

Ciudades y sequía en México. La gestión del agua como estrategia crítica de mitigación

• Nicolás Pineda-Pablos* • Alejandro Salazar-Adams •
El Colegio de Sonora
*Autor para correspondencia

Resumen

Pineda-Pablos, N., & Salazar-Adams, A. (septiembre-octubre, 2016). Ciudades y sequía en México. La gestión del agua como estrategia crítica de mitigación. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5), 95-113.

El objetivo de este trabajo es presentar y revisar las principales opciones de estrategia que tienen las ciudades mexicanas contra la sequía. Las ideas centrales son las siguientes: 1) que la sequía no tiene un efecto directo en los sistemas urbanos de agua sino que está mediada por la infraestructura y gestión del agua; 2) que la mitigación del impacto de la sequía debe llevarse a cabo primordialmente por medio de la gestión adaptativa de la demanda de agua; 3) que el principal obstáculo para que las ciudades efectúen una gestión adaptativa del agua es la falta de sistemas de información confiable. En el trabajo se revisa el impacto de la sequía en los municipios urbanos de México. Se propone un modelo para el análisis del impacto de la sequía en el que la gestión del agua es el elemento crítico y se señala que el principal obstáculo para que los organismos de agua enfrenten y mitiguen la sequía es la carencia de un sistema de información y seguimiento de indicadores que permita dar seguimiento a las pérdidas de agua, medición de consumos y cobro efectivo del servicio. El establecimiento de sistemas de información y el mejoramiento de estas áreas de oportunidad constituye el paso crítico hacia adelante para que los organismos emprendan de manera más efectiva y sustentable acciones que mitiguen los efectos de las sequías. A este tipo de gestión le estamos llamando gestión adaptativa del agua.

Palabras clave: gestión urbana del agua, mitigación de la sequía, gestión adaptativa, manejo de información hídrica, ciudades mexicanas.

Abstract

Pineda-Pablos, N., & Salazar-Adams, A. (September-October, 2016). *Cities and Drought in Mexico. Water Management as a Mitigation Critical Strategy*. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 7(5), 95-113.

The purpose of this article is to present and review the main strategy choices for Mexican cities against drought. The main ideas are: 1) that drought has not a direct effect on urban water systems but it is mediated by water infrastructure and by management; 2) that drought impact mitigation should be carried out mainly through adaptive water demand management; and 3) that the main obstacle for cities to carry out adaptive water management is the lack of reliable information systems. The article reviews the exposure of Mexico's urban municipalities to drought, presents a model for the analysis of drought impact where water management is the critical element and points out that the main obstacle for water utilities tackle and mitigate drought is the lack of an information and indicator system to monitor water waste, meter consumption and effective revenue collection. The establishment of information management and the improvement of these opportunity areas constitute the critical step forward for utilities undertake more effectively and sustainably actions against the recurrent droughts. This kind of management is what we call adaptive water management.

Keywords: *Urban water management, drought mitigation, adaptive management, water information management, Mexican cities.*

Recibido: 06/08/2015
Aceptado: 15/02/2016

Introducción

El problema del impacto de la sequía en el consumo de agua de las ciudades mexicanas se puede definir en tres escenas: en la escena uno, las ciudades no han dejado de crecer cuando menos desde 1940 y constantemente han requerido nuevas fuentes de agua y nueva infraestructura hidráulica, como presas, pozos, acueductos, tanques de almacenamiento y redes de distribución, entre otras. Escena dos: las ciudades enfrentan desde la década de 1990 reducciones recurrentes en el agua disponible, en la que se conjugan sequía, mala gestión y crecimiento urbano. Escena tres: las ciudades buscan aumentar el abasto de agua con nueva infraestructura cada vez más cara y de fuentes cada vez más lejanas sin modificar la gestión ni los patrones de consumo de agua, además de existir un factor de incertidumbre introducido por el fenómeno del cambio climático, que de acuerdo con los modelos actualmente disponibles induciría una reducción de la precipitación en el país y un aumento en la temperatura a lo largo del siglo XXI (Montero & Pérez, 2008), lo que repercutiría en una disminución en la cantidad de agua disponible y un incremento en la demanda. Este es el resumen del problema de la gestión urbana del agua en las ciudades mexicanas. ¿Qué se debe hacer?

Los directivos de los organismos de agua por lo común tienden a favorecer la alternativa de más infraestructura porque tienen acceso a financiamiento y les representa oportunidades de más ingresos y lucimiento político. En cambio, la alternativa de mejorar la gestión se considera menos viable debido principalmente a que, de entrada, la mayoría de los organismos operadores de agua carece del sistema de información y seguimiento de indicadores que le permita definir políticas y tomar las decisiones correspondientes.

En este artículo se plantea que lo que deben hacer las ciudades mexicanas para mitigar los efectos de la sequía sin deteriorar la calidad del servicio es administrar y moderar la demanda de agua. Las preguntas que se plantean son:

¿cómo se da el impacto de las sequías en los servicios urbanos de agua?, ¿qué tipo de respuesta deben dar los organismos operadores?, ¿cuál es el principal obstáculo para enfrentar y mitigar los efectos de la sequía en las ciudades mexicanas?

El objetivo de este trabajo es entonces presentar y revisar las principales opciones de estrategia que tienen las ciudades mexicanas contra la sequía. Las ideas centrales son las siguientes: 1) que la sequía no tiene un efecto directo en los sistemas urbanos de agua sino que está mediada por la infraestructura y gestión del recurso; 2) que la mitigación del impacto de la sequía debe estar orientada primordialmente a la gestión adaptativa de la demanda de agua; 3) que el principal obstáculo para que las ciudades lleven a cabo una gestión adaptativa del agua es la falta de sistemas confiables de información.

Es necesario advertir que las estrategias para mitigar la sequía que se presentan en este trabajo se circunscriben al ámbito de la gestión urbana del agua y no incluyen el ámbito más amplio de la gestión integrada por cuencas ni la interacción con los usos agrícolas que, por regla general, son los principales consumidores de agua de las cuencas. Otra limitación es que tampoco se revisa la situación de los servicios de alcantarillado y saneamiento. Se trata entonces exclusivamente de discutir las medidas que pueden adoptar por sí solos los organismos operadores de agua urbana en el ámbito local o municipal sin recurrir a la transferencia de derechos de agua de uso agrícola y sin incluir el reúso de aguas residuales.

La exposición de las ciudades mexicanas a la sequía

¿Qué tan expuestas están las ciudades mexicanas a la sequía? La respuesta a esta pregunta depende de cómo se defina sequía. Las definiciones de sequía se pueden dividir en dos grupos: las que se refieren al fenómeno climático meteorológico en sí mismo y las que aluden a sus efectos o consecuencias.

Como fenómeno climático meteorológico, la sequía es una reducción de la cantidad de agua disponible por una deficiencia de precipitación durante un periodo extendido de tiempo (por lo general una estación o más). En este sentido, el fenómeno de la sequía se relaciona con los comportamientos históricos de la precipitación y disponibilidad de agua, y es por lo tanto relativo a los niveles o promedios registrados de precipitación y humedad en un lugar determinado. De este modo, la sequía equivale a que llueva menos que lo acostumbrado o menos que el promedio en un punto geográfico particular durante un periodo prolongado (OMM, 2015; National Drought Mitigation Center, 2015; National Geographic, 2015). La sequía se diferencia de la aridez en cuanto a que la primera es una reducción relativa con respecto a los niveles anteriores, mientras que la segunda se refiere a la carencia absoluta y permanente de humedad y precipitación. Por ello, la sequía no es privativa de lugares áridos sino que cualquier lugar, árido o húmedo, puede padecer un periodo de sequía; es decir, una reducción relativa de humedad y disponibilidad de agua.

Otras definiciones de sequía la relacionan con las consecuencias que tiene para las actividades humanas. Una definición de sequía, que incluye una mención al impacto social, es por ejemplo: "Disminución temporal y significativa de los recursos hídricos que afecta un área extensa con *consecuencias socioeconómicas adversas* durante un periodo suficientemente *prolongado*" (Estrela-Monreal, 2006). Las definiciones que utilizan los monitores de sequía de América del Norte (DOF, 2012) para los diferentes niveles de intensidad también ponen la atención en los efectos de la sequía. De este modo, los cinco niveles de intensidad son los siguientes:

- **Anormalmente seco (D0):** condición de sequedad, no es un tipo de sequía.
- **Sequía moderada (D1):** algunos daños a los cultivos y pastos; alto riesgo de incendios; niveles bajos en arroyos, embalses y pozos; escasez de agua.
- **Sequía severa (D2):** probables pérdidas en cultivos o pastos; muy alto riesgo de incendios; común escasez de agua.
- **Sequía extrema (D3):** mayores pérdidas en cultivos o pastos; peligro extremo de incendio; se generaliza la escasez de agua o restricciones de su uso.
- **Sequía excepcional (D4):** pérdidas excepcionales y generalizadas de los cultivos o pastos; riesgo excepcional de incendio; escasez de agua en los embalses, arroyos y pozos; situaciones de emergencia debido a la ausencia de agua.

