

Agua en la Ciudad de México: diseconomías de escala y tecnologías intermedias

Water in Mexico City: diseconomies of scale and intermediate technologies

Carlos A. Fraga-Castillo*

Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial
(CC BY-NC) 4.0 Internacional

Perfiles Latinoamericanos, 29(58) | 2021 | e-ISSN: 2309-4982

DOI: [dx.doi.org/10.18504/pl2958-006-2021](https://doi.org/10.18504/pl2958-006-2021)

Recibido: 16 de diciembre de 2019

Aceptado: 10 de noviembre de 2020

Resumen

El objetivo de esta investigación es examinar teórica y empíricamente las diseconomías de escala y las tecnologías intermedias en el sector del agua en la Ciudad de México. La concentración demográfica de esta ciudad puede disminuir los costos promedio de bienes públicos, como el agua; sin embargo, hasta cierto nivel, ellos pueden crecer y llevar a diseconomías de escala. La producción y la distribución de agua generan en cada caso costos diferentes; los que se pretenden estudiar en esta investigación son los de producción. Este trabajo contribuye con la presentación de indicios teóricos y estadísticos de que la tendencia a las diseconomías de escala en la producción de agua en la Ciudad de México, observada desde los años setenta, continúa, y si esta puede atenuarse con tecnologías intermedias.

Palabras clave: diseconomías de escala, Ciudad de México, economías de escala, tecnologías apropiadas del agua, crisis del agua, costos del agua.

Abstract

The aim of this research is to examine theoretically and empirically the diseconomies of scale and intermediate technologies of the water sector in Mexico City. The demographic concentration of the city can decrease the average costs of public goods, such as water. However, to a point, these costs can grow and lead to diseconomies of scale. The production and distribution of water both generate different costs. The costs that are the focus of this study are production costs. This article presents theoretical and statistical evidence of the continuing tendency towards diseconomies of scale in the production of water in Mexico City, since the 1970s. Questions are raised as to whether this tendency can be solved with intermediate or appropriate technologies.

Keywords: diseconomies of scale, Mexico City, economies of scale, appropriate technologies of water, water crisis, increasing costs of water.

* Doctor en Economía por la Universidad de Santiago de Compostela (España). Profesor/investigador, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional (México) | cfraga@ipn.mx | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0890-9636>

Introducción

Un factor que puede acentuar una crisis del agua en las megaciudades latinoamericanas como la Ciudad de México es la existencia de diseconomías de escala. En la teoría de las economías de aglomeración se reconocen ventajas en la reducción de los costos promedio de los servicios públicos por la concentración urbana (Glaeser, 2010). Sin embargo, en algunas megaciudades como la Ciudad de México, en el caso del agua, se podría observar lo contrario: mientras más aumenta su oferta sus costos de producción¹ por metro cúbico crecen aún más.

Analistas del Banco Mundial han concluido que la situación en la región hídrica del valle de México, donde se encuentra la Ciudad de México, es muy crítica. Según ellos los costos de provisión del servicio son cubiertos en un 51% por la tarifa, el restante 49% tiene que ser cubierto con presupuesto público. Además, estiman que el costo económico que paga la sociedad anualmente por ineficiencias del servicio, ausencia de continuidad, limitada cobertura de drenaje y falta de tratamiento de aguas es de 28 168 millones de pesos (Banco Mundial, 2013, pp. 55-56).

Las numerosas necesidades que exigen el referido comportamiento demográfico y el exorbitante crecimiento inmobiliario ocurrido antes del terremoto de 2017 plantean problemas como, ¿de dónde y en dónde se producirá oferta de agua para edificios enormes y casas por diversas zonas de la Ciudad de México? ¿Por la cantidad de agua de lluvia que cae en la ciudad, el problema es de infraestructura o de cantidad de agua? ¿Se siguen obteniendo beneficios económicos de la concentración de la población en la capital del país? ¿Qué es mejor, la centralización o la descentralización del servicio? Estas interrogantes presentan desafíos para los investigadores, funcionarios y para los que se ven afectados por el racionamiento y por la disponibilidad de dicho bien en los próximos años.

En la década de 1940 aún predominaba en México la población rural. El fuerte crecimiento económico que se observó en los cincuenta y sesenta hizo atractiva a la Ciudad de México para millones de familias rurales que emigraron a ella. Las obras de infraestructura hídrica que requería el desarrollo eco-

¹ Hay otros costos que forman parte del costo total del uso del agua, como los ambientales, que se definen como los costos del daño que infligen los seres humanos al medio ambiente por el uso del agua; un ejemplo al respecto es el impacto de la regulación del flujo mediante represas en los ecosistemas de agua dulce (De Jalón *et al.*, 2017, p. 2809). También los de transacción, en los que, por ejemplo, podrían incurrir una empresa u organismo de agua potable cuando deciden concentrar o desconcentrar actividades como supervisión, control y coordinación (Ferro & Lentini, 2010, p. 16). A pesar de su importancia, no abordamos aquí esos dos tipos de costos.

nómico constituyeron para tal población otro imán que daba la perspectiva de bienestar con una oferta de agua y un saneamiento garantizados. Estas ventajas no se veían en numerosos sectores rurales del país. Muchos pueblos y comunidades tenían que costear por sí mismas el acceso al agua y al saneamiento. Por consecuencia, se requería mayor desarrollo para que se invirtiera en resolver los problemas hídricos. No obstante, para los diseñadores de política hídrica era menos costoso concentrar los servicios de agua y saneamiento en la gran urbe que en el campo y de esa manera acelerar el progreso del país. Sin embargo, esto cambió a partir de los años setenta.

La aglomeración y el centralismo dejaron de tener viabilidad económica en el sector del agua. Una muestra es la nota periodística de Ortiz (1977), donde se recogen las declaraciones de Pedro Ramírez Vázquez, el por entonces secretario de Asentamientos Humanos y Obras Públicas sostenía que “traer un metro cúbico de agua a la Ciudad de México cuesta 500 millones de pesos, mientras que ese mismo metro cúbico de agua cuesta 20 millones en la ciudad de Coatzacoalcos” (Zaid, 2004, p. 153). Para esos años, en el Plan Hídrico Nacional se diagnosticó que la gran metrópolis del valle de México había pasado del límite de las economías de escala a las deseconomías del crecimiento, especialmente en lo que se refería a costos para prevenir la contaminación; abastecimiento de alimentos, agua y energía; infraestructura para drenaje y alcantarillado, y transporte urbano (DDF, 1976; Zaid, 2004, p. 153).

