on the theoretical part of the environmental economy. The analysis takes a time horizon until the year 2050. At the end shows the benefit that would have the aquifer to stop almost completely the overexploitation.

Key words: water economics, economic valuation, natural resources economics, environmental economics.

Introducción

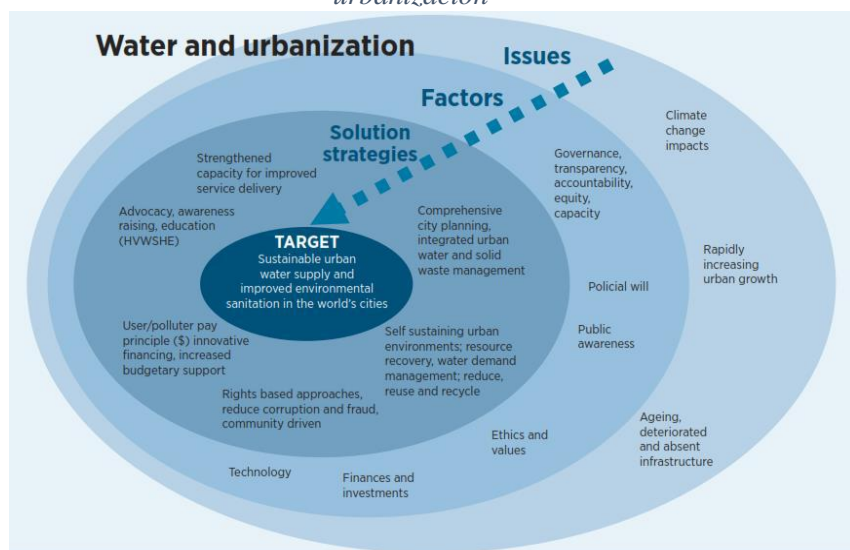
En México, el crecimiento económico no ha tomado en cuenta plenamente las señales de insuficiencia de agua. La concentración de la población y de la actividad económica han creado zonas de mucha escasez, no sólo en las áreas donde eso no se percibía como un problema al comenzar el crecimiento urbano (Becerra & Sainz, 2002). La naturaleza del área de la que se trate determinará de qué tipo de escasez se trata, de acuerdo con los diferentes usos, por ejemplo, agua potable, industrial, de riego, etc.

El problema por el agua no se limita a nuestro país. Es de tipo mundial, pues instancias como las Naciones Unidas han identificado una serie de problemas y soluciones relacionadas con agua y urbanización (ver Figura 1). Se identifican tres áreas que se pueden definir como los problemas, los factores determinantes y, las estrategias y soluciones (Dzikus, 2012), el objetivo central es el suministro de agua urbana sostenible y el mejoramiento del saneamiento ambiental en las ciudades del mundo.

Dentro de los problemas identificados se encuentran los impactos por el cambio climático, acelerado crecimiento urbano y una deteriorada y carente infraestructura. Los factores son: gobernanza, transparencia, responsabilidad, equidad y capacidad; también, políticas que contemplen y encaminadas a la conciencia pública, valores éticos, inversión y finanzas, y tecnología.

Las estrategias de solución son: planificación urbana integral, manejo integrado de aguas urbanas y residuos sólidos. Entornos urbanos autosostenibles, recuperación de recursos, gestión de la demanda de agua, reducir, reutilizar y reciclar. Los enfoques basados en los derechos reducen la corrupción y el fraude, impulsados por la comunidad. Financiamiento innovador basado en el principio del que contamina paga y mayor apoyo presupuestal. Promoción, sensibilización y educación. Fortalecer la capacidad de mejorar la prestación de servicios.

Figura 1 Problemas y soluciones relacionadas con agua y urbanización



Fuente: WSS-II, WSIB, UN-Habitat.

La Campaña de Cultura del Agua, por un México con Agua, contenida en el Programa Nacional Hídrico 2014-2018, destaca cinco directrices: i) fomentar en la población la comprensión del ciclo hidrológico, la ocurrencia y disponibilidad de agua; ii) reforzar la cultura del agua en el sistema educativo escolarizado; iii) establecer un programa de formación y captación docente en materia hídrica; iv) capacitar a los profesionales de la comunicación en temas del agua para contribuir a una sociedad mejor informada y participativa; y v) promover la colaboración de empresas e instituciones que contribuyan con la educación y cultura del agua. Sin embargo, es indispensable lograr una participación conjunta entre sociedad y gobierno, y pensar que el agua no se puede utilizar más como recurso renovable, pues su renovación no se da a la velocidad que la necesidad de la población actual lo demanda (México con agua, 2016).

En nuestro país la forma en la que es posible aprovechar las fuentes disponibles es mediante el título de propiedad que otorga el derecho

al beneficiario de aprovechar, en los términos del propio título, una determinada cantidad de agua por el tiempo de vigencia del mismo. Estas concesiones se han otorgado tanto a entidades públicas como privadas y se encuentran disponibles de manera pública en el Registro Público de Derechos de Agua (por sus siglas, REPDA) (Conagua, 2017).

En este trabajo nos enfocaremos en la Ciudad de México. Al ser un área predominantemente urbana el tipo de escasez que sufre es de agua para uso público urbano. Las fuentes de las cuales depende el abastecimiento se pueden clasificar en dos categorías: superficiales y subterráneas. Las fuentes superficiales son típicamente lagunas, ríos y presas, principalmente, y dependen en gran medida de las precipitaciones de las que se pueda captar el agua para dotar a dicha fuente.

El agua que se almacena en el subsuelo se guarda en formaciones geológicas denominadas acuíferos. La fuente subterránea para nuestra ciudad es el Acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (AZMCM, por sus siglas).