Estas definiciones ponen la atención en los efectos o consecuencias socioeconómicas de la sequía. El problema con esta definición es que incluye en ella precisamente los elementos que se desea prever y mitigar, es decir, los impactos negativos de la misma.

Este trabajo, al hablar de sequía, se refiere principalmente a la que se ha denominado sequía meteorológica, esto es, aquella que pone énfasis en el fenómeno climático y se define como "la desviación de la precipitación respecto a la media durante un periodo de tiempo determinado" (Marcos-Valiente, 2001). Para fines prácticos, en este trabajo se adopta la información de sequía meteorológica publicada por el Servicio Meteorológico Nacional de México en su página Web, con cinco niveles de intensidad, que en los mapas corresponden a colores que van del amarillo al rojo intenso. Se trata de ver cómo un fenómeno natural impacta a una sociedad en particular. ¿Cuáles ciudades están entonces expuestas a la sequía?

En México, la gráfica del área afectada por la sequía de 2003 a 2014 (figura 1) muestra que la sequía es un evento constante y recurrente en el territorio nacional. Se observa además que los diversos rangos de sequía han afectado a la mayor parte del área del país. De 2003 a 2014, la sequía severa (que se muestra con color gris medio) estuvo presente en cuando menos una tercera parte del territorio nacional de 2006 a 2009. En 2010 hubo una tregua, pero regresó con gran intensidad en 2011, cuando se hizo

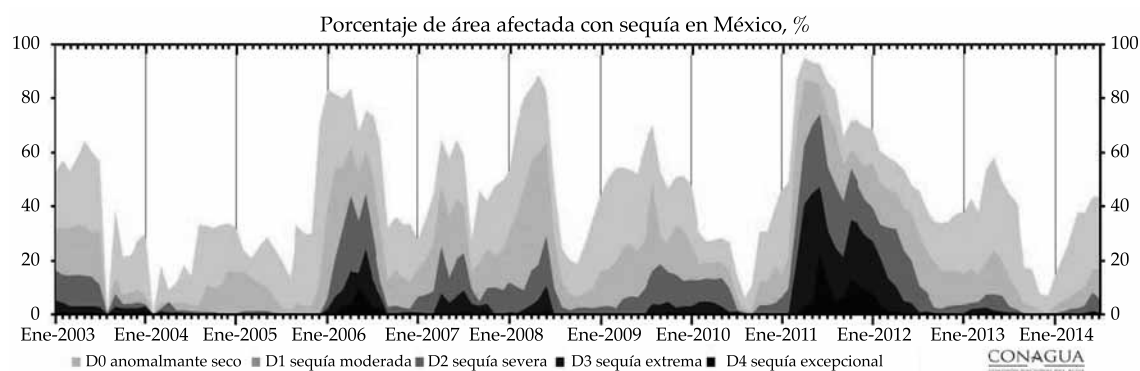


Figura 1. Evolución de la sequía según el Monitor de Sequía en México.
Fuente: SMN, 2010.

presente en tres cuartas partes del territorio nacional, constituyendo la sequía más intensa durante el periodo.

La sequía del verano de 2011, que afectó a la mayor parte del territorio nacional, se reportó como excepcional en 12 municipios urbanos de los estados de Chihuahua, Coahuila, Sonora y Tamaulipas. Esta misma sequía de 2011 fue considerada como extrema en 120 municipios urbanos de 15 estados de las 32 entidades federativas (Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Hidalgo, México, Michoacán, Nuevo León, Querétaro, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas). Asimismo, se reportó sequía severa en otros 124 municipios urbanos (figura 2). Se trata de la sequía más intensa que reporta el Monitor de Sequía de México desde que inició con el seguimiento de este fenómeno en 2003, pero no quiere decir que sea el más intenso que se haya padecido en la historia reciente de México (figura 2).

Por otra parte, la sequía recurrente no se hace presente en los mismos lugares del territorio nacional. La sequía reportada el 30 de junio de 2015 muestra que ese año se vieron afectados lugares que no fueron tocados en la sequía de 2011. El 30 de junio de 2015 no se reportan municipios urbanos con sequía excepcional; pero sí con sequía extrema los municipios de Tijuana y Playas de Rosarito; así como con sequía severa

los municipios de Mexicali, Ensenada y Tecate, todos ellos en el estado de Baja California, que no estuvo entre las entidades reportadas con sequía en 2011.

De este modo, prácticamente todas las ciudades de México están expuestas a la sequía y queda de manifiesto que este fenómeno no es exclusivo de lugares secos o desérticos, sino que la mayoría de las ciudades de México se ubican en lugares expuestos y propensos a la sequía, y que la han padecido en la última década. Esta sequía, sin embargo, tiende a ser más intensa en el norte de México que en el resto del país.

El impacto mediado de la sequía en las ciudades

A pesar de que la mayoría de las ciudades mexicanas ha estado expuesta a la sequía en los últimos años, no hay una conciencia clara entre los habitantes de las ciudades ni entre los directivos de organismos operadores de agua potable, alcantarillado y saneamiento (OOAPAS) del impacto de este fenómeno en las ciudades o que éstas tengan que prevenir sus efectos. Pareciera que se percibe a la ciudad como un entorno distinto de la naturaleza, cuando en realidad el sistema de abastecimiento de agua potable y saneamiento de las ciudades está estrechamente vinculado con el medio ambiente que lo rodea (Kaica, 2005; Harvey, 1996). Del medio ambiente

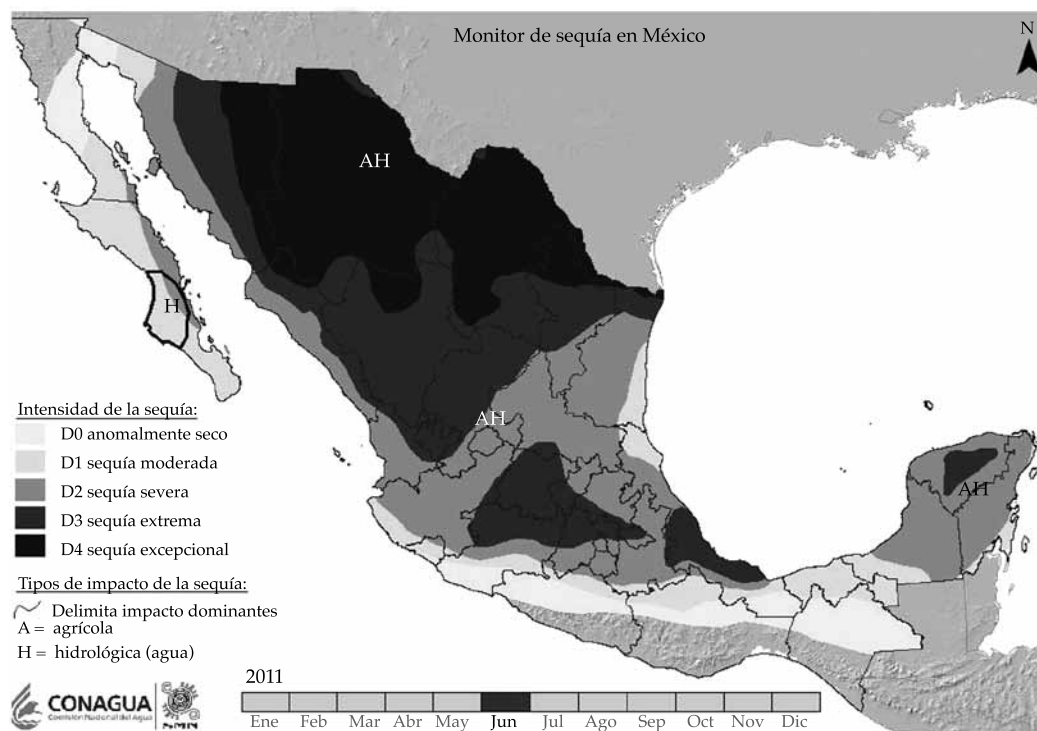


Figura 2. Mapa de la sequía en México al 30 de junio de 2011. Fuente: SMN, 2015.

proviene las fuentes de abastecimiento y al medio ambiente se regresan también las aguas residuales.

Este problema de percepción se debe a que el impacto de las sequías en las ciudades no es directo, sino que está mediado por dos elementos que pueden identificarse como infraestructura hidráulica y gestión urbana del agua. De este modo, para diseñar un modelo de impacto de la sequía en la gestión urbana del agua, se pueden considerar los siguientes elementos (figura 3):

- Fenómeno de la sequía.
- Infraestructura hidráulica (de abasto y almacenamiento).
- Gestión urbana del agua.
- Patrón de consumo de la ciudad.