Por ciertos hechos que han ocurrido como la demanda de grandes inversiones para la compra de tecnología moderna, el debate en torno a la privatización del organismo gestor para obtener más recursos, la necesidad de descentralizar la Ciudad de México y la interrupción del servicio en las áreas más populares se presenta la cuestión: ¿hay indicios de que continúa la tendencia a las deseconomías de escala en la generación de agua? Si la respuesta es positiva, ¿basta con la descentralización del servicio o será necesaria una solución fuera de lo que convencionalmente se ha hecho? Por la investigación presentada en este artículo, hay indicios de la existencia de deseconomías de escala en el sector del agua, que se han acentuado por los altos costos que representan factores como la red de tuberías, la energía y las pérdidas en la red. Una salida no convencional a este problema son las tecnologías intermedias aplicadas al agua porque disminuyen todos esos costos.

Para desarrollar este argumento, la metodología que habrá de seguirse en este trabajo será primero plantear la problemática del agua de la Ciudad de México. Enseguida, se examinarán las teorías e hipótesis, posteriormente se presentará la evidencia estadística y documental que muestre los indicios de dichas deseconomías, y por último se analizará un caso exitoso de tecnologías intermedias aplicadas al agua en la Ciudad de México.

Problemática

Se sabe que la oferta de agua de la Ciudad de México proviene de dos fuentes fundamentales: de su subsuelo, y de las aguas superficiales del Estado de México. Según Monroy (2017), del total de la oferta de agua, los acuíferos de la Ciudad de México aportan el 48%; los ríos y manantiales el 14%, y 11% el valle del Lerma en el Estado de México; todos ellos forman el 73%. El restante 27% lo suministra el Sistema Cutzamala, el cual, con cinco plantas de bombeo desde las presas Colorines y Valle de Bravo en el Estado de México, a 139 km de la Ciudad de México, eleva el agua a más de mil metros de altura y luego la distribuye a diferentes partes. Aunque la capacidad de almacenamiento de la presa Valle de Bravo es de 418 millones de metros cúbicos de agua, los costos de potabilización y de energía para la conducción de su agua son crecientes, lo que influye en la expansión del costo total por metro cúbico de agua.

Para analizar las deseconomías de escala en el sector del agua en la Ciudad de México, se necesita comprender que el abastecimiento de tal recurso se realiza mediante una red que se comparte con varios municipios del Estado de México. Por ejemplo, el Sistema Cutzamala suministra el 24% del agua a los municipios de las Zonas Metropolitanas de Toluca (ZMT) y del Valle de México (ZMVM) (Banco Mundial & Conagua, 2015, p.11).

Por tanto, los costos de los trasvases de las cuencas del Sistema Cutzamala en el Estado de México al valle de México, donde se encuentra la Ciudad de México, influyen determinantemente. Esta transferencia es conocida como compra de agua en bloque a la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y se incluye dentro de los costos de operación y mantenimiento que emplea el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO) del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) para calcular el costo de volumen producido por metro cúbico de agua y que es un indicador que se empleará más adelante. El problema es que para determinar las economías de escala o deseconomías de escala se debe investigar si esos costos son de producción o de distribución.

No obstante, el PIGOO aunque ha sido pionero y muy útil en el tema de indicadores de eficiencia del servicio del agua en México, hasta ahora no ofrece alguna nota técnica en sus estadísticas que desglosen el contenido de los costos de operación, mantenimiento y administración; ojalá lo puedan reportar en un futuro. Es comprensible porque se trata de un tema complejo. De hecho, en el informe final de Indicadores de Gestión Prioritarios en Organismos Operadores se pide a los operadores que de ser posible desglosen dichos costos, pero no es una indicación imperativa (Hansen & Rodríguez, 2019, p. 10). Por tanto, para conocer lo que estos contienen se debe investigar en otras fuentes. En los cuadros 1 y 2 aparecen dos desgloses que el Banco Mundial realizó en 2013 y en 2015.

Cuadro 1. Desglose de los costos operativos del agua en 2013

<i>Costos operativos:</i>
Compra de agua en bloque.
Pago de derechos de agua por explotación de agua y por descarga de aguas residuales.
Servicio de agua, como los costos derivados de la explotación de pozos propios, costos de personal, otros costos operativos.
Servicio de drenaje, donde se incluyen los costos de drenaje, los derechos de descarga de aguas residuales y los costos de tratamiento de agua residual en las plantas que disponga el operador.

Fuente: Banco Mundial (2013), elaboración con base en los estados financieros de los organismos operadores.

Cuadro 2. Desglose de los costos operativos para el Sacmex del agua en 2015

<i>Costos de operación y mantenimiento</i>	<i>(Millones de pesos anuales)</i>	<i>Porcentaje</i>
Agua en bloque (Sistema Cutzamala)	1606	20.42
Otros costos de operación y mantenimiento	6258	79.58
Total	7864	

Fuente: Banco Mundial (2015).

Los anteriores cuadros pueden darnos mayor certeza de que los costos de operación y mantenimiento (u operativos) son en gran parte costos de producción y no de distribución de agua. En especial en el cuadro 1 se observa que están incluidos la compra de agua en bloque, que contendrían los costos de trasvase, y los derivados de la explotación de los pozos, donde entrarían los de extracción. En ambos desgloses no se detectan costos relacionados con la distribución que se conforman de la extensión de la red, la conducción de agua y su comercialización.

Datos sobre los costos del agua en la cuenca del valle de México, de la que es parte Ciudad de México, muestran tres tipos: los operativos, los de inversión y rehabilitación, y los de ineficiencia. El costo por compra de agua en bloque representa proporcionalmente el porcentaje más alto de los operativos con 12% del total, y a este le sigue el del insuficiente tratamiento de agua residual con un 14%. El del racionamiento, que está dentro de los que se producen por ineficiencia, es el más alto de todos, pues representa un 37% del total (Banco Mundial, 2013, p. 29). En tales costos se debe tomar en cuenta un costo social que paga la población pero que no se refleja en los datos oficiales. Cierta falta de cobertura y el racionamiento llevan a la población a obtener el agua por otras alternativas. Estudios como el de Torregrosa *et al.* (2015) muestran que el tema del tandeo, las conexiones irregulares a la red y el abasto de importantes sectores de la población con pipa es significativo.

