

ARTÍCULO

DIAGNÓSTICO RESUMIDO DE LOS PROBLEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA Y DE INUNDACIONES EN EL VALLE DE MÉXICO

Ramón Domínguez Mora
Investigador en el Instituto de Ingeniería
UNAM

Diagnóstico resumido de los problemas de abastecimiento de agua y de inundaciones en el Valle de México

Resumen: El Valle de México se ubica a 2240 metros sobre el nivel del mar (msnm), en una cuenca originalmente cerrada, la cual fue artificialmente abierta a finales del siglo XVII para evitar inundaciones. En el Valle se asienta la zona urbana más grande del país, lo que provoca una creciente dificultad para satisfacer la demanda de agua potable, así como para desalojar las aguas pluviales y evitar inundaciones.

En este artículo se presenta primeramente un diagnóstico general sobre el abastecimiento de agua, en el que se destaca el balance hídrico desde varios puntos de vista, para derivar de él los principales problemas, así como las medidas fundamentales que pueden conducir a su solución. En la segunda parte se aborda el problema de las inundaciones y se proponen medidas para mitigarlas.

Introducción

El Valle de México tiene una extensión de 9600 km² y se ubica a 2240 msnm. Originalmente era una cuenca cerrada, la cual fue artificialmente abierta a finales del siglo XVII para evitar inundaciones. En el Valle se asienta la zona urbana más grande del país, con 19 millones de habitantes, que concentra gran parte de la actividad industrial, comercial y política del país. Estos factores influyen en la problemática del agua, con una creciente dificultad para satisfacer la demanda, así como un sistema de gran complejidad para desalojar las aguas negras y las pluviales. Ambos aspectos llevan a vivir en una ciudad con problemas severos, ocasionados por la sobreexplotación del acuífero, el hundimiento del terreno y la falta de agua en cantidad y calidad apropiadas.

Diagnóstico de Agua Potable

En el Valle de México se utilizan alrededor de 77.0 m³/s de agua de primer uso, de los cuales el 71% se extrae del subsuelo; 21% proviene del sistema Cutzamala; 6% del Lerma, y el 2% de manantiales y escurrimientos superficiales propios del Valle. De esta cantidad, aproximadamente 13 m³/s se usan directamente en el riego. Los 64.0 m³/s restantes se distribuyen a través de la red y equivalen a proporcionar 290 L/hab/d a 19 millones de habitantes.

Del total de agua de primer uso, suministrada a través de la red para uso público urbano, al restar las pérdidas por fugas (24.6 m³/s) y el consumo en comercios, industrias y servicios municipales (9 m³/s), resulta una dotación de 138 L/hab/d, que comparada con lo recomendado

por la Organización Panamericana de la Salud, que va de 150 a 170 L/hab/d, parece razonable. Como sólo poco más del 5% de la población emplea consumos más altos que los recomendados por la OPS, se sugiere que las campañas para inducir el ahorro del agua tendrían que dirigirse a este sector específico de la población.

Principales efectos por la elevada demanda de agua

El principal efecto por la alta demanda de agua en la ciudad, es la sobreexplotación del acuífero, la cual se estima en 23.5 m³/s. Como consecuencia de este fenómeno, el Valle de México sufre hundimientos diferenciales y, aunque no existen cifras confiables sobre los costos que éstos originan, es fácil deducir que son enormes, si se considera algunos ejemplos:

El hundimiento provoca que las redes de agua potable y de drenaje sufran fallas frecuentes, de tal manera que se estima que más de una tercera parte del agua potable que se introduce a la red se desperdicia en fugas, en tanto que para evitar las inundaciones ocasionadas por la falta de pendiente, ha sido necesario construir, operar y ampliar el Sistema de Drenaje Profundo, así como costosos sistemas de bombeo que permiten elevar el agua hasta los conductos principales.