Estos cuatro elementos están estrechamente relacionados y definen el impacto de la sequía en los consumidores urbanos, así como la posible respuesta urbana ante este fenómeno. Desde

un punto de vista más amplio, estos elementos constituyen además el ciclo urbano del agua, que se inicia con la extracción y abasto de agua para la ciudad; almacenamiento y distribución; uso y consumo del recurso, y la disposición, tratamiento y descarga de aguas residuales (Marsalek *et al.*, 2008).

La función del impacto de la sequía en las ciudades puede expresarse con el siguiente modelo:

$$Y = + S - I - G$$

Donde:

Y = **impacto** de la sequía en los patrones de consumo.

S = reducción de la disponibilidad de agua debido a la **sequía**.

I = efecto retardador y regulador de la **infraestructura**.

G = efecto regulador de la **gestión** en los patrones de consumo.

Cuadro 1. Municipios urbanos en los que se reportó sequía en el verano de 2011. Fuente: SMN, 2010.

Intensidad	Entidad	Municipios urbanos afectados por la sequía de 2011	Núm.
Sequía excepcional (D4)	Chihuahua	Chihuahua, Cuauhtémoc, Nuevo Casas Grandes, Delicias, Hidalgo del Parral	5
	Coahuila	Monclova, Piedras Negras, Acuña, Frontera, Nava	5
	Sonora	Agua Prieta	1
	Tamaulipas	Nuevo Laredo	1
Total			12
Sequía extrema (D3)	Chihuahua	Juárez	1
	Coahuila	Saltillo, Torreón, Ramos Arizpe	3
	Distrito Federal	Gustavo A. Madero, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza, Azcapotzalco, Cuauhtémoc	5
	Durango	Durango, Gómez Palacio, Lerdo	3
	Guanajuato	León, Irapuato, Celaya, Salamanca, Guanajuato, Acámbaro, San Miguel de Allende, San Francisco del Rincón, Uriangato, Dolores Hidalgo, San Luis de la Paz, Valle de Santiago, Purísima del Rincón, Silao, Cortázar, Moroleón, Pénjamo	17
	Hidalgo	Tula de Allende	1
	México	Toluca, Ecatepec de Morelos, Cuautitlán Izcalli, Naucalpan de Juárez, Atizapán de Zaragoza, Tlalnepantla de Baz, Tultitlán, Texcoco, Nicolás Romero, Chimalhuacán, Tecámac, Acolman, Huixquilucan, Zinacantepec, Chicoloapan, Zumpango, Coacalco de Berriozábal, Teoloyucán, Tultepec, Cuautitlán, Tepotzotlán, Lerma, Coyotepec, Melchor Ocampo, Chiautla, Atenco, Chiconcuac, Otzolotepec, Tepetlaoxtoc, Almoloya de Juárez, Tezoyuca, Papalotla, Jaltenco, Teotihuacán	34
	Michoacán	Morelia, Uruapan, Zitácuaro, La Piedad, Zamora, Zacapu, Hidalgo, Pátzcuaro, Jacona	9
	Nuevo León	Monterrey, Guadalupe, Santiago, Apodaca, San Nicolás de los Garza, Gral. Escobedo, San Pedro Garza García, Santa Catarina, Cadereyta Jiménez, Juárez, García, Salinas Victoria	12
	Querétaro	Querétaro, San Juan del Río, Corregidora, El Marqués	4
	Sonora	Cajeme, Navojoa, Nogales	3
	Tamaulipas	Reynosa, Matamoros, Río Bravo	3
	Tlaxcala	Tetla, Apizaco, Xaloztoc, Yauhquemecan, Tzompantepec	5
	Veracruz	Xalapa, Veracruz, Córdoba, Boca del Río, Orizaba, Fortín, Ixtaczoquitlán, San Andrés Tuxtla, Nogales, Río Blanco, Camerino Z. Mendoza, Rafael Delgado, Amatlán de los Reyes, Banderilla, Huiloapan, Ixhuatlancillo, Mariano Escobedo	17
	Zacatecas	Fresnillo, Zacatecas, Guadalupe	3
Total			120

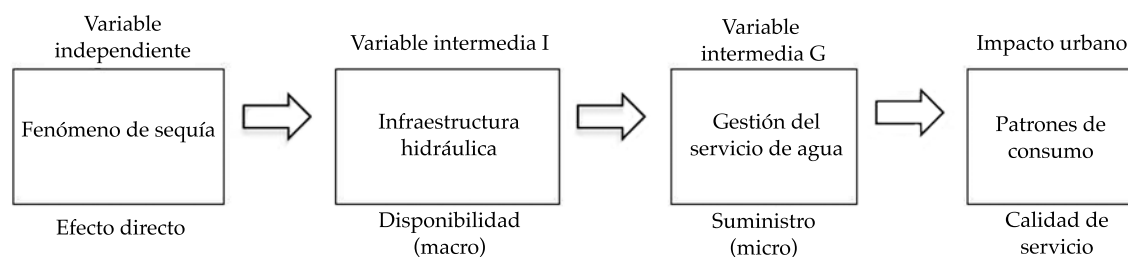


Figura 3. Elementos para el análisis del impacto de la sequía en las ciudades.

Fuente: elaboración propia, basado en el marco de análisis y desarrollo institucional de E. Ostrom (2007).

Lo que se busca es minimizar el impacto Y , el cual idealmente sería igual a cero, pero esto implicaría poder anticipar de manera perfecta las variaciones climáticas que denominamos sequía o bien contar con recursos ilimitados para contrarrestar los efectos negativos de la sequía en su totalidad. Sin embargo, para ilustrar el efecto de las variables en el modelo, supóngase que el objetivo es hacer que el impacto sea nulo, es decir, $Y = 0$. Entonces infraestructura y gestión deberán ser de signo contrario e inversamente proporcionales al monto de la sequía. Por ejemplo, si la sequía impone una reducción de 30% en la disponibilidad de agua, infraestructura y gestión deberán compensar dicho monto: la infraestructura deberá proporcionar un aumento en el suministro o bien la gestión requiere propiciar una reducción de 30% en los patrones de consumo. También puede darse una combinación de ambos.

Cada uno de estos dos elementos, (infraestructura de abasto y gestión), tiene su propia dinámica y forma para mitigar o aumentar el impacto de la sequía en la ciudad. A continuación se revisa de manera breve la dinámica de estos dos componentes.

Con base en este modelo, si el impacto esperado de la sequía es 0 (cero), entonces:

$$a) S = I + G$$

Es decir, el efecto conjunto de la infraestructura y gestión deberá compensar al efecto de la sequía:

$$b) I = S - G$$

La capacidad de almacenamiento de la infraestructura debe ser igual a la reducción en disponibilidad provocada por la sequía menos el chorro de agua que se logre por medio de la gestión. Si la capacidad de almacenamiento de la infraestructura es nula, entonces la gestión deberá reducir todo el efecto de la sequía (reducción conjunta de pérdidas y consumos). Si la capacidad de almacenamiento de la infraestructura es muy grande, por ejemplo en

un acuífero, entonces la infraestructura (pozos) podrá aportar toda la diferencia impuesta por la reducción de disponibilidad y el efecto de la gestión podrá ser 0 (cero).

$$c) G = S - I$$

La gestión tiene la función de compensar la reducción de la sequía de manera más directa que la infraestructura. Si la (capacidad de almacenamiento de la) infraestructura es cero, el tamaño del ajuste de la gestión deberá ser equivalente al tamaño de la reducción de la sequía. La ventaja de la gestión es que no todo es disminución del consumo, sino que ajusta principalmente la baja de pérdidas físicas de agua y los excesos de consumo antes que recortar propiamente el consumo. Mientras que la infraestructura son los ahorros, la gestión ajusta el gasto. La gestión representa entonces el ajuste y medida más efectiva para mitigar la sequía. Ésta es la gestión adaptativa del agua en las ciudades.

Este modelo resume entonces el impacto de la sequía en la ciudad y ayuda a analizar los diversos papeles que juegan la infraestructura y la gestión. Sin embargo, el modelo concreto es diferente para cada ciudad, pues cada urbe tiene diferentes tipos de fuentes de abasto y distinta infraestructura, estilos de gestión y patrones de consumo.