Dichos costos, además de crecientes, ocasionan varios perjuicios. La población pobre de regiones de la Ciudad de México, como Iztapalapa, que recibe

el agua con mucho menos presión que zonas de mayores ingresos, gasta una porción importante de sus ingresos para pagar el agua a camiones repartidores. Esto quiere decir que el costo real de obtener agua para ellos es mayor que el que se paga en zonas donde se dispone todo el día durante todo el año con tarifa subsidiada. El segundo perjuicio es que las autoridades esperen a que la crisis se acentúe y planteen como única solución completar la privatización, puesto que, como señalan Haggarty *et al.* (2001), desde principios de los noventa comenzaron a otorgarse concesiones a consorcios privados, lo que podría derivar en serios conflictos políticos y sociales. Adicionalmente a estos problemas, cada año la Ciudad de México se hunde de 10 a 15 cm por la sobreexplotación de los acuíferos (Aguirre & Espinoza, 2012, p. 48); y por último se encuentra el círculo vicioso de costos crecientes y mayores subsidios. Los subsidios son positivos para financiar las tarifas de las familias de más bajos ingresos, pero también podrían ser un incentivo de que el servicio del agua tiene un precio más bajo y de mejor calidad que en otros lugares, lo cual aumenta la migración a la Ciudad de México, más demanda de agua potable, y por tanto, mayores costos.

Teorías e hipótesis

Para responder a las cuestiones de la problemática de los costos crecientes a medida que aumenta la oferta de agua en la Ciudad de México y cómo intentar superar ese problema, vamos a examinar dos enfoques teóricos: el de las economías y deseconomías de escala, y el de las tecnologías intermedias.

Enfoque de las economías de escala y deseconomías de escala

Después de casi dos siglos de la aparición de las primeras ideas teóricas sobre las economías de escala, se realizaron los primeros avances en la aplicación de ese término a casos prácticos, empleando mediciones provenientes de la ingeniería y cierta evidencia estadística.

Los conceptos de economías y deseconomías de escala han tenido varios campos de aplicación. Desde los trabajos pioneros de Moore (1959), pasando por el de Reuben (1973) en la industria química, así como el de Nerlove (1963) en el sector eléctrico.

Según Ferro *et al.* (2011), han sido precisamente las investigaciones de este último autor sobre el sector eléctrico que se tomaron como ejemplo para el caso del agua. Esta analogía entre el sector eléctrico y el del agua se debe a que

ambos contienen etapas similares con ciertas diferencias. Los dos distribuyen el producto por una red de infraestructuras interconectadas; aunque el del agua contiene etapas muy particulares en sus procesos de producción y distribución. Dentro de su primer proceso se integran las etapas de captación y conducción de agua bruta o cruda, a lo que sigue su potabilización y almacenamiento, y en su segundo proceso se encuentra su disponibilidad para el consumo final. Los estudios aplicados dependerán de las características que tenga cada una de las etapas de estos procesos (Ferro *et al.*, 2011). Por ejemplo, si la disponibilidad de agua depende de que el agua bruta o cruda se capte de forma superficial, sus costos dependerán de los tipos y calidades de insumos que la potabilicen. En contraste, si el agua es obtenida de los acuíferos los costos dependerán más de las plantas de bombeo y de la energía que estas gasten. En el fondo lo que se busca investigar es la eficiencia de las empresas u organismos que abastecen el servicio (Ferro *et al.*, 2011).

Hay un consenso en la literatura acerca de que la metodología más adecuada consiste en empezar por formular una función de costos para estimar las economías o deseconomías de escala en las empresas u organismos que proveen el servicio del agua (Hayes, 1987; Bhattacharyya *et al.*, 1995; Hunt & Lynk, 1995; Bottass & Conti, 2009). No obstante, no hay consenso en tomar en cuenta los costos totales o los variables. Además, se debe considerar si dicha función será de corto o de largo plazo y que teóricamente son los costos medios que corresponden a las gráficas originales de los cambios en la escala de producción. Esto último es porque así se podrá analizar el comportamiento de los costos medios cuando se modifican las cantidades de insumos que de alguna manera influirán en su aumento o disminución.

Otras variables que también pueden afectar los costos —conocidos en la literatura especializada como variables de control— son los kilómetros en red (Kim & Clark, 1988; García *et al.*, 2007), cantidad de clientes (De Witte & Dijkgraaf, 2010), densidad de clientes por kilómetros de la red (Bottasso & Conti, 2009), fuentes de aprovisionamiento (De Witte & Dijkgraaf, 2010), pérdidas (García & Thomas, 2001) y tipos de clientes, esto es, industriales o residenciales (De Witte & Dijkgraaf, 2010).

En términos teóricos, como señalan Ferro *et al.* (2011), si la elasticidad de costos respecto a la escala de producción [$E = (dC/C) / (dy/y)$] es igual a 1, los costos aumentan en la misma proporción del incremento en la producción. En tal caso se dice que la producción de agua está experimentando economías de escala constantes. En cambio, si E es mayor a 1, la producción de agua se caracteriza por tener economías de escala. Por último, si E es menor a 1 existen deseconomías de escala. Los ejercicios empíricos de la aplicación de este planteamiento teórico consisten en analizar dos cuestiones: las variables que se van a emplear,

y los datos que se usarán para cada variable. De ese modo se conocerá qué variables influyen en los costos y cómo lo hacen.

Ferro *et al.* (2011) señalan que, debido a la serie de etapas integradas en la generación de agua potable, como la captación, la producción, el transporte, la distribución y la comercialización, se debería considerar diseñar una función aplicable a la teoría de las economías de escala en cada una de ellas. No obstante, la variable de producción de agua potable, en su mayoría, se define por el volumen de agua producida, distribuida o facturada (Kim & Lee, 1998; Antonioli & Filippini, 2001; Bottasso & Conti, 2009). Dentro de esos conceptos, hay trabajos que les adicionan otros, como las pérdidas de la red (García & Thomas, 2001), el agua en bloque (García *et al.*, 2007) y el volumen de efluentes (Nauges & Van den Berg, 2007).

Otra parte de trabajos han tomado en cuenta, aunque un tanto menos, factores como la cantidad de usuarios y la superficie del área servida (Bottasso & Conti, 2009), así como la cantidad de habitantes servidos (Stone & Webster, 2004).