También podemos clasificar las fuentes de agua para la Ciudad de México como fuentes propias y fuentes externas. Dentro de las propias consideramos la única fuente subterránea, el AZMCM. Dentro de las fuentes externas, consideramos el Sistema Lerma-Cutzamala. Son consideradas como tal, debido al hecho de que, es indispensable traer el agua de otras entidades hacia la Ciudad de México.

El Sistema Lerma fue construido entre 1942 y 1951 para abastecer de agua a la Ciudad de México desde el Estado de México, y comisionado por el entonces regente Javier Rojo Gómez durante la presidencia de Manuel Ávila Camacho. Se concluyó en el sexenio de Miguel Alemán Valdés, bajo la regencia de Fernando Casas Alemán. Entonces, el Lerma captaba las aguas que daban origen a las hoy casi extintas lagunas de Lerma. Una ampliación fue realizada en 1967, perforando pozos profundos en la zona de Ixtlahuaca de Rayón. Hoy,

el Lerma aporta aproximadamente el 9% del agua de la ciudad y su zona metropolitana, los cuales viajan por un túnel que inicia en Atarasquillo, atraviesa la Sierra de las Cruces hasta un lugar llamado el Borracho, para después ser llevada a Chapultepec y distribuida a la ciudad (De Coss, 2017). Originalmente, el tiempo de vida de este sistema estuvo proyectado para treinta años. El día de hoy sigue vigente y aportando agua a la ciudad.

En resumen, la situación actual del Sistema Lerma resulta inviable desde todos los ángulos que se puedan analizar. Hay numerosos trabajos en relación con los acuíferos de los valles de Toluca e Ixtlahuaca, así como de la cuenca alta del río Lerma, y coinciden en que los grados de explotación son alarmantes desde hace más de cincuenta años y no se puede continuar con esta situación de insustentabilidad, entre otras razones por los elevados costos de mantenimiento, la contaminación a la cuenca ha provocado severos daños a la flora y la fauna, el brote de conflictos sociales causados por una mala planeación, la planeación interestatal no es la adecuada y políticamente genera conflictos. Es necesario transitar hacia un manejo desde la demanda de agua (Bernardino, 2014).

Llevamos a cabo un breve análisis de la situación actual y una propuesta de gestión para conservar en términos sustentables las mencionadas fuentes subterráneas. El análisis económico se ubica en la corriente teórica de la economía ambiental. Esta, se encarga, de forma muy general, de dos cuestiones: el problema de las externalidades y la asignación intergeneracional óptima de los recursos agotables. Con respecto a las externalidades son fundamentales las aportaciones de Pigou, Coase y Mishan. Con respecto a la asignación intergeneracional, el autor más importante es Solow. (Aguilera & Alcántara, 1994). Tal es la importancia de estos principios que, en México los tomadores de decisiones, para llevar a cabo un proyecto de infraestructura en materia de agua, basan la evaluación económica en principios como la obtención de beneficios sociales a partir de la estimación de una curva de demanda

(CIDE, 2012) y con ello estimar los beneficios sociales mediante el excedente del consumidor.

La Economía Ambiental Urbana es el producto de la fusión de dos disciplinas de la ciencia económica. Una se preocupa por las implicaciones económicas de la utilización y deterioro del medio natural; la otra, se aboca al estudio del funcionamiento económico de la ciudad como categoría específica de análisis (Flores, 1997). Al abordar fenómenos relacionados con el medio ambiente y con entornos de ciudades, es indispensable reconocer que el espacio no es económicamente neutro. Esto es, se requiere ubicar los fenómenos que se analizan en los trabajos de investigación en la dimensión espacio-tiempo específicos de tales fenómenos. En este trabajo, el fenómeno hídrico se ubica precisamente sobre una base de los recursos naturales relacionada con un entorno urbano.

En estos términos, los instrumentos de gestión que existan, dado el contexto en que se toman las decisiones, se realizan bajo este enfoque teórico.

Metodología

Se lleva a cabo un análisis de la situación del agua subterránea para uso público urbano en la Ciudad de México en un periodo de tiempo entre el año 2015 y el 2050. La metodología general empleada en el presente trabajo comienza con la valoración de la escasez de acuerdo con los diferenciales en las tarifas desde la perspectiva de la oferta, es decir, de los pagos que deben realizar los concesionarios por el aprovechamiento de las aguas subterráneas. El resultado de la valoración se integra a la propuesta de un nuevo esquema tarifario en función de la oferta sustentable.

Para identificar la oferta de agua sustentable, se recurre al nivel de recarga natural del acuífero como el punto máximo en que se podrá explotar esta fuente. Es necesario disminuir los niveles de explotación del acuífero, de tal manera que permitan que en el largo plazo el agua sea efectivamente un recurso renovable.

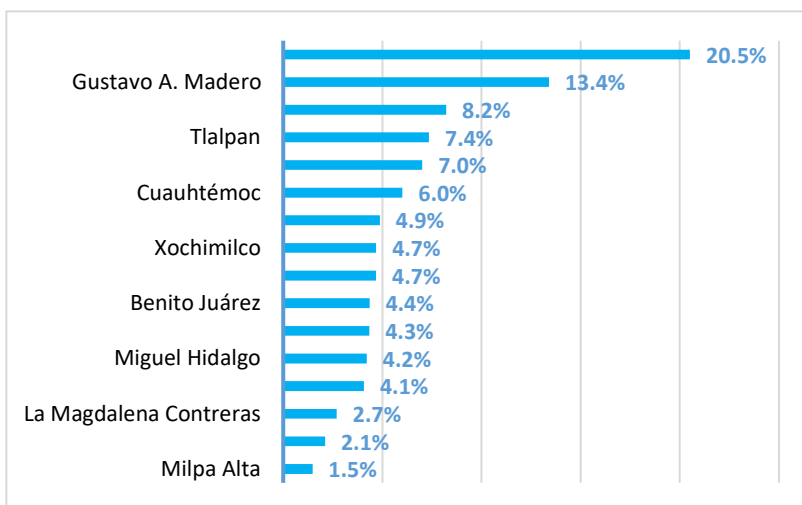
En seguida se estima la demanda de agua, determinada por el consumo óptimo. A partir de la interacción de la oferta sustentable y de la demanda, se identificará la cantidad de agua que hará falta reducir en el consumo para lograr un balance ideal desde el punto de vista sustentable para el acuífero. Esta cantidad sirve de base para poner límites de explotación. El esquema propuesto pretende alentar la reducción en el consumo del agua, toda vez que, rebasado el límite sustentable, se aplique una tarifa progresiva en donde se elimina el subsidio y se incorpora el valor de la escasez. A continuación, se detalla la metodología empleada.