Los costos para corregir fallas en los edificios de la ciudad también son cuantiosos. Tan sólo en la Catedral de la Ciudad de México, hasta el año 2000 se invirtieron 32 500 000 dólares americanos para renivelarla (Santoyo y Ovando, 2002).

Las inversiones para renivelar periódicamente las vías del Metro son cada vez más importantes. Se corre el riesgo de que en algunas partes se sobrepase el límite de lo que se considera como mantenimiento y sean necesarias reparaciones mayores.

Balances de agua en el Valle

En los siguientes párrafos se resume el balance del agua en el Valle, considerando tres enfoques: el hidrológico que muestra el destino del agua de lluvia; el de las fuentes de suministro, y el de los usos del agua.

1. Destino del agua de lluvia. Este balance muestra que si bien en promedio llueven alrededor de 220 m³/s, la mayoría de la precipitación regresa a la atmósfera en forma de evapotranspiración y que el escurrimiento superficial representa una fracción muy pequeña, de la cual sólo una tercera parte es aprovechable debido a que la mayoría se produce en el área urbana y se drena inmediatamente junto con las aguas negras.

2. Fuentes de suministro. El balance relativo a las fuentes muestra que la extracción de agua subterránea supera en unos 23.5 m³/s a la recarga y que el agua superficial aprovechable ya se utiliza en su mayoría (solamente puede aumentarse un poco la extracción en el río Magdalena, en el Distrito Federal, y otro poco en la Presa Madín y Presa Guadalupe en el Estado de México, pero entre ambas no se llega a 2 m³/s).
3. Usos del agua. Como ya se comentó, no parece factible una reducción importante en los usos domésticos ni en comercio, industria y servicios; en cambio resulta atractivo reducir la demanda de agua potable para riego y disminuir las fugas.

Las principales “soluciones”

Dada la magnitud del problema, se deben realizar acciones conjuntas entre el Distrito Federal y el Estado de México. Las que considero más importantes, son: reducir las fugas de la red de distribución, eliminar el empleo de agua de primer uso para riego y reutilizar las descargas de agua residual.

Las dos primeras se deducen de la observación del balance relativo a los usos actuales del agua y la tercera al considerar que las descargas de aguas residuales salen del valle con un régimen casi uniforme y se utilizan fundamentalmente en riego.

A continuación se hace una breve descripción de cada una de ellas:

1. Reducción de fugas. El porcentaje actual de fugas (37%) en redes municipales representa una pérdida de 23.7 m³/s de agua, de tal forma que si se reducen en 10% se podrían recuperar 6.4 m³/s. Para ello se requiere sectorizar la red, controlar presiones y reparar selectivamente tuberías y conexiones. Esto implica programas tardados y “latosos” pero relativamente baratos, para realizar mediciones, así como instrumentar una coordinación eficiente entre los operadores de la red. Es necesario recalcar que la sectorización de la red es indispensable, debido a que si no se hace, cualquier otra medida (incrementar el abastecimiento, reducir la demanda, reparar fugas, etcétera) puede derivar en un incremento en las fugas en el sistema, que las haría muy ineficientes o de plano inútiles, como se ha visto ya en algunos casos.
2. Intercambio del agua del subsuelo que se utiliza en riego por agua tratada. Muchas veces se piensa en el Valle de México como un área plenamente urbana, sin embargo, dentro del Valle existen aún zonas agrícolas: Chalco, Valle de Chalco, Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, las zonas conurbadas de Tultitlán Ecatepec, Jaltenco, Nextlalpan, Melchor Ocampo, al nororiente de Cuautitlán, y Teoloyucan. La

demanda para riego es del orden de 13 m³/s (17% del total de agua que se usa). Se podría planear una adecuada sustitución de aguas de primer uso (que proviene de pozos), por las de reúso adecuadamente tratadas para el tipo de cultivos de la zona.