En lo referente a las variables que influyen en los aumentos de producción de agua producida, buena parte de los estudios coinciden en que trabajo, capital y energía son las variables que más influyen (Bhattacharyya *et al.*, 1995; Mizutani & Urakami, 2001; Nauges & Van den Berg, 2007).

El planteamiento del problema de las deseconomías o economías de escala y sus problemas de aplicación ha llevado en general a dos resultados estadísticos. El primero es que se presentan economías de escala en diversos países con diferentes situaciones donde la población no rebasa un millón de habitantes, o con volúmenes entregados a la red de 70 millones de m³ al año. El segundo es que con poblaciones o volúmenes mayores de dichas cantidades hay economías constantes a escala o empiezan las deseconomías de escala (Ferro *et al.*, 2011). Considerando que la población de la Ciudad de México rebasa los siete millones de habitantes y el consumo de agua pasa de los 73 millones de m³, muy probablemente su sistema de agua potable estaría presentando economías de escala o empiezan las deseconomías de escala. Aquí se tendría que resolver el problema de compartir los costos del agua en bloque con varios municipios del Estado de México.

Estos resultados refuerzan la idea de que la concentración espacial de las industrias o personas genera economías de escala hasta cierto punto, las cuales se elevan o aparecen las deseconomías de escala según el tamaño mismo de la ciudad (Rosenthal & Strange, 2001, p. 192).

Las grandes empresas, las enormes obras y los organismos de generación de agua cuando operan con deseconomías de escala necesitan cuantiosos recursos financieros. Sin embargo, las tarifas que se cobran en la Ciudad de México

solo cubren, como ya se dijo, el 51% de su costo real, el resto son subsidios. En suma, el tamaño con que se opera una unidad económica es determinante para las economías o deseconomías de escala. Canbäck *et al.* (2006) indican que Schumacher fue uno de los primeros en demostrarlo y también en crear una vía de solución a esa problemática con las tecnologías intermedias.

Enfoque de las tecnologías intermedias en la oferta y saneamiento de agua

Fritz Schumacher (1973) creó el concepto de tecnología intermedia como un método de producción que se caracteriza por ser de bajo costo, intensivo en mano de obra, amigable con el medio ambiente y que aprovecha los beneficios tanto del conocimiento local como de los últimos avances de la ciencia y tecnología moderna. El concepto se creó como una alternativa a los problemas reales de los países en desarrollo, ya que no solo se limitó al análisis teórico, sino que se llevó a la práctica con la fundación de The Schumacher Centre for Technology and Development (SCTD), la actual Practical Action. Una de las labores iniciales de este centro fue reunir a ingenieros, tecnólogos, diseñadores y economistas para dar asesoría técnica a proyectos de países en desarrollo. Por ejemplo, para diseñar una máquina de extracción de agua para riego que está construida con bambú y que se puede mover con la propia energía humana.

A la tecnología intermedia también se le ha denominado tecnología apropiada, porque recurre al conocimiento local del país y toma en cuenta el grado de su desarrollo. Uno de los campos en donde el concepto de tecnología apropiada o intermedia ha sido aplicado es en la oferta y saneamiento de agua.

El concepto también tiene bases teóricas y forma parte de los debates en revistas académicas de gran prestigio y en documentos de discusión del Banco Mundial. Hace algunos años esto era desconocido porque era difícil analizar los archivos de cientos de miles de trabajos académicos de las bibliotecas que archivaban información sobre este campo. Hoy podemos dar una respuesta a la cuestión que Zaid (1988) planteó y que sigue vigente: ¿por qué las soluciones prácticas como las de Schumacher no se han plasmado en un formato académico respetable?

La respuesta a la anterior cuestión es que ha habido una importante contribución teórica en la literatura sobre el campo. En un análisis que realiza Toye (2012) de los planes de Schumacher sobre la mejoría del mundo, se encuentra un contraste entre las críticas del economista Kaldor al “romanticismo” de Schumacher y el consenso al que llegaron otros economistas acerca de las posibilidades y ventajas de la tecnología intermedia (Toye, 2012, p. 398). Ronald

Robinson formó parte de dicho consenso, y argumentaba que en la jerga técnica la producción simplificada podría ser la técnica óptima, dadas las condiciones de mercado, la disponibilidad de los factores y el estado de las habilidades (Robinson, 1965, p. 27). Philimore (2001), en cambio, busca encontrar los puntos en común y los contrastes de las ideas de Schumpeter con las de Schumacher. Para el primero la clave para el desarrollo económico está en la creatividad de la oferta impulsada por el espíritu emprendedor, la innovación y la tecnología. Para el segundo, la tecnología juega también un papel determinante, pero debe ser tecnología intermedia que aplica la ciencia y la tecnología moderna a los conocimientos locales en una escala apropiada tanto técnica como humana (Philimore, 2001).

La aplicación de las tecnologías intermedias al problema del agua tuvo un origen práctico. El panel del agua del SCTD llevó a cabo en la década de 1970 un conjunto de trabajos para aplicarlos en los países en desarrollo. Entre ellos hubo diversas publicaciones donde se incluían manuales de tecnologías del agua de bajo costo (Bateman, 1974).

Una de las cuestiones más importantes del análisis que no siempre se toma en cuenta en los grandes proyectos de agua, es la dimensión social que existe alrededor de la implementación y transferencia de la tecnología (Murphy *et al.*, 2009, p. 158).

Desde la perspectiva de cómo erradicar la pobreza en el mundo ha existido un debate en cuanto a que si el problema clave es la tecnología, sin embargo, en el pasado varios proyectos costosos fracasaron porque la elección de la tecnología no era la adecuada para el tipo de sociedad donde se aplicaron. Esto ha llevado a plantear que la elección de “tecnología apropiada” en los sistemas de agua y saneamiento de buena calidad es el primer problema para superar la pobreza. El Banco Mundial, que en otras épocas ha apoyado más a los proyectos de gran tamaño, encomendó a un grupo de expertos varios trabajos sobre tecnologías apropiadas aplicadas a la oferta de agua. En los ochenta el Departamento de Energía, Agua y Telecomunicaciones del Banco Mundial elaboró un reporte que provee instrucciones sobre la forma de implementar tecnologías de bajo costo a la oferta y saneamiento de agua. En este reporte aparecen también las investigaciones que publicó sobre dichas tecnologías (Kalbermatten *et al.*, 1980). Hay varios problemas del debate. Para algunos es la inversión en gran escala la que resuelve el problema. No se confía en que la tecnología intermedia de cosecha de agua de lluvia pueda ser eficaz. No obstante, en lugares donde el racionamiento puede durar hasta dieciocho días, la población usa el agua de lluvia y reutiliza la que llega a su casa. Las tecnologías intermedias pueden ser de inclusión social porque son versátiles, pueden ajustarse a las necesidades de diferentes tipos de población.