Área de estudio

La zona de estudio se limita a las fuentes de agua subterránea de la Ciudad de México. Perteneciente a la Cuenca de México, se caracteriza por ser una región endorreica de tipo lacustre, se encuentra circundada por montañas y cubierta en diferentes puntos por áreas lacustres derivados de lagos que existieron al final de la era glacial. Los lagos que se formaron con el paso del tiempo son: en el centro, el Lago de México; al sur el lago de Xochimilco y Chalco; y al norte, el lago de Zumpango (Conagua, 2012). La cuenca, en el fondo, es una planicie lacustre de unos 1,431 km², ubicada aproximadamente a unos 2,240 metros sobre el nivel del mar (msnm) (Conagua, 2012). Cabe señalar que hoy día se encuentra seca de forma artificial.

En la Gráfica 1 es posible apreciar la distribución poblacional por delegación que conforman la Ciudad de México. De las dieciséis delegaciones de la ciudad Iztapalapa es la más poblada con más de 1 millón 815 mil habitantes, seguido de Gustavo A. Madero con más de 1 millón 185 mil habitantes. En términos relativos abarcan el 20.5% y el 13.4% respectivamente (Inegi, 2014).

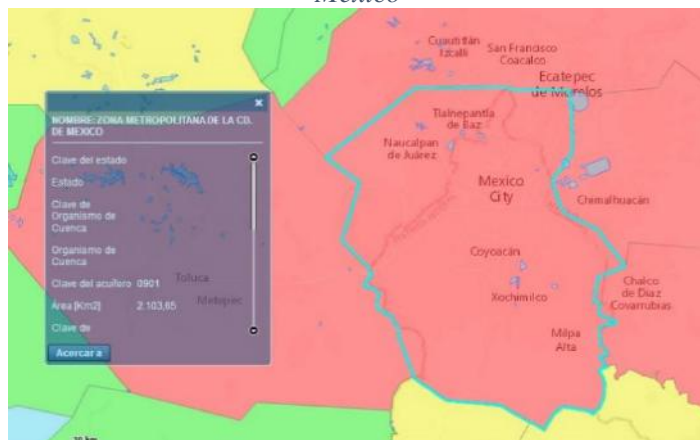
Gráfica 1 Población Ciudad de México por delegación



Fuente: Inegi, 2014

En términos hídricos, la Ciudad de México pertenece a la Cuenca del Valle de México, incluye, en su zona sur poniente (ver Figura 2), el Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México y abarca el 17% de la cuenca (Conagua, 2016).

Figura 2 Acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México



Fuente: Sistema de información geográfica de acuíferos y cuencas, Subgerencia de exploración y monitoreo geohidrológico.

Este acuífero es la principal fuente de recursos hídricos de la Ciudad de México y del área conurbada, pertenece a la región hidrológico-administrativa “Aguas del Valle de México”. La zona que comprende el acuífero, incluye a las 16 delegaciones de la Ciudad de México y a algunos municipios conurbados del Estado de México, entre los más importantes se encuentran Nezahualcóyotl, Atizapán, Tlalnepantla, Naucalpan y Hixquilucan.

Valoración de la escasez

En términos económicos hemos recurrido al tratamiento de la valoración de la escasez de agua partiendo del marco legal desde la perspectiva de la oferta. El análisis inicia con las tarifas por el pago de derechos de agua². En la Ley de Aguas Nacionales (Conagua, 2016) se encuentran clasificadas las zonas de disponibilidad de agua. Para las zonas en que la disponibilidad es menor, el pago por derechos del recurso es mayor que en aquellas en donde existe abundancia, es decir, existe una relación inversa disponibilidad-precio. Como se mencionó, para la Ciudad de México, la fuente subterránea es el Acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (AZMCM, por sus siglas). El paso siguiente, es identificar la zona de disponibilidad a la que pertenece el acuífero de estudio. Para ello será necesario recurrir a la fórmula del índice de disponibilidad de la Ley de Aguas Nacionales (2015):

$$Idas = \frac{Dma}{(R - Dnc)}$$

Donde:

Idas = índice de disponibilidad

² Los pagos de derechos de agua se refieren a aquellos que deben hacer los propietarios de las concesiones de derechos de agua a las autoridades correspondientes sobre el volumen de agua aprovechado. Estas tarifas se encuentran en la Ley de Aguas Nacionales.

Dma = Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica

R = Recarga total media anual

Dnc = Descarga natural comprometida

Para realizar el cálculo de este índice será necesario recurrir a los datos proporcionados por Conagua y publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF, por sus siglas). Los últimos datos reportados son con fecha del 15 de abril del año 2015, y en el DOF se pueden encontrar los datos de *Dma*, *R* y *Dnc*.

En la Tabla 1, procederemos a identificar la zona a la cual pertenece el AZMCM, de acuerdo con el resultado obtenido del índice de disponibilidad.