Infraestructura hidráulica y sequía

La infraestructura por medio del almacenamiento del agua es un amortiguador o factor intermedio entre las sequías y el impacto que esa tiene en el consumo de agua de la ciudad. El tipo de infraestructura depende del tipo de fuente. Cuando la fuente de abasto de agua es superficial, la infraestructura hidráulica consiste en presas y reservorios, acueductos y canales de conducción, y plantas potabilizadoras. Cuando la fuente de abasto es subterránea, la infraestructura hidráulica consiste en pozos, acueductos y bombeo impulsado con energía eléctrica. Otras posibles fuentes de abasto pueden ser el agua salobre del mar o de las regiones costeras, para

Cuadro 2. Infraestructura hidráulica para el abasto urbano de agua. Fuente: elaboración propia.

Fuente de abasto	Infraestructura hidráulica	Impacto urbano
Superficial: - Río - Lago	- Presas - Acueductos - Planta potabilizadora	El impacto de la sequía en la ciudad está mediado por la capacidad de almacenamiento de las presas
Subterránea - Acuífero	- Pozos y bombeo	El impacto de la sequía es mediado por el volumen de recarga del acuífero y la capacidad de almacenamiento total del acuífero
Otros: - Agua de mar - Aguas residuales	- Planta desalinizadora - Plantas de tratamiento	La sequía no afecta la disponibilidad de agua de mar. La disponibilidad de aguas residuales tratadas se determina por el volumen de agua que consume la ciudad y patrones de consumo. La sequía no tiene impacto directo en las aguas residuales tratadas

lo cual se requiere una planta desalinizadora; o bien el reúso de las aguas residuales, lo que también requiere de plantas de tratamiento de aguas grises (Karamouz, Moridi, & Nazif, 2010; Jardines-Moreno, 2008). De este modo, el impacto de las sequías es directo en los cuerpos de agua, pero para las ciudades está mediado por el tipo de fuente de abasto con que cuentan y el tipo de infraestructura que requieren.

Normalmente la infraestructura juega el papel de amortiguador de los efectos de la sequía en las ciudades, y cuando la sequía no es muy prolongada y la infraestructura está bien administrada, hace que las urbes no resientan sus efectos. Para ello se requiere adoptar la antigua estrategia de planeación para años de “vacas flacas y vacas gordas”, es decir, tomar en cuenta las fluctuaciones de la disponibilidad en los cuerpos de agua. Se requiere, además, dejar y respetar una reserva de base para la naturaleza y no agotar todos los recursos disponibles. El error que se comete con mucha frecuencia es sobreasignar y sobreexplotar los recursos (Moreno-Vázquez, Marañón-Pimentel, & López-Córdova, 2010; Torregrosa, 2015). De modo que en tiempos normales se explotan los recursos al máximo y en tiempos de contracciones severas, como los que significa una sequía, los organismos de agua no cuentan con los márgenes de reserva, y buscan aumentar las fuentes de suministro y agregar nueva infraestructura.

Un aspecto relevante de la infraestructura hidráulica es que tiene un marco institucional

propio y diferente al de la gestión urbana del agua. En México, la construcción y mantenimiento de las presas y acueductos, así como el monitoreo de los acuíferos, están centralizados y son administrados por la Comisión Nacional del Agua (Conagua), organismo dependiente de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). Esta dependencia recaba la información, y controla los embalses y dotaciones de agua a los diferentes tipos de agua. Aunque se dan deficiencias en la planeación y operación de estas tareas que se manifiestan en la sobreasignación y la sobreexplotación de los cuerpos de agua, el hecho de que exista un sistema de información uniforme constituye un avance en la disponibilidad de información y definición de políticas. En décadas pasadas, los antecesores de esta agencia lograron alcanzar un alto nivel de capacidad técnica y fueron bastante exitosos en el impulso y operación de infraestructura hidráulica. En la actualidad, sin embargo, enfrentan el reto del nuevo paradigma ambiental y de reconvertir su antiguo enfoque en la infraestructura y oferta al enfoque de demanda (Wester, Rap, & Vargas-Velázquez, 2009).

El uso preferente de la infraestructura como medio de previsión y mitigación de la sequía constituye el modelo de gestión que se conoce como “enfoque de oferta”. Este enfoque implica que toda la atención se centra en el suministro de agua y no se toma en cuenta el posible consumo excesivo o inapropiado del agua. Cuando la infraestructura se financia con recursos fiscales

y no implica costos para los sistemas urbanos de agua, dicho enfoque incentiva a las ciudades a buscar preferentemente el aumento del suministro de agua. Para ello, se pretende agregar siempre fuentes nuevas y más remotas a costos cada vez más altos. El problema de este enfoque es que cada vez resulta más caro e insostenible para el país que cubre estas obras con recursos fiscales; no envía señales de los costos en que incurre a los habitantes de las grandes ciudades; tiende a crear conflictos con los habitantes de las regiones de las que se extrae el agua, e incrementa de modo desproporcionado la huella ecológica o impacto que se tiene en la naturaleza. Dicho en otras palabras, este enfoque no propicia ni apoya la sustentabilidad urbana.

La misma Conagua, a través de su publicación *Agenda del Agua 2030* (Conagua, 2011), reconoce que las obras de infraestructura significan una menor tasa de beneficio/costo que la que pueden representar medidas de gestión

que no implican realizar grandes obras públicas. La figura 4 muestra los costos marginales de las diferentes medidas de oferta y del uso público urbano (denominadas de gestión o de demanda), junto con otras medidas industriales o agrícolas, e indica que mientras las medidas de oferta tienen altos costos marginales, las de uso público urbano tienen costos negativos; es decir, sus beneficios pagan con creces los costos. Por ejemplo, el costo marginal de “nuevas presas para riego” es de alrededor de un peso por metro cúbico, mientras que la medida “reparación de fugas” tiene un costo marginal negativo de casi seis pesos por metro cúbico; esto es, por cada metro cúbico que se deje de fugar, se obtendrá un ahorro neto de seis pesos en la producción de agua. Además, la medida de “acueductos no en cartera” tiene un costo marginal de más de cinco pesos por metro cúbico y la “desalación no en cartera”, un costo de casi 23 pesos por metro cúbico. Nótese

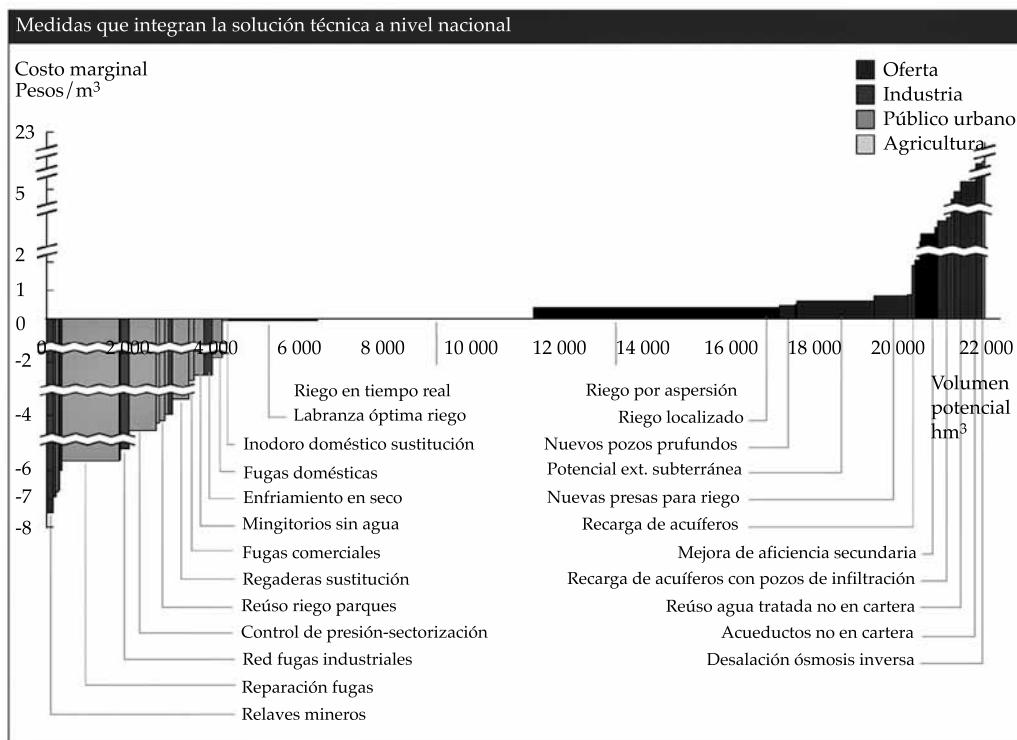


Figura 4. Comparación de volúmenes y costo marginal de medidas para abasto de agua. Fuente: Conagua, 2011.

además que el volumen potencial para estas opciones es muy pequeño, en comparación con las opciones orientadas al uso más eficiente del agua. Por otra parte, el eje horizontal muestra el caudal de agua que es posible recuperar (volumen potencial), donde se aprecia que si bien las obras de infraestructura muestran caudales muy superiores, la reparación de fugas puede recuperar un volumen cercano a 2 000 hm³ (dos mil millones de metros cúbicos). En conjunto, a través de la reducción de fugas y de hacer más eficiente el consumo, se pueden recuperar, potencialmente a nivel nacional, alrededor de 4 000 millones de metros cúbicos, es decir, un monto equivalente aproximadamente a cuatro veces el consumo de la Ciudad de México.