Evidencia

La evidencia de las deseconomías de escala en el sector del agua se apoya en investigaciones, por un lado, y en estadísticas sobre los costos de agua, por el otro. Habíamos mencionado arriba que en la década de los setenta hubo declaraciones de altos funcionarios y publicaciones de documentos sobre planes hídricos para la Ciudad de México en donde se mostraba que el sector del agua operaba siguiendo una tendencia de las deseconomías de escala. Aunque reconocidas, no hubo una política pública hídrica que procurara detenerlas y por tanto se mantuvo la creencia de que la concentración urbana, a pesar de sus complicaciones, era productiva. La pregunta que surge es si a pesar de eso en algún momento se registraron economías de escala, y la respuesta es positiva. De 1930 a 1958, en la Ciudad de México las economías totales derivadas de la expansión urbana excedieron por mucho las deseconomías que resultaron de los trastornos, del congestionamiento, reajustes e interrupciones temporales urbanas de la producción y los servicios (Flores, 1959, p. 270). Otra cuestión es si había evidencia que tal fenómeno siguiera ocurriendo después de los setenta y encontramos que, según Parnreiter (2002), algunas investigaciones observaron que las deseconomías se acentuaron en los ochenta. El problema de los altos precios de la tierra, los atascos de tráfico y la contaminación afectaron a industrias con alto consumo de tierra, agua e infraestructura, lo cual las habría forzado a reubicarse en estados del centro de México o en la región fronteriza del norte (Bataillon, 1992; Davis, 1993). En Davis (1993) se confirma cualquier intuición de los efectos que la crisis de deuda y la devaluación que sufrió la economía mexicana tuvieron sobre los costos crecientes en la Ciudad de México.

Para conocer lo que ocurrió entre 2002 y 2017 vamos a empezar por analizar la gráfica 1 donde se observa la tendencia de los costos en pesos sobre el volumen producido por metro cúbico de agua. Los cuales, según el PIGOO del IMTA, se calculan conforme a la ecuación 1.

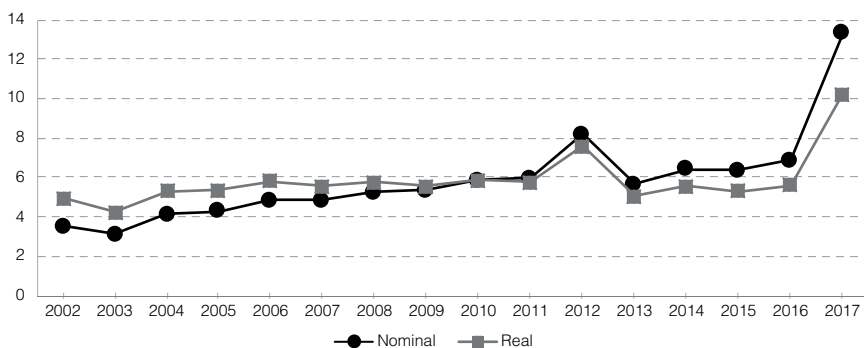
$$C_{vpp} = \frac{C_{OMA}}{V_{APP}} \quad (1)$$

En la ecuación 1 la notación C_{OMA} representa los costos totales de operación y administración mientras que V_{APP} el volumen de agua producido anualmente por metro cúbico (IMTA, 2019).

La gráfica 1 también nos muestra que el costo por volumen producido ha tenido una tendencia creciente de casi cuatro veces en 15 años, pasando de 3.52 en 2002 a 13.31 en 2017 en términos nominales, y de 4.97 a 10.22 en

términos reales. Como lo expresa la ecuación 1, los costos totales se conforman por los costos de operación y los de administración. No hay información sobre cuál de los dos ha influido más en el exorbitante crecimiento de los costos por metro cúbico de agua producido. Algunos analistas señalan que los de operación son los más importantes por los millones de kW que se gastan para bombear el agua en el Sistema Cutzamala, hecho que aumentaría los costos por el impacto que recibieron sectores industriales, como la producción de agua potable, por el aumento en la tarifa eléctrica que se registró en enero de 2012. No obstante, las gráficas 2 y 1 nos muestran que entre 2011 y 2012 se registraron, al mismo tiempo, dos fuertes saltos de los costos nominal y real junto con caídas considerables en la entrega de agua por el Cutzamala y de agua extraída de los pozos de la Ciudad de México. La causa del incremento de los costos puede estar asociada a costos relacionados con la reducción de agua en bloque del Sistema Cutzamala, que, como se vio en los cuadros 1 y 2, forma parte de los costos operativos.

Gráfica 1. Costo sobre volumen producido de agua para la Ciudad de México de 2002 a 2017 en términos nominales y reales (pesos por metro cúbico) (2010=100)



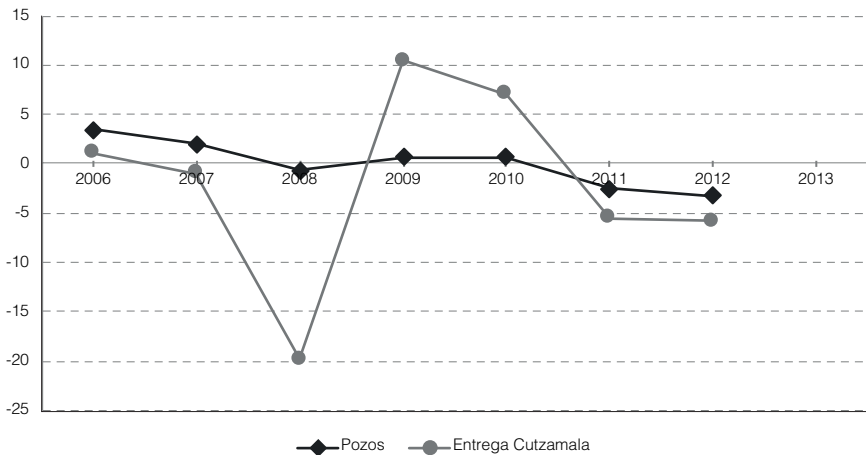
Fuente: Elaboración propia con datos del PIGOO del IMTA y del índice de precios al consumidor en México de CEPALSTAT.