Tabla 1 Zona de disponibilidad de acuerdo a valor del índice

Zona de disponibilidad	Valores
1	Menor o igual a -0.1
2	Mayor a -0.1 y menor o igual a 0.1
3	Mayor a 0.1 y menor o igual a 0.8
4	Mayor a 0.8

Fuente: Ley Federal de Derechos, disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales 2016

Una vez que se haya identificado la zona de disponibilidad, se procede a ubicar la tarifa que se debe pagar sobre los derechos de agua. En el artículo 223 de la Ley de Aguas Nacionales se lee: por la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales a que se refiere este Capítulo, se pagará el derecho sobre agua, de conformidad con la zona de disponibilidad de agua y la cuenca o acuífero en que se efectúe su extracción y de acuerdo con las siguientes cuotas: Por las aguas provenientes de fuentes superficiales o extraídas del subsuelo, por cada metro cúbico se pagará lo detallado en la Tabla 2.

Lo siguiente será comparar los pagos que se hacen por el aprovechamiento de aguas subterráneas de la zona de disponibilidad de estudio y compararlo con la zona de mayor disponibilidad.

Tabla 2 Pagos por derechos sobre el agua

Zona de disponibilidad	Aguas superficiales	Aguas subterráneas
1	\$14.71	\$19.82
2	\$6.72	\$7.67
3	\$2.22	\$2.67
4	\$1.70	\$1.94

Pagos por m³

Fuente: Ley Federal de Derechos, disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales 2016

Como se menciona anteriormente, la zona de mayor disponibilidad es la número cuatro, el pago en esta es de \$1.9418 por cada m³. La zona de menor disponibilidad es la número uno, y el pago por cada m³ es de \$19.8199. A todas luces es notorio que en aquellas zonas de nuestro país en donde el agua es más escasa es considerablemente más cara que en aquellas zonas en las que cuentan con el privilegio de contar con mejores condiciones hídricas. Con esta información se procede a obtener el diferencial de tarifas entre la zona de disponibilidad de estudio con respecto a la zona con mejor disponibilidad.

$$DifTar = PZD_4 - PZD_i$$

Donde:

DifTar = Diferencial de tarifas

PZDi = Zona de disponibilidad de estudio, pago de derechos de aguas subterráneas

PZD4 = Zona de disponibilidad 4 (mayor disponibilidad), pago de derechos de aguas subterráneas.

Este diferencial de tarifas será un elemento crucial al momento de llevar a cabo la valoración de la escasez. El último elemento a considerar será el déficit de agua en el acuífero de estudio. Este dato lo podremos encontrar de la misma fuente de información mencionada con anterioridad, es decir Conagua con lo publicado en el DOF. El déficit, en el caso de que no se encuentre disponible, se podrá calcular de la siguiente manera

$$\text{Déficit} = R - (\text{DNCOM} + \text{VCAS} - \text{DAS})$$

Donde:

R = Recarga

DNCOM= Descarga natural comprometida.

VCAS = Volumen concesionado de agua subterránea.

DAS = Disponibilidad de agua superficial.

Al tomar en cuenta la zona de mayor disponibilidad de agua, la zona donde se ubica el acuífero y el déficit del acuífero, podemos determinar que el valor de la escasez puede determinarse de la siguiente manera (Pulido-Velázquez, Cabrera, & Garrido, 2014):

$$VE = \text{Déficit} * (\text{PZD}_4 - \text{PZD}_i)$$

Donde:

VE = Valor de la escasez

PZD_4 = Pagos de derechos en la zona de mayor disponibilidad (zona 4)

PZD_i = Pagos de derechos en la zona de disponibilidad donde se ubica el acuífero.

El valor de la escasez resultante estará expresado en términos monetarios y se puede considerar como el costo por sobreexplotar las fuentes de agua. Resulta consistente que en aquellas zonas donde exista menor abundancia de agua, se tenga que ponderar diferente el recurso natural. Esta es una de las razones para llevar a cabo la valoración económica de la escasez. Sin embargo, no es suficiente con obtener un valor monetario para ello. Lo consiguiente será llevar a cabo, a partir de este valor, la creación de algún instrumento de tipo

económico para lograr un mejor cuidado de nuestras fuentes de agua que, como ya se ha mencionado, son finitas y requieren cuidados puntuales para que no se colapsen.

Oferta

Para el caso de la Ciudad de México, la oferta de agua se compone de dos fuentes las superficiales y las subterráneas. También, como ya se mencionó, es posible clasificarlas como propias y externas. En el presente estudio delimitaremos la oferta de agua a las fuentes propias subterráneas.

Los datos que se identificaron provienen de la Comisión Nacional del Agua, publicados a través del Diario Oficial de la Federación. la conservación del agua subterránea depende de que la recarga sea mayor que la extracción. Cuando es mayor la extracción que la recarga, se considera acuífero sobreexplotado (Conagua, 2015).

La oferta, entonces, se limita a este nivel de recarga, que es, en otras palabras, el nivel al cual los acuíferos se pueden regenerar sin que se encuentren en riesgo de abatimiento. Como tal, se denomina como oferta de agua sustentable a la cantidad de agua en función de la recarga del acuífero expresada en metros cúbicos (o hectómetros cúbicos). Esta oferta sustentable, también es considerada dentro de los lineamientos de Conagua cuando se requiere, por ejemplo, llevar a cabo proyectos de infraestructura que ayuden a mejorar el suministro en una zona determinada (Conagua, 2015).

Para el horizonte de evaluación, se estima la cantidad de oferta sustentable como constante, de acuerdo con el principio mencionado anteriormente de que, el nivel de recarga es aquel que permite que la fuente subterránea no vea comprometida su viabilidad en el futuro, garantizando con ello el suministro para futuras generaciones. La discusión teórica de la oferta sustentable queda para un análisis fuera del presente trabajo.

Demanda

Las estimaciones de la demanda se llevan a cabo en dos etapas. En la primera de ellas se estima la población y en la segunda se estima de forma más puntual la propia demanda de agua.