3. Reúso. En el Valle de México se practica el reúso desde hace tiempo para riego de áreas verdes, llenado de lagos recreativos, lavado de coches e industria, etcétera. La mayoría de estas demandas de agua de reúso son ya abastecidas, por lo que su potencial de crecimiento es ya limitado. Por otro lado, dada la magnitud de las descargas de agua residual fuera del Valle de México (alrededor de 40 m³/s), la principal opción de interés futuro, por su magnitud, es su tratamiento para hacer posible el consumo humano sin riesgos para la salud, ya sea en forma directa o a través de su almacenamiento previo en el acuífero. En ambos casos el costo del tratamiento es el mismo, pero para el segundo se debe añadir el costo de inyectar y extraer el agua del acuífero, aunque con la ventaja de contar con un nivel adicional de depuración y de dilución natural que hacen de esta opción una alternativa más segura.

La tecnología para transformar un agua residual (negra) en agua para consumo humano existe, pero se aplica en aguas netamente domésticas, es decir donde no hay descargas industriales. A pesar de ello, por la escasa experiencia de este tipo de proyectos a nivel mundial, es necesario efectuar pruebas de tratabilidad a nivel laboratorio y piloto, usando agua de la Ciudad de México, con el objeto de obtener criterios de diseño apropiados a su calidad (dadas las diferencias entre las aguas negras de diferentes países o regiones), así como definir cómo vigilar y certificar la calidad potable del agua en función de los contaminantes de la localidad.

Otra opción de reúso o bien, para su inyección al acuífero de la Ciudad de México, es traer agua del acuífero del Valle de Tula, el cual se recarga artificialmente con al menos 25 m³/s, provenientes de las aguas negras de la Ciudad de México (BGS-CNA, 1998). En este caso, parte del tratamiento lo lleva a cabo la naturaleza durante el recorrido del agua a través del suelo.

4. Otras acciones. Hay también otras acciones que considero no repercuten significativamente en la reducción del problema del agua en el Valle y que antes de promoverlas requieren un cuidadoso análisis costo-beneficio. Algunas de ellas son las campañas para el ahorro de agua para la ciudadanía y la cosecha de agua de lluvia.

Antecedentes del diagnóstico respecto al drenaje y el control de inundaciones

En la época prehispánica, la zona baja del Valle de México estaba cubierta por varios lagos, entre los que destaca el de Texcoco. Al ser ocupada esta zona por la urbanización, fue necesario drenar la cuenca que originalmente era cerrada para evitar su inundación.

Hasta ahora, el proceso histórico de la relación entre el crecimiento urbano y la necesidad de construir obras de protección contra inundaciones, ha consistido en que primero se amplía el área urbana, al poco tiempo se produce la inundación y después se realizan las obras indispensables para evitarla. Así, Netzahualcóyotl construyó el albaradón que llevó su nombre, para evitar que las aguas salobres del lago de Texcoco penetraran en la Ciudad. Después de las inundaciones de los años 1604 y 1629 a 1635, en las que murieron 30,000 personas y emigraron otras tantas, se inició la construcción del túnel de Nochistongo (que luego se convirtió en tajo), el cual se terminó hasta 1798. Esa obra constituyó la primera salida artificial para drenar las aguas de la cuenca del Valle. En los años 1819 y 1856 ocurrieron nuevamente grandes inundaciones, pero sólo en 1856 se empezó a construir el Gran Canal, que descargó por el primer túnel de Tequixquiac. Este fue ampliado en los años treinta del siglo XX y se requirió un segundo túnel para llegar a una capacidad de descarga de 90 m³/s.

A partir de 1940 el crecimiento de la población fue explosivo y aunque desde 1970 la tasa de incremento ha disminuido, no sucedió lo mismo con el área urbanizada, que ha seguido aumentando con tasas altas debido a la disminución del índice de ocupación (habitantes por vivienda), que pasó de 5 a 4.