Lo cierto es que, según el PIGOO del IMTA, el consumo creció en alrededor del 16%: de 158.58 litros por habitante al día (l/h/d) en 2002, a 183.41 (l/h/d) en 2017; mientras que el costo nominal por metro cúbico aumentó casi 300% y el real 205%. Por último, enseguida de la caída que se registró entre 2012 y 2013, los costos siguieron elevándose y de 2016 a 2017 se produjo un salto mayor. La causa se podría encontrar en los programas de inversión. Para

el periodo 2014-2018, el Organismo de Cuenca de Aguas del Valle de México (OCAVM) propuso el Programa de Conservación y Mantenimiento de la Infraestructura (PROCYMI) para la prestación del servicio de abastecimiento de agua potable para las ZMVM y ZMT, con un presupuesto proyectado de \$5865 millones de pesos para el suministro de materiales, maquinaria, refacciones y mantenimiento para el mismo periodo (Banco Mundial & Conagua, 2015, p. 72). El Sistema Cutzamala fue central en estos planes con la aplicación de una pieza tubular de 180 toneladas de peso conocida como “K” invertida y la construcción de una nueva línea. El PROCYMI ha ejercido, a través de su programa K007 para infraestructura de 2014 a 2017, un presupuesto de 1841.42 millones de pesos del capítulo 3000 (Conagua, 2018, p. 60). Tales cantidades afectan el costo total del agua que vende Conagua a Sacmex, y es muy probable que fuera la causa del aumento.

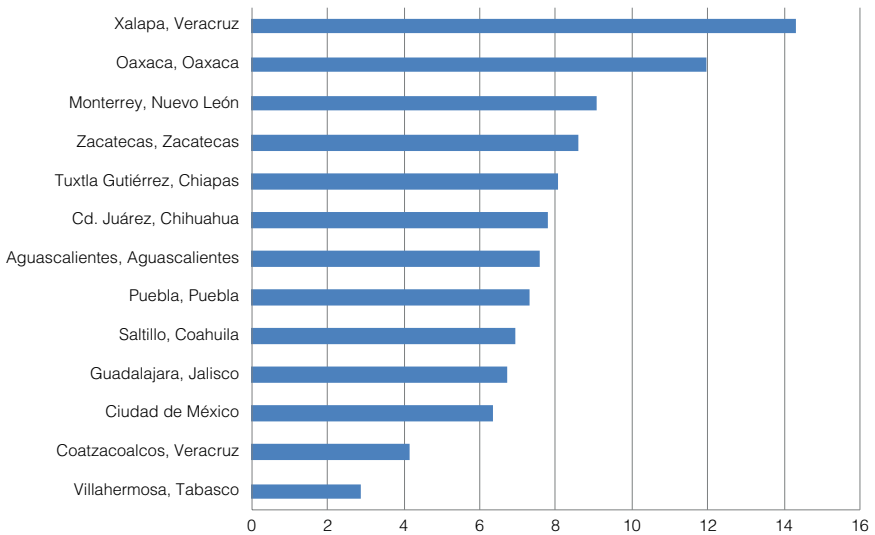
Para visualizar lo ocurrido en la Ciudad de México comparando con otras ciudades, se elaboró la gráfica 3, la cual confirma varias suposiciones. Aunque esta gráfica muestra que la Ciudad de México no es la que tiene los costos más altos, permanece la tendencia observada por Pedro Ramírez Vázquez en los setenta: cuesta más traer un metro cúbico de agua a la Ciudad de México que llevarlo a Coatzacoalcos. En 2015 para la primera costó 6.35 pesos por metro cúbico, y para la segunda 4.5.

Gráfica 2. Variaciones porcentuales del suministro de agua en metros cúbicos por segundo de los pozos de Sacmex y de las entregas del Sistema Cutzamala a la Ciudad de México de 2006 a 2012



Fuente: Sacmex (2016), Programa de Sustentabilidad y de Gestión Integral de los Recursos Hídricos 2013-2018.

Gráfica 3. Costo entre volumen producido en 2015 de varias ciudades



Nota: Las cifras no están actualizadas hasta 2017 porque para varias de las ciudades referidas solo hay información hasta 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos del PIGOO del IMTA.

Las tendencias de las gráficas 1 y 3 sugieren que de 2002 a 2017 se acentuaron los indicios de las deseconomías de escala en el sector del agua en la Ciudad de México. La cuestión del tamaño más favorable y la estructura óptima de la industria en el sector del agua es un tema relevante en muchos países debido a la fragmentación del sector hídrico y el papel que desempeñan las municipalidades (Ferro *et al.*, 2011). Sin embargo, para determinar dicho tamaño y tal estructura se requiere un modelo matemático que podría ser una función de costos de largo plazo o una función de producción que pueda estimar el momento en que se empiezan a producir las deseconomías de escala en el sector del agua. La obtención de una función de ese tipo y su estimación es parte de un trabajo en curso que el autor espera poder reportar en un futuro cercano.

Por otra parte, la evidencia de las tecnologías apropiadas aplicadas al sector del agua en la Ciudad de México se encuentra en el proyecto Isla Urbana. Este caso ha sido investigado como un tipo de tecnología intermedia o apropiada por O’Hanlon (2014), la cual consiste en captar agua de lluvia en los meses de verano cuando mayor es la precipitación pluvial. Su aplicación comenzó en 2009 en el Ajusco, un área al sur de la Ciudad de México donde se han instalado 1300 sistemas. Su objetivo es aprovechar cierto tipo de infraestructura

hídrica que ya existe en los hogares como las cisternas y tinacos, y emplear una tecnología que administra y almacena el agua a la que se nombró tlaoque. Para la potabilización del agua captada, Ingenieros sin Fronteras han asesorado a esta empresa social para superar ciertas barreras de cloración del agua con un inyector de cloración de bajo costo (O'Hanlon, 2014, p. 66). Esta tecnología tiene las características de una tecnología intermedia: es de bajo costo, descentralizada, intensiva en mano de obra, amigable con el medio ambiente y se produjo por una combinación entre los conocimientos locales de almacenamiento de agua y el conocimiento de la técnica y la ciencia moderna. Si se considera que según las investigaciones deben incluir las pérdidas de agua por fugas como parte de los factores del costo del agua (García & Thomas, 2001), el aumento o la persistencia de estas puede acentuar las deseconomías de escala. Cada año se pierde en fugas el 30% del total de agua que se distribuye en la Ciudad de México mientras que los sistemas instalados por Isla Urbana han captado cada año 19 000 millones de litros (Isla Urbana, 2019). Considerando el dato del costo por metro cúbico en 2017 presentado en la gráfica 2, tal captación equivale a 10 115 600 000 millones de pesos. El ahorro de capital es sustantivo si observamos que disminuyen los costos en energía y en redes de distribución.