Para la estimación de la población, se parte del último año del censo de población, es decir 2015. El Consejo Nacional de Población, cuenta con estimaciones hasta el año 2030. Sin embargo, llevamos el horizonte de evaluación hasta el año 2050. La estimación se llevó a cabo con base en la tasa media de crecimiento de los años 2010 a 2030, para conocer la población en el periodo $t+1$. En otras palabras, se utilizaron medias móviles de crecimiento para llevar la proyección el año deseado.

En la segunda etapa, se estimó la demanda de agua para conocer el consumo deseado en la zona. Para tal efecto, hemos recurrido a la ecuación de demanda para proyectos de infraestructura considerados en los lineamientos de Conagua³ (CIDE, 2012). Los parámetros más importantes que se consideran son, en primera instancia, el tipo de clima de la zona de estudio. En nuestro caso, la Ciudad de México está considerada dentro del clima templado o frío.

Con base en el clima se ha seleccionado la siguiente función de demanda:

$$Q = e^{3.550} * P^{-0.218} * N^{0.413} * PMA^{-0.095}$$

Donde:

Q = número de metros cúbicos consumidos mensualmente por toma

P = precio por metro cúbico de agua

N = número de habitantes por toma

PMA = precipitación media anual

³ La ecuación de demanda utilizada ha sido desarrollada por el CIDE

El número de habitantes por toma, se calculó con base en el nivel de hacinamiento, para nuestro caso, la población total dividida por el número de viviendas. Para el caso del precio, se divide el volumen de extracción por la cantidad de hogares, el resultado se divide entre 12 para obtener el consumo medio mensual, la cantidad obtenida, con la finalidad de no sobreestimar ni subestimar se ubicará en la estructura “Tarifa de clasificación media”⁴. El último elemento de la ecuación, la precipitación media anual, para el caso de la Ciudad de México, el dato más reciente reportado por Inegi, corresponde a 625mm. El resultado de la ecuación de demanda se proyecta al año 2050, con base en la proyección de la población que se hace en la primera etapa de esta sección.

Resultados

Resultados de la valoración de la escasez

Los resultados obtenidos de la valoración de la escasez se encuentran con base en la metodología detallada en la sección previa. Con los datos de la Tabla 4, utilizamos la información para el AZMCM. Para el caso del índice de disponibilidad, cuyo valor es igual a cero, la zona de disponibilidad correspondiente es la número dos. Considerando el déficit reportado en el Diario Oficial de la Federación, y tomando en cuenta el diferencial de cuotas mencionado arriba, tenemos que:

$$VE = Déficit * (PZD_4 - PZD_i)$$

⁴ Las tarifas de agua vigentes en 2016 para la Ciudad de México se dividen en tarifas de clasificación popular, clasificación baja, clasificación media y clasificación alta.

$$VE = -591.18 * (\$1.94 - \$7.67)^5 = -591.18 * (-\$5.73)$$

$$VE = \$3,387.55 \text{ MDP}$$

Tabla 3 Valor de la escasez (MDP anuales)

Por tipo de volumen		Vol. estudios técnicos	Vol. Extracción	Vol. Concesionado
Acuífero Cd. de México	Zona de disponibilidad 2	\$7.67	\$7.67	\$7.67
Mayor disponibilidad	Zona de disponibilidad 4	\$1.94	\$1.94	\$1.94
Diferencial	\$/m3	\$5.73	\$5.73	\$5.73
Déficit en el acuífero	hm3/año	111.00	300.86	591.18
Valor de escasez	Valor de escasez	\$636.04	\$1,723.96	\$3,387.55

Fuente: Elaboración propia con base en los datos del DOF y la Ley Federal de Derechos, disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales 2016

El resultado obtenido para la valoración económica de la escasez del agua para el Acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México asciende a 3 mil 387.55 millones de pesos anuales. La misma metodología se vuelve a aplicar, ahora para obtener el valor con base en el volumen de extracción y del volumen de extracción en estudios técnicos. Los resultados se resumen en la [Tabla 3](#).

Análisis de la oferta

Acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México

La Cuenca del Valle de México, incluye, en su zona sur poniente (ver Figura 2), el Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México y abarca el 17% de la cuenca (Conagua, 2016).

⁵ El volumen del déficit está expresado en hm³, el cual es equivalente a 1,000,000 de m³. Los pagos por derechos están contemplados por m³, por ello es necesario realizar la conversión correspondiente. Cabe señalar, que en el cálculo final de la valoración de la escasez ya se encuentra contemplado dicho factor de conversión.

El Sistema de Información Geográfica de la Comisión Nacional del Agua clasifica de acuerdo a la disponibilidad de agua de las fuentes subterráneas, por colores del rojo al verde, siendo este último el correspondiente a zonas con mayor disponibilidad, amarillo con disponibilidad media y el rojo para zonas sin disponibilidad alguna (ver Figura 2).

Tabla 4 Acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (hm³)

Clave	Acuífero	R	VCAS	VEXTET	Déficit
0901	Zona Metropolitana de la Cd. De México	512.80	1,103.98	623.80	591.18

Fuente: Diario Oficial de la Federación

De acuerdo con la información presentada por la Comisión Nacional del Agua a través de lo publicado en El Diario Oficial de la Federación (2015), en el acuífero en cuestión se observa un déficit de 591.18 hm³ al año (ver Tabla 4).

La oferta de agua correspondiente al acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, se encuentra ampliamente rebasada. Como se mencionó en la sección de la metodología, la oferta de agua se delimitará al nivel de recarga, es decir será de 512.8 hm³.

Análisis de la demanda

La población de la Ciudad de México, a diferencia de la mayoría de las entidades federativas que componen la República Mexicana, de acuerdo con las estimaciones de Conapo, tiende a decrecer en el horizonte de tiempo. En la Tabla 5 se muestra la evolución de la población a nivel local y a nivel nacional. Tal como se describe en la metodología, la estimación de la población para la Ciudad de México comienza en el año 2031 y llega hasta el año 2050.