Para satisfacer la demanda de agua de la creciente población, ha sido necesario sobreexplotar el acuífero, motivo por el cual se redujo la capacidad de los conductos de drenaje, particularmente la del Gran Canal, y es necesario bombear el agua de las partes bajas de la ciudad a los principales conductos como el propio Gran Canal y los ríos Churubusco y de La Piedad. Debido a la pérdida de capacidad de conducción, la ciudad sufrió inundaciones catastróficas como las de los años cincuenta, que inundaron las calles del centro de la ciudad.

Ante estos problemas se decidió construir el Sistema de Drenaje Profundo que, en su concepción original, constaba de un Emisor Central, de 50 km de longitud y dos interceptores: el Central y el Oriente, en los que se captan los escurrimientos que van de poniente a oriente para descargarlos por el Emisor.

Problemática actual

Como ya se dijo, el crecimiento del área urbanizada (debido al cual los ingresos al sistema

de drenaje continúan incrementándose) y los hundimientos (que reducen la capacidad de conducción de dicho sistema) han complicado la situación de la ciudad de México. En particular, desde que se inauguró el Sistema de Drenaje Profundo, en 1975, la capacidad relativa del drenaje general de la Ciudad ha disminuido paulatinamente por los siguientes motivos:

1. La capacidad total de descarga ha decrecido de manera significativa. El Gran Canal, que todavía en 1988 condujo un gasto máximo instantáneo de $68 \text{ m}^3/\text{s}$, en el año 2000 sólo pudo descargar $8 \text{ m}^3/\text{s}$, y el Emisor Central se ha deteriorado, lo que aumentó su coeficiente de rugosidad y redujo su capacidad de 160 a unos $120 \text{ m}^3/\text{s}$.
2. Los escurrimientos que llegan al Sistema se han incrementado por el crecimiento de la mancha urbana y el mejoramiento de la infraestructura de captación. En particular, el Interceptor Oriente del Sistema de Drenaje Profundo ha aumentado su área de aportación al extenderse hacia el sur-oriente con los Interceptores Oriente-Sur y Oriente-Oriente.
3. Ante el incremento de los ingresos y la disminución de las capacidades de descarga y almacenamiento, se ha recurrido en exceso al Sistema de Drenaje Profundo como alivio para todas las demás partes del Sistema Principal, lo que ha provocado que el Sistema de Drenaje Profundo trabaje con carga varias veces por año, como ocurrió el 15 de junio de 2000, fecha en que se presentó una inundación en la Unidad Ejército de Oriente, debido a que derramó la lumbrera 3 del Interceptor Oriente-Oriente.

Es claro entonces que la ciudad de México está sujeta a un riesgo muy alto de sufrir inundaciones graves. Por ello, fue necesario plantear algunas medidas dirigidas a disminuir significativamente dicho riesgo, clasificadas en medidas urgentes, medidas a mediano plazo y medidas a largo plazo, todas las cuales ya han sido estudiadas conceptualmente y unas cuantas se han realizado recientemente.

Medidas para reducir el riesgo de inundaciones

Para realizar la inspección del Emisor Central e iniciar las obras de reparación, fue necesario construir urgentemente una planta de bombeo en el kilómetro 11+600 del Gran Canal y otra en el vaso del Cristo, así como el cierre de las captaciones del Sistema de Drenaje Profundo.

La planta de bombeo en el kilómetro 11+600 del Gran Canal permite que por esa sección puedan conducirse hacia el norte alrededor de $20 \text{ m}^3/\text{s}$, en lugar de los menos de 10 que podían pasar antes.

La planta de bombeo del Vaso El Cristo permite derivar, en la época de estiaje, el agua de este vaso al Emisor Poniente, sin necesidad de almacenarla y provocar problemas sanitarios.

Algunas compuertas de las captaciones del Sistema de Drenaje Profundo no cerraban herméticamente, por lo que fue necesario rehabilitarlas para que durante la inspección el agua no se filtre hacia el Sistema Profundo.