Conclusiones

La Ciudad de México es un medio eficiente de movilidad social, donde es más rápido salir de la pobreza en comparación con otras ciudades del país. No obstante, el crecimiento del costo por metro cúbico de agua que examinamos en esta investigación, en el que predominan los costos de producción de agua, nos revela que hay indicios de deseconomías de escala en este sector en la Ciudad de México. Para saberlo con mejor aproximación se requerirá de un modelo matemático; hasta el momento solo se observan mayores costos y más necesidad de capital, mano de obra y de energía. La literatura revisada para esta investigación sugiere que una ciudad que pasa del consumo de 70 de millones de m³ de agua o de un millón de habitantes genera economías constantes o deseconomías de escala. La Ciudad de México sobrepasa ambos parámetros. Las estadísticas presentadas muestran que, al igual que en los años setenta, el costo de producción de agua en 2017 continuó siendo más alto en la Ciudad de México que en Coahuila de Zaragoza. En términos nominales el costo por volumen producido ha tenido una tendencia creciente de casi cuatro veces en 15 años, pasando de 3.52 en 2002 a 13.31 en 2017. Se concluye además que, por ser menos costosas y por operar en pequeña escala, las tecnologías apropiadas o intermedias tienen un gran potencial para superar los altos costos producidos

por los sistemas que actualmente abastecen de agua a la Ciudad de México. Las tecnologías intermedias como el proyecto Isla Urbana y otros casos podrían eliminar paulatinamente tal problema porque atacan dos variables: los costos de energía generados por la distancia de las fuentes de agua y de la red de pozos, y los enormes recursos financieros que se consumen en las pérdidas y en la red de tubería para la distribución. Una modelización matemática que reúna las diferentes unidades donde se capta y se cosecha el agua de lluvia con tecnologías intermedias podría llevar a construir una función matemática de costos donde la descentralización dentro de una megaciudad podría revertir las diseconomías. Tal investigación podría ser otro trabajo para desarrollar en un futuro, ya que existen otros esfuerzos por aplicar metodologías matemáticas, como por ejemplo el nivel de propiedad de la tecnología.

Referencias

- Aguirre, D., & Espinoza, V. (2012). *El gran reto del agua en la Ciudad de México*. México: Sacmex.
- Antonioli, B., & Filippini, M. (2001). The use of a variable cost function in the regulation of the Italian water industry. *Utilities Policy*, 10(3-4), 181-187. [https://doi.org/10.1016/S0957-1787\(02\)00065-6](https://doi.org/10.1016/S0957-1787(02)00065-6)
- Banco Mundial (2013). *Agua urbana en el Valle de México: ¿Un camino verde para mañana?* México: Conagua/Banco Mundial/ANEAS/ Ministerio de Economía y Hacienda, España.
- Banco Mundial, & Conagua. (2015). *Diagnóstico para el manejo integral de las subcuencas Tuxpan, El Bosque, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Colorines-Chilesdo y Villa Victoria pertenecientes al Sistema Cutzamala*. México: Banco Mundial.
- Bataillon, C. (1992). *Servicios y empleo en la economía de la ZMCM*. En Consejo Nacional de Población (Ed.), *La Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Problemática actual y perspectivas demográficas y urbanas* (pp. 79-83). Ciudad de México: Conapo.
- Bateman, G. H. (1974). *A bibliography of low-cost water technologies* (3a ed.). Londres: Intermediate Technology.
- Bhattacharyya, A., Harris, T. R., Narayanan, R., & Raffiee, K. (1995). Specification and estimation of the effect of ownership on the economic efficiency of the water utilities. *Regional Science and Urban Economics*, 25(6), 759-784. [https://doi.org/10.1016/0166-0462\(95\)02107-8](https://doi.org/10.1016/0166-0462(95)02107-8)

- Bottasso, A. & Conti, M. (2009). Scale economies, technology and technical change in the water industry: Evidence from the English water only sector. *Regional Science and Urban Economics*, 39(2), 138-147. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.05.017>
- Canbäck, S., Samoel, P., & Price, D. (2006). Do diseconomies of scale impact size of firm and performance? A theoretical and empirical overview. *Journal of Managerial Economics*, 4(1), 27-70.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2018). *Informe final de la evaluación de procesos. Programa E001 Operación y Mantenimiento de la Infraestructura Hidrica*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/442947/Evaluacion_Procesos_E001_2018_CONAGUA.pdf
- Davis, D. (1993). Crisis fiscal urbana y los cambios políticos en la Ciudad de México: desde los orígenes globales hasta los efectos locales. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 22(8), 67-102. <https://doi.org/10.24201/edu.v8i1.863>
- Departamento del Distrito Federal (DDF). (1976). Plan General para el Desarrollo Urbano del Distrito Federal. *Diario Oficial de la Federación*.
- De Jalón, S. G., Del Tánago, M. G., Alonso, C., & De Jalón, D. G. (2017). The environmental costs of water flow regulation: an innovative approach based on the 'Polluter Pays' principle. *Water Resources Management*, 31(9), 2809-2822. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1663-0>
- De Witte, K., & Dijkgraaf, E. (2010). Mean and bold? On separating merger economies from structural efficiency gains in the drinking water sector. *Journal of the Operational Research Society*, 61(2), 222-234. <https://doi.org/10.1057/jors.2008.129>
- Ferro, G., & Lentini, E. (2010). *Economías de escala en los servicios de agua potable y alcantarillado*. Santiago de Chile: CEPAL/GTZ.
- Ferro, G., Lentini, E. J., & Mercadier, A. C. (2011). Economies of scale in the water sector: a survey of the empirical literature. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 1(3), 179-193. <https://doi.org/10.2166/washdev.2011.041>
- Flores, E. (1959). El crecimiento de la ciudad de México: causas y efectos económicos. *Investigación Económica*, 19(74), 247-281.
- García, S., Moreaux, M., & Reynaud, A. (2007). Measuring economies of vertical integration in network industries: An application to the water sector. *International Journal of Industrial Organization*, 25(4), 791-820. <https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2006.07.009>