En resumen, si bien la infraestructura hidráulica para el abasto de agua a las ciudades es indispensable y ayuda a contrarrestar los efectos de la sequía mediante el suministro y almacenamiento de volúmenes de agua que pueden ser utilizados en periodos de baja disponibilidad, no puede ser el único elemento ni la única estrategia para mitigar los efectos. Para tener una estrategia más integral y apoyar la sustentabilidad urbana, se requiere además la buena gestión urbana del agua.

Gestión urbana del agua y sequía

El segundo elemento que intermedia o amortigua el impacto de la sequía en las ciudades es la gestión del agua. Se refiere básicamente a la operación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento. La manera en que operan estos servicios hídricos tiene un impacto definitivo en el nivel y características de la demanda de agua, y el grado de adaptación de la ciudad a la sequía.

Una característica de la gestión urbana del agua es que, a diferencia de lo que sucede con la construcción y manejo de la infraestructura, la gestión urbana del agua está descentralizada, intervienen una pluralidad de actores institucionales locales y es llevada a cabo principalmente por organismos operadores de agua (OOAPAS). Estos organismos, por regla general, son entida-

des públicas descentralizadas de los gobiernos estatales o municipales dotados de autonomía legal, y que supuestamente debieran operar como empresas autosuficientes y autónomas. En algunos pocos casos, como Aguascalientes, Cancún o Saltillo, existe participación de empresas privadas en la operación de estos servicios, pero en el resto de los municipios urbanos, los organismos dependen directamente de los gobiernos municipales o estatales. Las leyes que rigen la operación de estos OOAPAS son estatales y no federales, como en el caso de la infraestructura. De este modo, cada una de las 32 entidades federativas del país cuenta con su propia ley de aguas, que define los criterios de operación de tales organismos (Carabias & Landa, 2005). Existe, por lo tanto, diversidad de situación y circunstancias, así como una gran variación en el desempeño que tienen estos OOAPAS. En cuanto al personal técnico y directivo encargado de la gestión urbana del agua, se observa una tendencia hacia una alta rotación y bajo nivel de profesionalización. Asimismo, existe un déficit de planeación. Estas condiciones se deben principalmente a que cada cambio de gobierno local significa la remoción de los directivos y la designación de otros nuevos al frente de los OOAPAS (Pineda-Pablos, Salazar-Adams, & Buenfil-Rodríguez, 2010). De este modo, el marco institucional de la gestión contrasta con el que rige para la infraestructura, que es nacional, centralizada y tiende a la uniformidad.

En el caso de la gestión urbana del agua, el panorama de la información es diferente al de la infraestructura. Cada organismo de agua hace sus propias mediciones y recaba su propia información, y en muchos casos no se hacen ni mediciones ni se registran las bases de datos históricos. Puesto que los organismos están sometidos a periodos de dirección muy cortos (de 3 o 6 años, según sea el nivel de gobierno municipal o estatal del que dependen), por lo general no dan importancia a la planeación y previsión de plazos mayores que los de su gestión. Por ello, el cuidado que se pone en la información es poco y se da más atención a la operación inmediata y a las metas de corto

plazo. Como la medición implica gastos en medidores y mano de obra, con mucha frecuencia ésta no se lleva a cabo, y se realizan más bien meras aproximaciones o estimaciones. Además, puesto que cada organismo lleva su propia información, el sistema está totalmente descentralizado y no existe uniformidad ni en los criterios ni en los parámetros que deben ser tomados en cuenta. El mismo indicador puede significar cosas diferentes de una ciudad a otra o de un periodo a otro. El resultado es un sistema incompleto y poco confiable.

Al contrario de la atención a la infraestructura, que está orientada a aumentar la oferta, la gestión se dirige a la administración de la demanda. Por medio de la medición, el cobro y las sanciones al no pago, la administración comercial tiene un impacto significativo en la cantidad de agua que consumen los usuarios del servicio.

El análisis de la gestión urbana del agua que realizan los OOAPAS en México se puede hacer observando el control físico (o pérdidas) del agua y la administración comercial del servicio. El control físico tiene que ver con la red de distribución y el estado que guarda la tubería; su objetivo es reducir al mínimo la pérdida de agua en el proceso de distribución y traslado a los consumidores. Por ello, su principal indicador es la proporción de agua que se pierde en el proceso de distribución urbana y que se conoce técnicamente como “agua no contabilizada”. Por otra parte, la administración comercial

del servicio tiene que ver básicamente con lo relacionado con el cobro por el servicio de agua a los usuarios. Esta administración comercial en la mayoría de los casos comprende la medición del consumo de cada usuario, (denominada también micromedición); lectura y registro de los consumos; tarifa de agua; cobro efectivo del consumo, y sanción a quienes no pagan el servicio facturado. En el siguiente apartado se hace una revisión del estado que guarda cada uno de estos indicadores de gestión.

Indicadores de gestión del agua en México

La gestión es el elemento crítico para mitigar el impacto de la sequía en las ciudades, pero requiere de un sistema de información. La información es un requisito clave para la gestión adaptativa del agua. Esta información es el resultado de la medición de cada uno de los pasos claves en el abasto, distribución, uso y consumo, y cobro del ciclo urbano de gestión del agua. Para que dicha información sea útil, se requiere que sea válida, sistemática y confiable. Además, dicha información debe procesarse y analizarse, a fin de que sea útil para la toma de decisiones. Este proceso generalmente implica la construcción de indicadores. En conjunto, dicho sistema de información e indicadores constituye un tablero de control que permite ver los comportamientos del abasto, el control físico de pérdidas de agua y los patrones urbanos de

Cuadro 3. Impacto de la gestión urbana de agua en la sequía. Fuente: elaboración propia.

Componentes de la gestión	Indicadores de la gestión	Impacto en el suministro de agua
Control físico: - Acceso universal - Control de pérdidas	- Nivel de cobertura - Agua no contabilizada	- Debe ser accesible a toda la población - Minimizar las pérdidas físicas de agua en la distribución y eficiencia de la red de distribución
Administración comercial: - Medición de consumos - Tarifa de agua - Cobro de consumo volumétrico	- Porcentaje de medición - Tarifa - Facturación - Cobro efectivo - Recuperación de costos - Sustentabilidad financiera	- Consumo racional y moderado por la medición, tarifa y cobro - Minimizar las pérdidas (derroche) del consumo - Despolitización, autonomía y profesionalización del servicio
- Participación social	- Cultura del agua (patrones de consumo)	- Orientación al cliente/ciudadano

consumo. Sin este tablero de control, los OOAPAS estarán administrando a ciegas el agua.

En México, la construcción de sistemas de información que sirvan a los OOAPAS para emprender la gestión adaptativa del agua, así como para hacer comparaciones del desempeño, está aún a medio camino. Si bien la Conagua ha hecho el esfuerzo de publicar desde 1989 el anuario titulado *La situación del subsector agua potable y alcantarillado* (Conagua, 2012b) con información e indicadores sobre la gestión urbana del agua, dicha información presenta serias limitaciones, pues no se reportan todas las ciudades y muchas no aparecen de forma consistente en estos reportes. Por otro lado, no todos los indicadores son reportados para cada ciudad. De hecho, hay algunas urbes, como por ejemplo Toluca, sobre las que no se ha publicado información en este anuario. Por ello, este reporte incluye sólo una muestra de ciudades que cuentan con información, y se puede inferir que son las que tienen un sistema de información más desarrollado, mientras que las urbes sin información muy probablemente tienen niveles de desempeño aún menos presentables (Pineda-Pablos & Salazar-Adams, 2008). Existen además esfuerzos de recopilación de información de indicadores de gestión de los OOAPAS, pero éstos son aún más limitados que los de la Conagua (Lutz, Salazar-Adams, Montiel, & Haro, 2013).

En este apartado se revisan algunos indicadores de gestión urbana del agua en México que permiten identificar las deficiencias de información que incrementan la vulnerabilidad de las ciudades ante la sequía y constituyen obstáculos ante la necesidad de reducción de consumos para mitigar el impacto de la sequía.

1. *Control de pérdidas.* ¿Cuánta agua se está perdiendo en las redes de las ciudades? Es imposible saberlo a ciencia cierta debido a las dificultades que impone la carencia de micromedición en muchos OOAPAS. Sin embargo, se puede hacer una aproximación al problema a través de la recopilación de información de una muestra de OOAPAS que publica anualmente la Conagua y que,

al no ser una muestra representativa, no necesariamente corresponde al promedio nacional. Sin embargo, resulta útil para hacer una aproximación a la situación de los OOAPAS urbanos sobre este aspecto crítico de la gestión.