El siguiente paso consiste en estimar la demanda de agua a partir de la ecuación de demanda desarrollada por el CIDE (2012). Los

resultados se muestran en la Tabla 6 y en la Tabla 7. Los resultados de la ecuación de demanda para la Ciudad de México se ubican en 19.54 m³/mes/toma en el año 2015 y pasan a 18.85 m³/mes/toma para el año 2050. Los resultados en términos anuales se muestran en la Tabla 8.

Tabla 5 Población Cd. México y Nacional 2015-2050

Año	Población		Tasa de crecimiento	
	Cd. México	Nacional	Cd. México	Nacional
2015	8,854,600	121,005,815	-0.23%	1.08%
2020	8,738,914	127,091,642	-0.29%	0.92%
2025	8,600,179	132,584,053	-0.34%	0.80%
2030	8,439,786	137,481,336	-0.40%	0.68%
2031	8,415,713	138,383,142	-0.29%	0.66%
2036	8,315,416	142,538,744	-0.24%	0.55%
2040	8,236,040	145,415,859	-0.24%	0.47%
2045	8,137,885	148,451,031	-0.24%	0.38%
2050	8,040,899	150,837,517	-0.24%	0.26%

Fuente: Conapo

Tabla 6 Consumo de agua por toma, ecuación de demanda (m³/mes)

Año	Ciudad de México
2015	19.54
2020	19.45
2025	19.33
2030	19.20
2035	19.11
2040	19.02
2045	18.94
2050	18.85

Fuente: elaboración propia con datos de Conagua, Inegi

Tabla 7 Demanda total, hm³ al año

Año	Ciudad de México
2015	560.09
2020	556.62
2025	552.44
2030	547.56
2035	544.35
2040	541.28
2045	538.23
2050	535.19

Fuente: elaboración propia con datos de Conagua, Inegi

Se puede apreciar que, pese a que la Ciudad de México disminuye la demanda hacia el año 2050, esta disminución en la demanda solo es explicada por la disminución en las tasas de crecimiento de su población.

Interacción oferta demanda, escenario inercial

Con los resultados obtenidos, es posible establecer una estimación de la interacción de la oferta sustentable y de la demanda. Para ello es necesario considerar la eficiencia física⁶. Para el caso de la zona, hemos considerado una eficiencia física del 63%, debido a que es la máxima que se ha presentado en los últimos diez años a nivel nacional, de acuerdo a lo reportado por Conagua en su informe anual del subsector de agua potable. La Tabla 8 integra la oferta sustentable con la demanda obtenida en el punto anterior.

⁶ En términos prácticos, es el agua que llega al usuario final. Es el resultado del volumen facturado dividido por el volumen de agua producido.

Tabla 8 Interacción oferta-demanda, hm³ anuales

Año	Oferta Sustentable	Demanda	Déficit
2015	237.96	560.09	-322.12
2020	237.96	556.62	-318.66
2025	237.96	552.44	-314.47
2030	237.96	547.56	-309.59
2035	237.96	544.35	-306.39
2040	237.96	541.28	-303.32
2045	237.96	538.23	-300.27
2050	237.96	535.19	-297.23

Fuente: elaboración propia

Propuesta tarifaria en términos sustentable

El esquema tarifario vigente en la Ciudad de México es de tipo progresivo por bloques de consumo con un límite inferior y superior. Establece una tarifa mínima (o tarifa base) y la tarifa por consumo de cada mil litros adicionales (m³).

Tabla 9 Tarifa clasificación media (mensual/toma)

Límite inferior	Límite superior	Tarifa mínima	Tarifa m ³ adicional
0	15,000	\$140.49	\$0.00
15,001	18,000	\$140.49	\$18.10
18,001	28,000	\$231.00	\$19.82
28,001	38,000	\$429.18	\$23.46
38,001	48,000	\$663.77	\$25.28
48,001	68,000	\$916.58	\$27.96
68,001	88,000	\$1,475.75	\$37.46
88,001	118,000	\$2,224.95	\$49.96
118,001		\$3,723.77	\$78.67

Fuente: Gaceta de la Ciudad de México

La Tabla 9 muestra la forma en que se compone el pago. Aquí se reproduce solo la clasificación media, aun cuando existen cuatro

esquemas adicionales como la clasificación popular, baja y alta que consideran subsidio, además de la tarifa sin subsidio. Todas corresponden al consumo público urbano.

Tabla 10 Propuesta tarifaria, clasificación media

Tipo de tarifa	Límite inferior (lts/toma/mes)	Límite superior (lts/toma/mes)	Tarifa base	Tarifa m ³ adicional
Sustentable	0	15,000	\$140.49	\$0.00
	15,001	18,000	\$140.49	\$18.10
No sustentable	18,001	28,000	\$574.41	\$34.45
	28,001	38,000	\$861.59	\$34.45
	38,001	48,000	\$1,148.80	\$34.45
	48,001	68,000	\$1,436.00	\$40.69
	68,001	88,000	\$2,135.27	\$43.81
	88,001	118,000	\$2,896.99	\$56.30
	118,001		\$4,414.13	\$84.40

Fuente: elaboración propia

La tarifa vigente, aun cuando considera un cobro marginalmente mayor por cada litro de agua consumido, no ha sido suficiente para que el consumidor lleve a cabo un uso más racional del recurso. La propuesta aquí expuesta tiene como objetivo que el precio pagado por el consumidor vea reflejada de forma más objetiva el cuidado que debe hacerse de la fuente subterránea de la que proviene el recurso hídrico. Es por ello que la tarifa sustentable es sustancialmente más baja que la no sustentable.