- García, S., & Thomas, A. (2001). The structure of municipal water supply costs: application to a panel of French local communities. *Journal of Productivity Analysis*, 16(1), 5-29. <https://doi.org/10.1023/A:1011142901799>
- Glaeser, E. (2010). Introduction to "Agglomeration Economics". En E. L. Glaeser (Ed.), *Agglomeration economies* (pp. 1-14). Chicago, USA: The University of Chicago Press.
- Haggarty, L., Brook, P. J., & Zuluaga, A. M. (2001). *Thirst for reform?: Private sector participation in providing Mexico City's water supply* (Vol. 2654). Washington: World Bank.
- Hansen Rodríguez, P., & Rodríguez Varela, J. M. (2019). *Indicadores de gestión prioritarios en organismos operadores. Informe Final*. http://www.pigoo.gob.mx/rep/InformeHC1915_PIGOO_Ed_2019.pdf
- Hayes, K. (1987). Cost structure of the water utility industry. *Applied Economics*, 19(3), 417-425. <https://doi.org/10.1080/00036848700000012>
- Hunt, L. C., & Lynk, E. L. (1995). Privatisation and efficiency in the UK water industry: an empirical analysis. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 57(3), 371-388. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1995.mp57003006.x>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2019). *Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO)*. http://www.pigoo.gob.mx/rep/InformeHC1915_PIGOO_Ed_2019.pdf
- Isla Urbana (2109). Proyecto Isla Urbana. <http://islaurbana.mx/>
- Kalbermatten, J. M., Julius, D. S., & Gunnerson, C. G. (1980). *Appropriate technology for water supply and sanitation*. Washington, D. C.: World Bank.
- Kim, E., & Lee, H. (1998). Spatial urban water services and economies of scale. *Review of Urban & Regional Development Studies*, 10(1), 3-18. <https://doi.org/10.1111/j.1467-940X.1998.tb00084.x>
- Kim, H. Y., & Clark, R. M. (1988). Economies of scale and scope in water supply. *Regional Science and Urban Economics*, 18(4), 479-502. [https://doi.org/10.1016/0166-0462\(88\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0166-0462(88)90022-1)
- Mizutani, F., & Urakami, T. (2001). Identifying network density and scale economies for Japanese water supply organizations. *Papers in Regional Science*, 80(2), 211-230. <https://rsaiconnect.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1435-5597.2001.tb01795.x> <https://doi.org/10.1007/PL00013622>

- Monroy, O. (2017). *El agua en la Ciudad de México: Abastecimiento*. Agua.org.mx. <https://agua.org.mx/biblioteca/fuentes-abastecimiento-agua-en-la-ciudad-mexico/>
- Moore, F. (1959). Economies of scale: some statistical evidence. *Quarterly Journal of Economics*, 73(2), 232-245. <https://doi.org/10.2307/1883722>
- Murphy, H. M., McBean, E. A., & Farahbakhsh, K. (2009). Appropriate technology - A comprehensive approach for water and sanitation in the developing world. *Technology in Society*, 31(2), 158-167. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2009.03.010>
- Nauges, C., & Van den Berg, C. (2007). *How “natural” are natural monopolies in the water supply and sewerage sector? Case studies from developing and transition economies*. Washington: The World Bank. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-4137>
- Nerlove, M. (1963). Returns to Scale in Electricity Supply. En C. F. Christ, M. Friedman, L. A. Goodman, Z. Griliches, A. C. Harberger, N. Liviatan, ... *Measurement in Economics- Studies in Mathematical Economics and Econometrics in Memory of Yehuda Grunfeld* (pp. 167-197). Stanford: Stanford University Press.
- O'Hanlon, F. (2014). Solving Mexico city's water crisis. *Appropriate Technology*, 41(3), 66-67.
- Ortiz, J. F. (1977, 13 de abril). Debe reubicarse a la población que busca satisfactorios en grandes urbes. *Excelsior*.
- Parnreiter, C. (2002). Mexico: making a global city. En S. Sassen (Ed.), *Global networks, linked cities* (pp. 145-182). Nueva York: Routledge.
- Philimore, J. (2001). Schumpeter, Schumacher and the greening of technology. *Technology Analysis & Strategic Management*, 13(1), 23-37. <https://doi.org/10.1080/09537320120040428>
- Reuben, B. G. (1973). *The chemical economy: a guide to the technology and economics of the chemical industry*. Londres: Longman.
- Robinson, R. E. (Ed.). (1965). *Industrialisation in developing countries*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rosenthal, S. S., & Strange, W. C. (2001). The determinants of agglomeration. *Journal of Urban Economics*, 50(2), 191-229. <https://doi.org/10.1006/juec.2001.2230>
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex). (2016). Programa de Sustentabilidad y de Gestión Integral de los Recursos Hídricos 2013-2018. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*. http://sipinna.cdmx.gob.mx/sipinna/_pdf/Lineamientos_para_la_Integracion_Organizacion_y_Funcionamiento_SIPINNA_CDMX.pdf

- Schumacher, F. (1973). *Small is beautiful: Economics as if People Mattered*. Londres: Blond & Briggs.
- Stone, & Webster Consultants. (2004). *Investigation into evidence for economies of scale in the water and sewerage industry in England and Wales*. Preparado por OFWAT. Reporte final. Enero.
- Torregrosa, M. I., Aguilar, I., Jiménez, B., Kloster, K., Martínez, P., Palerm, J., Sandoval, R., & Vera, J. (2015). Agua urbana en México. En K. Vamme & A. De la Cruz, *Desafíos del agua urbana en las Américas, Perspectivas de las Academias de Ciencias* (pp. 396-429). México: IANAS/UNESCO.
- Toye, J. (2012). The world improvement plans of Fritz Shumacher. *Cambridge Journal of Economics*, 36(2), 387-403. <https://doi.org/10.1093/cje/ber035>
- Zaid, G. (2004). *El progreso improductivo*. México: El Colegio de México.
- Zaid, G. (1988). Economía y felicidad. *Estudios*, (14), 7-15. <https://doi.org/10.5347/01856383.0014.000170399>