El indicador de eficiencia física se obtiene como el cociente del volumen de agua facturada entre el volumen de agua producida (Conagua, 2012a):

$$\text{Eficiencia física} = \frac{\text{Volumen facturado}}{\text{Volumen producido}} \times 100$$

Durante las dos últimas décadas, con base en los indicadores publicados por Conagua entre 1995 y 2012 para localidades con más de 50 mil habitantes, se observa que la media de este indicador no ha tenido mucha variación a lo largo del tiempo, situándose entre 59.3 y 50.6%. Esto significa que, en promedio, casi la mitad del agua que se produce en estos organismos es “agua no contabilizada”; es decir, se pierde por fugas, se consume a través de tomas clandestinas, se consume en tomas que no se miden, o no se registra por errores de medición debido a deficiencias administrativas o de los equipos de medición instalados (figura 5).

Las ciudades de México enfrentan el reto de manejar de forma más adecuada el agua que se consume y hacer más eficientes sus sistemas para reducir la vulnerabilidad, pero para ello deben comenzar por medir los consumos, a fin de poder evaluar el uso del agua e incentivar el ahorro entre los usuarios. Después deben revisar sus tarifas y esquemas de cobranza, con el objeto de incidir en el consumo y obtener recursos para la operación del sistema.

2. *Medición del consumo.* Para poder administrar la demanda se requiere que se midan los consumos de agua. Estudios anteriores señalan que la existencia de medición reduce el consumo de agua entre 20 y 30% (Zetland, 2014). En la ciudad de Boulder, Colorado, EUA, se observó una reducción

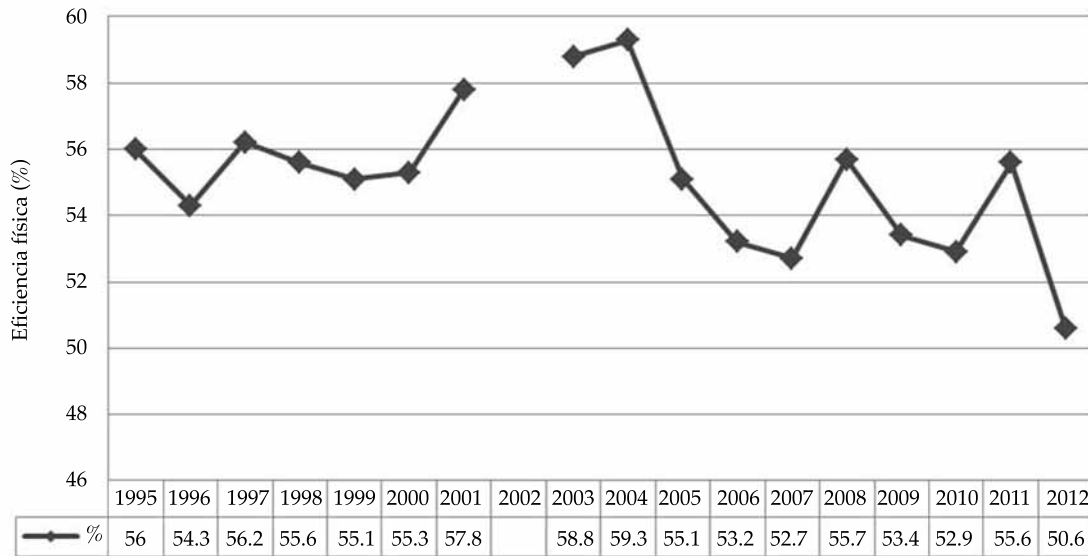


Figura 5. Promedio de eficiencia física en organismos urbanos de agua 1995-2012. Fuente: Conagua, 2012a.

de 36% después de introducir la medición de las tomas (Hanke, 1970). Reducciones similares se reportan también en el estado de California (Pacific Institute, 2014; Tanverakul & Lee, 2013; Maddaus, 2001). En este caso, el porcentaje de micromedición se refiere a la proporción de tomas que cuentan con medidor con respecto al total de tomas administradas por un organismo de agua, y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Porcentaje de macromedición} = \frac{\text{Conexiones que tienen medidor}}{\text{Número total de conexiones}} \times 100$$

La muestra de ciudades de más de 50 000 habitantes reportada por la Conagua apunta que la micromedición en el país no ha mejorado en más de una década y el comportamiento de la medición es diferenciado entre los tipos de usuario. En 2012, el sector con menor medición era el doméstico, siendo que es el mayor consumidor para el caso de usos urbanos. El indicador reportó que 64% de las tomas de este sector tenía medidor, pero sólo 54% del total tenía un medidor funcionando (cuadro 4).

Los datos reportados muestran que los usuarios comerciales e industriales tenían una cobertura de medición de 73 y 87%, respectivamente, pero ésta se reducía a 62 y 78% si sólo se consideran los medidores funcionales. Sin embargo, en las tomas domésticas, la proporción de medición se reduce a 64% con medidor y a 53%, en promedio, de tomas con medidor que funciona. Cabe resaltar que el hecho de que las tomas cuenten con medidor funcionando no necesariamente implica que los consumos sean leídos, registrados, facturados y cobrados. Esto señala que el nivel de medición es bastante bajo en las ciudades mexicanas y no hay información confiable sobre los consumos de agua.

3. *Tarifas y precio promedio.* Una vez medidos los consumos, es necesario contar con tarifas que reflejen de manera efectiva la escasez del agua. Tarifas adecuadas incentivan a los hogares a utilizar menos agua y reparar las fugas al interior de los domicilios, y a la industria y los comercios a mejorar sus procesos y adaptar dispositivos de ahorro.

Cuadro 4. Porcentaje de tomas con medidor 2004-2012. Fuente: Conagua, 2012b.

Año	Tomas domésticas		Tomas comerciales		Tomas industriales	
	Instaladas	Funcionando	Instaladas	Funcionando	Instaladas	Funcionando
2004	69	60	79	70	88	80
2005	71	62	82	72	90	81
2006	66	60	76	69	85	79
2007	65	52	76	63	84	72
2008	60	46	70	55	79	65
2009	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2010	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2011	61	51	78	60	86	77
2012	64	53	73	62	87	78

Cuadro 5. Precio promedio del metro cúbico de agua 2005-2008. Fuente: Conagua 2012b.

Año	Precio promedio en pesos corrientes	Precio promedio en pesos constantes (base 2010 = 100)
2005	5.98	7.43
2006	6.31	7.57
2007	6.17	7.11
2008	6.52	7.16

El *precio promedio* señala la cantidad promedio en pesos en que se vende cada metro cúbico consumido. Este indicador se obtiene dividiendo la recaudación total entre el volumen total recaudado.

Según datos de una muestra de ciudades, entre 2005 y 2008, el precio promedio aumentó en precios corrientes, pero no en pesos constantes. La falta de ajuste de las tarifas con respecto a la inflación estaría entonces desincentivando el ahorro de agua entre los usuarios.

4. *Cobranza efectiva.* Medición y tarifas son importantes, pero no influirán sobre el comportamiento de los consumidores si no se lleva a cabo el cobro por el servicio. La eficiencia comercial se define como la proporción del volumen de agua recaudado entre el volumen facturado:

$$\text{Eficiencia comercial} = \frac{\text{Volumen recaudado}}{\text{Volumen facturado}} \times 100$$

Este indicador permite evaluar la capacidad de un organismo para recaudar el pago de los usuarios por el servicio que se les provee. Puede observarse en la figura 6 que este indicador se ha mantenido en el periodo de 2004 a 2012 entre 68.8 y 77.3%.

La baja cobranza no incentiva el ahorro de agua por parte del usuario, lo cual genera un incremento en los costos del organismo y un deterioro de los recursos hídricos de los que se abastece, generando una situación de vulnerabilidad de las ciudades ante la sequía. Además, los OOAPAS necesitan contar con recursos para llevar a cabo las inversiones necesarias para reducir la vulnerabilidad, pero la baja cobranza impone restricciones en este aspecto.