Podemos notar que la tarifa base para el esquema sustentable es la misma que el esquema tarifario vigente y considera dos bloques: de cero a 15 mil litros, y de 15,001 a 18,000 litros por toma por mes, teniendo el segundo bloque un pago de \$18.10 por cada mil litros adicionales (1 hm³=1,000 litros), siendo la tarifa base de \$140.49, esto quiere decir que, si una toma registra un consumo, digamos de 14 mil litros solo pagará \$140.49 lo cual se torna en una cuota que puede pagar un hogar incluso con ingresos relativamente bajos. La

razón del porqué la tarifa es tan baja es a causa del subsidio que recibe por parte del Estado, para que las clases menos favorecidas puedan acceder a un recurso de vital importancia para las necesidades básicas.

Para el caso del esquema no sustentable la tarifa base se incrementa de manera considerable debido a que se elimina el subsidio del caso sustentable. Además, el pago por cada mil litros adicionales también se incrementa: la cuantía en la que lo hace se fundamenta en lo obtenido en la sección previa, correspondiente a la valoración económica de la escasez, en la que se detalla la forma en que, en regiones con menor disponibilidad de agua (nuestro caso de estudio) deben pagarse cuotas mayores por concepto de derechos. El diferencial de dichas tarifas, que es de \$5.73 (ver Tabla 2 Pagos por derechos sobre el agua), se refleja ahora en este esquema.

El límite máximo para que se transite de uno a otro esquema tarifario obedece a la oferta de agua sustentable. También se ha considerado lo obtenido de la ecuación de demanda para la zona de estudio. La Tabla 10 muestra el esquema propuesto. En la siguiente sección se expone con mayor detalle la interacción de la oferta y la demanda.

Interacción oferta-demanda, escenario sustentable

Será necesario, sin embargo, llevar a cabo más de una acción en la correcta gestión del agua. Para ello, será indispensable, a la par de incentivar el racionamiento en el consumo por parte de los usuarios, incrementar la eficiencia física. Se propone que, dado que, el sector privado⁷ ya participa en la distribución del bien, la eficiencia se incremente al 90%, que pese a ser un número elevado, debe de

⁷ El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex) tiene convenio con cuatro empresas privadas en la distribución de agua potable: Proactiva Media Ambiente SAPSA S.A de C.V., perteneciente al consorcio ICA; Industrias del Agua de la Ciudad de México S.A de C.V. y Tecnología y Servicios del Agua S.A de C.V., ambas partes de Peñoles; y Agua de México S.A de C.V.

considerarse seriamente alcanzarlo dada la complejidad de la problemática del abasto de agua.

Tabla 11 Interacción Oferta Demanda, sustentable ($\text{hm}^3/\text{año}$)

Año	Oferta Sustentable	Demanda	Déficit
2015	339.95	377.72	-37.77
2020	339.95	377.23	-37.28
2025	339.95	376.62	-36.67
2030	339.95	375.92	-35.97
2035	339.95	375.45	-35.50
2040	339.95	375.00	-35.05
2045	339.95	374.55	-34.60
2050	339.95	374.10	-34.15

Fuente: elaboración propia

El impacto de adoptar acciones como las propuestas es altamente positivo: la brecha se reduce sustancialmente llevando a terrenos sustentables el AZMCM: el déficit pasa de 322 hm^3 (ver Tabla 8) a solo 22 hm^3 al año (Tabla 11). En este escenario, la brecha existente entre la oferta y la demanda se ve disminuida como lo muestra la Tabla 11. En términos de sustentabilidad del acuífero tendría un beneficio importante al, prácticamente frenar la sobreexplotación del mismo.

Discusión

En el presente trabajo se ha llevado a cabo la valoración económica con la finalidad de establecer instrumentos en una mejora en la gestión del agua. Los resultados obtenidos están expresados en términos monetarios y se pueden interpretar como el valor que tiene el agua, por un lado, de no poder dotar de forma suficiente la demanda de la Ciudad de la forma en que se hace actualmente; y, por otra parte, también significa lo que este consumo debería de costarle a los usuarios.

Tabla 12 Esquema de pago con tarifa sustentable y no sustentable

Concepto	Esquema sustentable	Esquema no sustentable
Consumo medio	17.90	18.50
Consumo adicional	2.90	3.50
Total consumo m ³	20.79	22.00
Tarifa inicial	\$140.49	\$574.41
Tarifa consumo	\$52.40	\$120.58
Total consumo	\$192.89	\$694.99
Precio medio m ³	\$10.78	\$37.57

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 12 se muestra un ejemplo de un consumo medio mensual en un hogar. Como se mencionó con anterioridad, el objetivo es que este esquema incentive a los usuarios a mantenerse dentro del límite de los 18 hm³ (18,000 litros) por toma de agua mensualmente. Esto es, que aquellos hogares que lleven a cabo un consumo dentro de estos límites, reciban cuente con el beneficio al pagar una tarifa baja, mientras que aquellos usuarios que lleven a cabo un consumo cada vez más elevado, no solo no gocen de una tarifa baja sino que esta sea considerablemente mayor.

En la Tabla 12 se ejemplifica un hogar con un consumo bajo y se compara con el consumo de un hogar que rebasa el límite sustentable,. Bajo el esquema propuesto de una tarifa sustentable se pagaría un total de \$193, con un consumo total de 20.79 m³, siendo la tarifa base de 17.9 m³ y un consumo adicional de 2.9 m³; el precio medio de cada metro cúbico de agua pagado por el usuario es de \$10.78. Siguiendo el mismo ejemplo, se compara ahora con un consumo ligeramente superior, que, sin embargo, ya se encontraría superando los límites de la oferta sustentable. Por un consumo de 22 m³, partiendo de 18.5 y un adicional de 3.5 m³, la tarifa total asciende a \$695 con un precio medio de \$37.6 por cada m³ consumido. La tarifa final pagada se va a más de tres veces en comparación con la

tarifa sustentable y en resumen resulta barato cuando el consumo es bajo y muy caro cuando el consumo es elevado.