Obras Inmediatas para Mejorar el Sistema de Drenaje

En adición a las obras necesarias para la inspección del Emisor Central, se recomendó realizar algunas obras de bajo costo, con las cuales se puede mejorar la operación de todo el sistema en un plazo inmediato. Dentro de ellas, destacan: planta de bombeo Canal de Sales (reequipamiento en la condición actual), rectificación del Dren General del Valle en el tramo Xochiaca-Casa Colorada, retiro de la Estructura “Cola de Pato” y sobreelevación de las compuertas y muros en la planta de bombeo Lago.

El reequipamiento de la planta de bombeo Canal de Sales permitirá contar con una capacidad de descarga al norte de la Sierra de Guadalupe de 17 m³/s, sin más inversión que la de la compra de las bombas, las cuales podrán desmontarse y usarse en cualquier otro sitio que se requieran.

La rectificación del Dren General permitirá reducir las pérdidas en ese tramo, aumentando la capacidad de conducción. Junto con la sobreelevación de las compuertas y muros de la planta Lago, permitirá también incrementar la capacidad de regulación en los lagos Churubusco y Regulación Horaria.

Obras necesarias para mejorar el funcionamiento e incrementar la capacidad de desalojo del Sistema de Drenaje, en el mediano plazo (del orden de 2 años)

Dentro de estas obras destacan: La planta de bombeo Casa Colorada Profunda (primera etapa 40 m³/s) y descarga de la Laguna hacia el Dren General del Valle; el túnel Gran Canal con aproximadamente de 10 km de longitud, que formará parte del Emisor Oriente; la planta de bombeo Caracol (primera etapa 40 m³/s); el túnel Río de la Compañía, incluyendo las captaciones y la planta de bombeo La Caldera, y la construcción de 7 presas en las cuencas de los Ríos San Francisco y San Rafael.

Estas obras permitirán, en un plazo de unos dos años, incrementar la capacidad de desalojo del sistema en 80 m³/s y la de almacenamiento para la regulación de las avenidas, en más de un millón de m³. A la fecha se terminó la construcción del el túnel Río de la Compañía, las captaciones y la planta de bombeo La Caldera, pero no se ha concluido el túnel Gran Canal, ni

la planta de bombeo Caracol y no se ha iniciado la construcción de las 7 presas ni la planta de bombeo Casa Colorada.

Obras a largo Plazo

Las obras descritas permiten reducir el riesgo de inundaciones generalizadas en el Valle; sin embargo, para recuperar una capacidad similar a la que se tenía en 1975 (cuando se inauguró el Emisor Central), se ha propuesto la realización de las siguientes obras principales:

1. El túnel Emisor del Oriente, de 64 km, con un diámetro de 7.0 m. Esta obra constituye la columna vertebral de la solución a largo plazo del Sistema de Drenaje y el control de inundaciones.
2. El túnel Río de la Compañía (segunda etapa), de la Caldera a Casa Colorada.
3. La revisión y la rectificación de estrangulamientos en los ríos El Salto y El Salado, Estado de Hidalgo.
4. El túnel Canal General.
5. El segundo Túnel del Emisor del Poniente.

En diversas reuniones con los técnicos del Sistema de Aguas de la Ciudad de México y el gobierno del Estado de México, se ha llegado a un consenso sobre la utilidad de construir estas obras; sin embargo, hace falta concluir los estudios en proceso que ha contratado el Fideicomiso 1928 para complementar y programar el plan de largo plazo.