Existen otros indicadores que se deben tomar en cuenta en la gestión adaptativa del agua, como el porcentaje de tratamiento y reúso de aguas residuales urbanas, pero por falta de espacio prescindimos aquí de ellos, pues con los indicadores señalados se tiene una buena

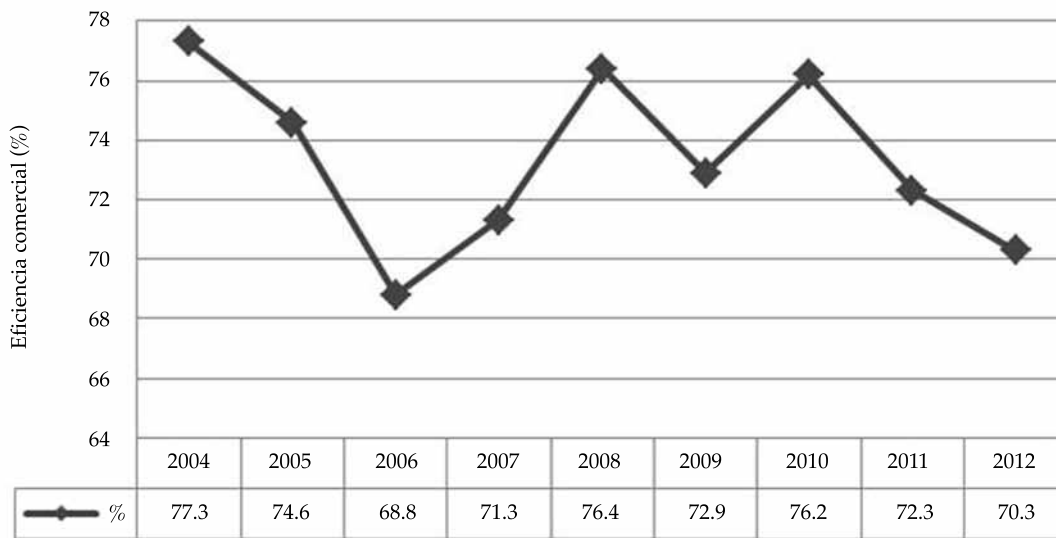


Figura 6. Eficiencia comercial 2004-2012. Fuente: Conagua (2012b).

aproximación a la situación de la gestión urbana del agua en México y las deficiencias de información que existen para adoptar políticas de medición de la sequía.

Patrones de consumo

Por último, como parte del modelo de análisis del impacto de la sequía en las ciudades, están los patrones de consumo. El propósito de la gestión es precisamente administrar e influir en los patrones de consumo de la ciudad. Los patrones de consumo se refieren a la cantidad de agua a que tienen acceso los usuarios y las características que adquiere dicho consumo, como si se utiliza para el consumo humano directo (en vez de recurrir a la compra de agua embotellada), o si sólo se emplea en el aseo personal y las tareas de limpieza de los hogares, así como en el riego de jardines. El elemento esencial es qué tanto se consume y si se toman en cuenta las condiciones de sequía y del medio ambiente en los patrones de consumo. El indicador clave es el consumo per cápita. En el ámbito internacional, este consumo varía mucho de un país a otro, y de una ciudad a

otra. En México se ha manejado que el volumen necesario de agua es de alrededor de 150 litros por persona por día (Hernández-García, 2015). Sin embargo, la dotación por persona por día muestra gran variación y puede ir, por ejemplo, desde 135 litros en Naucalpan hasta 415 litros en Chihuahua (Torregrosa, 2015).

Asimismo, en los patrones de consumo se puede considerar también la calidad del servicio que reciben los usuarios. Esta calidad incluye principalmente la accesibilidad o cobertura del servicio de agua a todos los habitantes de la ciudad o demarcación; así como la continuidad, confiabilidad, presión, y potabilidad o calidad química biológica del agua para consumo humano. En general, el servicio urbano de agua de calidad incluye un suministro constante de agua 24 horas diarias, siete días de la semana, que no tenga suspensiones o cortes inesperados durante el año; con presión suficiente para que suba a la regadera y permita ducharse sin contratiempos y, en el mejor de los casos, que el agua sea efectivamente potable (es decir, apta para consumo humano, que cumpla con los parámetros de la norma oficial mexicana), y sea agradable al gusto (sin olor, color o sabor). Ésta

es la parte en lo que se refiere a la prestación del servicio por parte del OOAPAS.

Por otro lado, parte concomitante del patrón de consumo es también el buen uso y consumo que el ciudadano hace del agua y lo que se denomina en México "cultura del agua" (Conagua, 2014). Esto implica principalmente que el usuario o consumidor no incurra en su desperdicio, y fomente su reúso y conservación.

De este modo, los OOAPAS deberán asegurarse que todos tengan acceso a agua suficiente para sus necesidades básicas; en cuanto al usuario, también se espera que reduzca y modere dichos consumos, a fin de ajustarse y adaptarse a los requerimientos del entorno, ya sea de sequía o reducción de la huella ecológica en la naturaleza, y preservación del medio ambiente. La capacidad adaptativa se entiende como un proceso dinámico basado en el aprendizaje social entre y dentro de los OOAPAS y sus comunidades, y no una mera condición estática o conjunto de atributos o resultados (Wilder *et al.*, 2010). El servicio de agua de calidad implica entonces un delicado equilibrio entre el nivel que permite y apoya una vida humana digna y fomenta las actividades productivas, por un lado, y por otro adapta y reduce sus consumos al mínimo, a fin de que se adapte al medio ambiente, y se fomente la sustentabilidad.

Discusión

El impacto de la sequía sobre el servicio de agua para consumo humano es el resultado combinado del evento natural (menos lluvia que la esperada), así como de la intermediación que llevan a cabo tanto la infraestructura hidráulica como la gestión del consumo y, no menos importante, de los patrones de consumo y uso racional del recurso para satisfacer las necesidades y efectuar las actividades humanas. Como se ha mencionado, lo ideal sería que el impacto de la sequía fuera nulo, sin embargo esta meta presenta limitaciones de dos tipos: uno, la información necesaria para determinar la magnitud y el momento de ocurrencia del impacto; dos,

los recursos necesarios para contrarrestar el impacto. Dadas las limitaciones de información, el problema adquiere un carácter de gestión de riesgo, pues si bien no se puede predecir la ocurrencia de la sequía ni de los efectos, el estudio de los datos meteorológicos disponibles sobre episodios anteriores puede servir para aproximar la probabilidad de ocurrencia.

Asimismo, los datos existentes (en caso de que los haya) sobre los impactos de sequías previas pueden utilizarse para estimar el costo (magnitud) de los impactos previamente ocurridos, que junto con la distribución de probabilidad permitiría obtener un valor esperado del impacto, que teóricamente podría cubrirse a través de un fondo o por medio de pago de primas de seguros. Esto hace más visible la importancia de los sistemas de información para la gestión de la sequía. Como se ha visto, existen grandes deficiencias en el registro y manejo de la información de los OOAPAS, las cuales repercuten a su vez en deficiencias en el manejo de la demanda y gestión financiera de los sistemas de agua potable, y provocan que el posible impacto de las sequías sea aún más costoso para las ciudades y no se cuente con los recursos para hacer frente a estos eventos.

Conclusiones

Una vez revisado el modelo de impacto de la sequía en las ciudades y el papel crítico que tiene la información en México, se tratará de dar respuesta resumida a las preguntas planteadas al inicio de este trabajo.

¿Cómo se da el impacto de las sequías en los servicios urbanos de agua? De acuerdo con el modelo propuesto, el impacto de la sequía en los servicios urbanos de agua no es directo ni inmediato, sino que está mediado por la infraestructura hidráulica existente y por la gestión de los patrones de consumo por medio del control de pérdidas, medición de los consumos, tarifa o precio, y cobro efectivo del agua. En este impacto, la infraestructura juega un papel de almacenamiento y sirve para demorar o retrasar los impactos. La gestión, por su parte,

es el elemento crítico para adaptar el consumo o demanda al nivel de disponibilidad que presenta la sequía.

¿Qué tipo de respuesta deben dar los organismos operadores de agua potable, alcantarillado y saneamiento? Tradicionalmente en México se ha prestado más atención a la infraestructura y a lo que denominamos el enfoque de oferta. Esto obedece a que infraestructura y derechos de agua tienen un marco institucional centralizado en el gobierno federal (que tiene mayor capacidad técnica y financiera), y a que para los organismos operadores, la construcción de infraestructura se resuelve más fácilmente con apoyos de programas federales y representa un activo político más redituable en los breves periodos de la gestión local del agua. Sin embargo, es la gestión de la demanda la respuesta que deben dar los OOAPAS, a fin de mitigar la sequía de manera más efectiva. La gestión adaptativa del agua requiere que la demanda o consumo de agua se reduzca, a fin de compensar la baja en la disponibilidad que presenta la sequía meteorológica. Esta gestión adaptativa se realiza principalmente por medio del control de pérdidas, medición de los consumos, precio o tarifa, y cobro efectivo. Este tipo de medidas, si bien requieren de una mayor inversión de tiempo y trabajo humano del personal, así como de mayor planeación y continuidad de las políticas, significa un costo significativamente menor no sólo financiero, sino también ambiental y de conflicto social, que el que requieren las nuevas obras de infraestructura y de aumento del abasto de agua.