El objetivo final no es incrementar exponencialmente los precios del bien. Se trata de materializar el valor del agua y que los consumidores tengan incentivos, en este caso, de un precio significativamente superior. La gestión del agua debe ser orientada hacia el terreno sustentable para las fuentes subterráneas y accesible para las futuras generaciones. Sin embargo, hay que señalar que, la implementación de este tipo de medidas suele resultar socialmente impopular, pero necesarias en el corto y largo plazo. De suyo, requiere una discusión que va más allá del presente trabajo.

Conclusiones

La problemática del agua en la Ciudad de México tiene un alto grado de complejidad. Las condiciones actuales de ser el centro económico, cultural, político y social, hacen de la zona, una de las urbes más grandes y complejas del mundo. El panorama debe abordarse desde una perspectiva amplia, interdisciplinaria e integral (Gil & Reyes, 2013).

La excesiva demanda de la población del recurso hídrico ha provocado que la fuente de agua subterránea se encuentre seriamente deteriorada. El nivel de sobreexplotación duplica la recarga del acuífero. La escasez de agua presentada en la zona es un tema que necesita abordarse de forma sistemática. En ello radica el interés por abordar la problemática desde la visión de la economía.

La fuente subterránea en la que nos enfocamos para llevar a cabo la valuación de la escasez ha sido el Acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Se identificaron sus características generales y las condiciones actuales por las que atraviesa.

Para ello, se han establecido tres acciones, derivadas de la correcta evaluación hasta este momento observadas. Primero, la implementación de una tarifa progresiva en el consumo de agua, que

contempla el eventual abandono de un esquema de subsidio, a un esquema de cubrir por completo los costos sin ningún tipo de transferencia estatal, en el que, el principal objetivo, es reducir considerablemente el consumo de la población. Segundo, la incorporación de la valoración de la escasez en el esquema a lo que hemos denominado *Tarifa Sustentable* y *Tarifa No Sustentable*. Tercero, considerar seriamente el llegar a una eficiencia física del 90% en la dotación de agua. En suma, que sea evidente para el consumidor lo que realmente se paga por el servicio y lograr una mejor asignación del recurso a la población. Los grandes objetivos radican en disminuir la brecha entre la oferta y la demanda prevaleciente en la zona de estudio, además, y, sobre todo, lograr un mejor manejo sustentable del acuífero, en tanto que, de no lograrlo, corremos el riesgo de agotar en un futuro, uno de los recursos naturales más valiosos que poseemos: el agua.

Referencias

- Aguilera, F., & Alcántara, V. (1994). *De la economía ambiental a la economía ecológica*. Barcelona: Icaria, Fuhem.
- Becerra, M., & Sainz, J. (2002). Los conflictos por el agua en México. *Gaceta Económica*, 61-68.
- Bernardino, L. T. (2014). *Sistema Lerma: una visión política en la gestión pública del agua, ¿solución Estatal o Federal?* Toluca, México: Instituto de Administración Pública del Estado de México, A.C.
- CIDE. (2012). *Estimación de los factores y funciones de la demanda de agua potable en el sector doméstico en México*. Distrito Federal: Comisión Nacional del Agua.
- Código Fiscal del Distrito Federal. (29 de diciembre de 2016). *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*. (232). Ciudad de México, México.

- Conagua. (2012). *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. México: Conagua.
- Conagua. (2015). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. *Metodologías de evaluación socioeconómica y estructuración de proyectos de inversión*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Conagua. (2015). *Numeragua México*. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua.
- Conagua. (2015). *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. México*. Distrito Federal: Comisión Nacional del Agua.
- Conagua. (2016). Ley Federal de Derechos. *Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales 2016*. D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Conagua. (2016). *Títulos y volúmenes de aguas nacionales y bienes inherentes por uso de agua*. Distrito Federal: Comisión Nacional del Agua.
- Conagua. (1 de julio de 2017). *Registro Público de Derechos de Agua*. Obtenido de Comisión Nacional del Agua: <http://app.conagua.gob.mx/repda.aspx>
- De Coss, A. (2017). *¿El fin del agua y la Ciudad de México?* Obtenido de Nexos: <http://www.nexos.com.mx/?p=31737>
- Dzikus, A. (2012). Human settlements. En W. (. Programme), *The United Nations World Water Development REport4: Managing water under uncertainty and risk* (págs. 422-439). Paris: UNESCO.
- Flores, L. m. (1997). Sobre el significado de la economía ambiental urbana: algunos conceptos básicos. En I. N. Ecología, *Economía Ambiental: Lecciones de América Latina* (págs. 165-170). México, D.F.: Dirección de Economía Ambiental, INEC.

- Gil, M., & Reyes, H. (2013). Gestión integral del agua desde un enfoque social hacia una economía ecológica. *Nósis*, 24(47), 160-174.
- Inegi. (2004). Delimitación de las zonas metropolitanas de México. México: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- Inegi. (2010). *Cuéntame, territorio, sobreexplotación y contaminación*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática: <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/sobreexplota.aspx?tema=T#>.
- Inegi. (2014). *Cuaderno estadístico y geográfico de la Zona Metropolitana del Valle de México*. Distrito Federal: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática .
- México con agua. (20 de enero de 2016). *México con agua, blog*. Obtenido de Sistema Cutzamala, la llave de agua del Valle de México: <https://www.gob.mx/mexico-con-agua/articulos/sistema-cutzamala-la-llave-de-agua-del-valle-de-mexico-18862>
- Pulido-Velázquez, M., Cabrera, E., & Garrido, A. (2014). Economía del agua y gestión de recursos hídricos. *Ingeniería del agua*, 99-110.
- Unesco. (2014). *Seguridad hídrica: respuestas a los desafíos locales, regionales, y mundiales, Plan estratégico PHI-VIII 2014-2021*.