Problemas locales

Además de los problemas vinculados al Sistema Principal de Drenaje y Control de las Avenidas, existe una gran cantidad de problemas locales que pueden agruparse en los siguientes dos grupos:

1. Problemas derivados de lluvias intensas, aunque de corta duración, que producen flujos violentos, acompañados de lodo, piedras y escombros, en las barrancas del poniente de la Ciudad. Cuando las casas están construidas en los taludes de las barrancas o bien obstruyen el cauce, estas lluvias ponen en riesgo las vidas de quienes las habitan.
2. Los encharcamientos. Este tipo de problemas son probablemente los más sensibles para la población, ya que ocurren con frecuencia y afectan de manera directa la vida productiva cotidiana. Se producen sobre todo en la parte baja de las barrancas del

ponente de la ciudad, aproximadamente entre las avenidas Periférico e Insurgentes, debido a que la pendiente natural del terreno se reduce en forma notable. También son comunes en los pasos a desnivel de las vialidades.

Estudios recomendados (conclusión)

Dada la importancia del problema de las inundaciones en el Valle de México, es necesario definir un programa de estudios que permita mejorar las herramientas disponibles para el diseño de las soluciones. A continuación se mencionan los que a mi juicio son más necesarios.

Los estudios que se realicen deberán incluir una serie de mediciones que les den sustento. Las principales son:

1. Lluvias. El sistema de medición de lluvias en tiempo real con que cuenta el SACM es muy completo, comparado con lo que existe en otros lados, inclusive a nivel mundial. Hace falta, sin embargo, añadir varios puntos de medición en la parte del Estado de México y, sobre todo, modernizar el sistema de enlaces para garantizar la confiabilidad del sistema.
2. Esguimientos y niveles del agua en conductos principales. Mantener las mediciones en cuencas experimentales, descargas a interceptores, niveles en presas y en el Sistema de Drenaje Profundo, etcétera.
3. Nivelaciones. Se requiere medir los hundimientos regionales, nivelar los perfiles de los bordos de los conductos superficiales y de los lagos, etcétera.
 - a) Elaboración de bases de datos. Además de incorporar sistemáticamente lo señalado en los puntos 1, 2 y 3, incluir la geometría de los conductos del Sistema Principal (tomarlo de las corridas del "Mouse"), la red primaria, las presas y lagos, etcétera.
 - b) Estudios básicos (de "investigación").

Algunos estudios que servirán de apoyo, son:

1. Elaboración y calibración de modelos distribuidos para las cuencas experimentales.
2. Actualización de la regionalización de lluvias para definir, en cualquier punto del Valle, la precipitación asociada a cualquier duración entre 10 minutos y 48 horas, y periodos de retorno entre 2 y 1000 años, así como los factores de reducción por área.
3. Análisis de distintas alternativas de operación del sistema, tanto para las

condiciones actuales como para las del mediano y el largo plazos.

Bibliografía

Hernández Gómez V. y Jiménez Cisneros B. (2001) Costos para el abastecimiento futuro de agua a la Ciudad de México. *Ingeniería y Ciencias Ambientales*. (52) 22 -26 México.

Jimenez B. and Chávez A. (2004) "Quality assessment of an aquifer recharged with wastewater for its potential use as drinking source: "El Mezquital Valley" case". *Water Science and Technology* Vol. 50, No. 2, pp 269-273.

Jiménez B. (2003) Chapter 3 in *Health Risks in Aquifer Recharge with Recycle Water in State of the Art Report Health Risk in Aquifer Recharge Using Reclaimed Water.*, pp 54-172 R.

Aertgeerts and A. Angelakis Editors. WHO Regional Office for Europe

Jiménez B. (2004) chapter 12.3 El Mezquital, Mexico: The biggest irrigation district that uses wastewater, in *Water Reuse for irrigation: Agriculture, Landscape and turf grass*. Lazarova and Bahri editors. Editorial CRC Press, 456 pp ISBN 156 670 6491 .

Blanca E Jiménez C, Marisa Maazari H, Ramón Domínguez M y Enrique Cifuentes G., El Agua en el Valle de México" capítulo del libro *EI AGUA EN MÉXICO VISTA DESDE LA ACADEMIA*, Academia Mexicana de Ciencias, 2004.