¿Cuál es el principal obstáculo para enfrentar y mitigar los efectos de la sequía en las ciudades mexicanas? El principal obstáculo para que los OOAPAS enfrenten y mitiguen la sequía es la carencia de un sistema de información y de seguimiento de indicadores de pérdidas de agua, medición de consumos, tarifas recuperadoras de costos y cobro efectivo del servicio. Una proporción importante de OOAPAS no cuenta con control de pérdidas, ni con micromedición del consumo, ni con cobro efectivo de los servicios. Avanzar en la información y mejoramiento de

estas áreas de oportunidad constituye el nodo crítico para que las ciudades enfrenten de manera más efectiva y sustentable las sequías recurrentes. A este tipo de gestión se le puede denominar gestión adaptativa del agua.

En suma, en México, los OOAPAS tienden a favorecer la estrategia de oferta de infraestructura y aumento de abasto de agua, más que el recurso a la gestión adaptativa de la demanda y el consumo. Esta tendencia se explica principalmente porque los OOAPAS carecen de la información requerida para llevar a cabo la gestión adaptativa de los servicios de agua y, en cambio, tienen mayores incentivos financieros y políticos para la construcción de infraestructura. Para que las ciudades mitiguen de manera efectiva los efectos de la sequía, se requiere que los OOAPAS mejoren su capacidad institucional y de manejo de información, a fin de que puedan desarrollar la gestión adaptativa de los servicios urbanos de agua.

Agradecimientos

Este trabajo es resultado de un proyecto de investigación financiado por la Lloyd's Register Foundation, fundación benéfica que ayuda a proteger la vida y propiedad a través de la educación relacionada con la ingeniería, participación pública e investigación aplicada. Para más información véase www.lrfoundation.org.uk; con apoyo del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI) CRN3056, que es apoyado por la US National Science Foundation (Subvención GEO-1128040) y por IAI SGP-CRA #005 (Subvención Núm. GEO-1138881); así como con apoyo del Conacyt, a través del proyecto CB-2013/223780 titulado "Vulnerabilidad hídrica y formulación de políticas adaptativas para la sustentabilidad urbana y la gestión por cuencas en la región del Golfo de California".

Referencias

- Carabias, J., & Landa, R. (2005). *Agua, medio ambiente y sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México, Fundación Gonzalo Arronte.
- Conagua (2011). *Agenda del Agua 2030*. México, DF: Conagua. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Temas/AgendadelAgua2030.pdf>.

- Conagua (2012a). *Manual de incremento de eficiencia física, hidráulica y energética en sistemas de agua potable*. México, DF: Comisión Nacional del Agua.
- Conagua (2012b). *Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento*. México, DF: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Conagua (4 de noviembre de 2014). *Programa de Cultura del Agua*. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=6&n2=200&n3=200>.
- DOF (22 de noviembre de 2012). Lineamientos que establecen los criterios y mecanismos para emitir acuerdos de carácter general en situaciones de emergencia por la ocurrencia de sequía, así como las medidas preventivas y de mitigación, que podrán implementar los usuarios de las aguas nacionales para lograr un uso eficiente del agua durante sequía (pp. 90-95). *Diario Oficial de la Federación*.
- Estrela-Monreal, T. (2006). Gestión de sequías en España. *Ingeniería y Territorio*, 74, 52-57.
- Hanke, S. (1970). Demand for Water Under Dynamic Conditions. *Water Resources Research*, 6(5), 1253-1261.
- Harvey, D. (1996). *Justice, Nature and the Geography of Difference*. Oxford: Blackwell.
- Hernández-Garcíadiego, R. (2015). Favorecer el ciclo hidrológico en el siglo XXI. *H2O Gestión del Agua*, 4, 26-31.
- Jardines-Moreno, J. L. (2008). La infraestructura hidráulica municipal y la participación en su creación y operación de los gobiernos federal y estatal (pp. 89-109). En: *El agua potable en México. Historia reciente, actores, procesos y propuestas*. Olivares, R., & Sandoval, R. (eds.). México, DF: Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México.
- Kaica, M. (2005). *City of Flows. Modernity, Nature and the City*. New York: Routledge.
- Karamouz, M., Moridi, A., & Nazif, S. (2010). *Urban Water Engineering and Management*. Boca Ratón, USA: CRC Press.
- Lutz, A. N., Salazar-Adams, A., Montiel, A., & Haro, N. (2013). *Base de datos. Agua potable en México*. Hermosillo, México: El Colegio de Sonora.
- Maddaus, L. (2001). *Effects of Metering on Residential Water Demand for Davis, California*. Sacramento, USA: Brown and Caldwell.
- Marcos-Valiente, O. (julio de 2001). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones geográficas*, 26, 59-80.
- Marsalek, J., Jiménez-Cisneros, B., Karamouz, M., Per-Arne, M., Goldenfum, J., & Chocat, B. (2008). *Urban Water Cycle Processes & Interactions*. (U. & IHP, Ed.) Paris: Taylor & Francis.
- Moreno-Vázquez, J. L., Marañón-Pimentel, B., & López-Córdova, D. (2010). Los acuíferos sobreexplotados: origen, crisis y gestión social (pp. 79-115). En: *El agua en México: cauces y encauces*. Jiménez-Cisneros, B., Torregrosa y Armentia, M., & Aboites-Aguilar, L. (eds.). México, DF: Academia Mexicana de Ciencias.
- National Drought Mitigation Center (24 de junio de 2015). *What is Drought?* National Drought Mitigation Center. Recovered from <http://drought.unl.edu/>
- National Geographic (julio de 2015). *Droughts 101*. Obtenido de Nat Geo 101. Recuperado de <http://video.nationalgeographic.com/video/101-videos/droughts>.
- OMM (2015). *Integrated Drought Management Program*. Organización Meteorológica Mundial. Recuperado el 24 de junio de 2015, de Concept Note: http://www.idmp.info/documents/IDMP_Concept_Note.pdf.
- Ostrom, E. (2007). Institutional Rational Choice. An Assessment of the Institutional Analysis and Development Framework (pp. 21-64). En: *Theories of the Policy Process* Sabatier, P. A. (ed.). Cambridge, USA: Westview Press.
- Pacific Institute (2014). *Metering in California*. Recuperado de <http://pacinst.org/wp-content/uploads/sites/21/2014/09/pacinst-metering-in-california.pdf>.
- Pineda-Pablos, N., & Salazar-Adams, A. (2008). De las juntas federales a las empresas de agua: la evolución institucional de los servicios urbanos de agua en México 1948-2008 (pp. 55-75). En: *El agua potable en México. Historia reciente, actores, procesos y propuestas* Olivares, R., & Sandoval, R. México, DF: Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México.
- Pineda-Pablos, N., Salazar-Adams, A., & Buenfil-Rodríguez, M. (2010). Para dar de beber a las ciudades mexicanas: el reto de la gestión eficiente del agua ante el crecimiento urbano (pp. 117-140). En: *El agua en México: cauces y encauces*. Jiménez-Cisneros, B., Torregrosa y Armentia, M., & Aboites-Aguilar, L. (eds.). México, DF: Academia Mexicana de Ciencias.
- SMN (2010). *Climatología: monitor de sequía*. México, DF: Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado en agosto de 2014 de <http://smn.cna.gob.mx/>.
- SMN (30 de julio de 2015). Comunicación personal. México, DF: Servicio Meteorológico Nacional.
- Tanverakul, S. A., & Lee, J. (2013). Residential Water Demand Analysis Due to Water Meter Installation in California (pp. 936-945). In: *World Environmental and Water Resources Congress 2013: Showcasing the Future*. California: American Society of Civil Engineers.
- Torregrosa, M. L. (2015). Urban Water in Mexico (pp. 384-411). En: *Urban Water Challenges in the Americas*. IN Sciences. México, DF: IANAS.
- Wester, P., Rap, E., & Vargas-Velázquez, S. (2009). The Hydraulic Mission and the Mexican Hydrocracy: Regulating and Reforming the Flows of Water and Power. *Water Alternatives*, 2(3), 395-415.
- Wilder, M., Scott, C. A., Pineda-Pablos, N., Varady, R., Garfin, G. M., & McEvoy, J. (2010). Adapting Across Boundaries: Climate Change, Social Learning, and Resilience in the US-Mexico Border Region. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(4), 917-928.
- Zetland, D. (2014). *Living with Water Scarcity*. Amsterdam: Aguanomics Press.

Dirección institucional de los autores

Dr. Nicolás Pineda Pablos

Dr. Alejandro Salazar Adams

El Colegio de Sonora

Centro de Estudios en Gobierno y Asuntos Públicos

Ave. Obregón 54, Centro

83000 Hermosillo, Sonora, MÉXICO

Teléfono: +52 (662) 2595 300, extensiones 2246 y 2287

npineda@colson.edu.mx

asalazar@colson.edu.mx