

Problemática del recurso agua en grandes ciudades: zona metropolitana del valle de México

Agustín F. Breña Puyol, José A. Breña Naranjo
UAM-I, Depto. de Ingeniería de Procesos e Hidráulica
bpaf@xanum.uam.mx, agustin.brena@gmail.com

Recibido: 16 de junio de 2009.

Aceptado: 14 de octubre de 2009.

Introducción

Actualmente, el modelo hídrico que se aplica para manejar los procesos del recurso agua relacionados con el abastecimiento de agua, el drenaje urbano y el saneamiento de las aguas residuales, en las grandes ciudades o zonas metropolitanas, resulta ser obsoleto ya que los servicios se han manejado en forma individual sin contemplar las interrelaciones que existen entre ellos.

En efecto, si se analizan los niveles de cobertura de los tres servicios asociados con el agua que reciben los habitantes de un núcleo urbano, se detecta una heterogeneidad muy acentuada. Por ejemplo, en la mayoría de las grandes ciudades de nuestro país, se observa que el abastecimiento de agua potable tiene el porcentaje de mayor cobertura, posteriormente el drenaje urbano y finalmente el saneamiento de las aguas residuales.

Además, se puede decir que los servicios de agua potable, drenaje urbano y saneamiento de las ciudades deberían tener un equilibrio en sus niveles de cobertura, situación que no ocurre ya que los organismos encargados de su administración no contemplan la interrelación que existe entre los tres servicios.

Lo anterior ha traído como consecuencia una problemática muy compleja en el manejo y dotación de los servicios de agua, en especial, en las grandes ciudades donde se concentran usuarios domésticos e industriales de gran magnitud y que demandan volúmenes considerables de agua para satisfacer sus necesidades hídricas.

Ahora bien, para ilustrar la problemática que se ha derivado por el manejo obsoleto del agua en las

grandes ciudades, se ha seleccionado para su análisis la Ciudad de México y su zona conurbada, denominada Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), núcleo urbano donde habitan actualmente más de 20 millones de personas.

La metodología utilizada para llevar a cabo tal acción consistió en determinar, en una primera etapa, el balance hidráulico de los procesos que intervienen en el ciclo hidrológico, así como los niveles de cobertura de los tres servicios básicos del agua.

Posteriormente, con los resultados obtenidos se describen las características más relevantes de la problemática detectada en la ZMVM, la cual esta asociada con el abasto de agua, el drenaje urbano, el saneamiento de las aguas residuales, los hundimientos diferenciales del subsuelo y las inundaciones.

Área de análisis

El área de análisis es la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), se encuentra localizada desde el punto de vista geográfico en la Cuenca del Valle de México, ubicada en la parte sur de la Mesa Central entre los paralelos 19° 03' 53" y 20° 11' 09" de latitud norte y entre los meridianos 98° 11' 53" y 99° 30' 24" de longitud oeste.

La extensión de la Cuenca del Valle de México es de 9600 km² y su superficie esta constituida por porciones de diferente tamaño de los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y México y por el área del Distrito Federal. Adicionalmente, posee tres zonas típicas con características diferentes: la zona plana que corresponde al área impermeable del Sistema Lacustre donde se ha desarrollado la mancha urbana, la zona de lomeríos y la zona montañosa.

Además, es importante destacar que el 80 % de la mancha urbana de la ZMVM se encuentra localizada actualmente en el lecho impermeable de los depósitos lacustres que existieron en la Cuenca del Valle de

México y que antes de su desecación tenían una extensión estimada de 2000 km².

Al respecto, es importante mencionar que los escurrimientos generados en las zonas montañosas escurrían hacia las partes más bajas, alimentando los lagos que conformaban los depósitos lacustres y que se encontraban localizados en una cuenca hidrológica cerrada.

No obstante, por diversas circunstancias tales como la ignorancia del ciclo hidrológico de la zona lacustre, las inundaciones periódicas en el área urbana y por el manejo inadecuado del recurso agua, se procedió a desecar en forma paulatina los lagos de esta zona, construyendo para ello cuatro salidas artificiales. Originalmente, el Sistema Lacustre estaba conformado por los Lagos de Xochimilco, Chalco, Texcoco, Zumpango y Xaltocán y su nivel fluctuaba de acuerdo con el régimen pluviométrico, es decir, se comportaba hidráulicamente como el vaso de almacenamiento de una presa. Así pues, en época de lluvias se formaba un solo lago con una extensión de 2000 km², mientras que en época de estiaje el nivel del agua descendía y se formaban los 5 lagos, cada uno con una superficie variable.

La figura 1 ilustra la ubicación geográfica del área de análisis, Zona Metropolitana del Valle de México (Santoyo V. E. y al, 2005).

Por su parte, el área urbana de la ZMVM tiene un crecimiento continuo y en la actualidad esta conformada por las 16 Delegaciones del Distrito Federal, 59 municipios del estado de México y 1 municipio del estado de Hidalgo. El área total conurbada de los municipios y delegaciones de las tres entidades federativas abarca una extensión cuya magnitud alcanza 7815 km² (SEDESOL, CONAPO, INEGI, 2004).

En relación a la mancha urbana definida como el área continua que se ha urbanizado a la largo del tiempo, ha tenido un crecimiento muy heterogéneo. En efecto, en 1910 la mancha urbana tenía una superficie de 27 km², en el año de 1960, aumento a 382 km², para el año de 1990 la mancha urbana continua alcanzó un valor de 1209 km², mientras que para el año 2000 esa cifra fue de 1350 km². Tomando como punto de referencia la densidad de habitantes por km² estimada en el año 2000, se procedió a estimar la superficie de la mancha urbana para el año 2010, la cual alcanzará una magnitud de 1475 km² (DDF, 1997).

De acuerdo con los datos anteriores, sobre la evolución de la mancha urbana, se deduce que ha incrementado 5.4 veces su valor durante un periodo de 50 años (1950-2000), cantidad que supera el crecimiento promedio urbano de las grandes ciudades del mundo. En la figura 2 se observa, a partir de un diagrama de barras, la evolución de la mancha urbana, en la ZMVM, durante un lapso de 100 años.

Desde el punto de vista poblacional, la ZMVM ha presentado una dinámica de crecimiento poblacional de gran magnitud. En un lapso de 55 años (1950-2005) ha incrementado 5.65 veces su número de habitantes según datos reportados por los Censos Generales de Población y Vivienda que publica el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 2000, 2005). La figura 3 presenta, a partir de un diagrama de barras, el crecimiento poblacional de la ZMVM durante el periodo de 55 años (1950-2005).

Los incrementos poblacionales por décadas, en los últimos 55 años, han presentado una variación muy acentuada. En efecto, en la década de los ochenta por la ocurrencia de los terremotos de 1985 la población emigra a ciudades del interior de nuestro país, presentándose el menor incremento de población el cual fue de 1.3 millones de habitantes.

No obstante, en la década de los noventa el incremento poblacional crece nuevamente en forma significativa, alcanzando una magnitud de 2.8 millones de habitantes. El mayor incremento es de 5.1 millones de habitantes y ocurre en la década de los setenta.

Balance hidráulico

El objetivo fundamental del balance hidráulico consiste en cuantificar, a nivel de la Cuenca del Valle de México, la magnitud de los volúmenes de agua sobre la disponibilidad, extracción y demanda del recurso agua, tanto en cuerpos de agua superficial, como en acuíferos subterráneos.

Por su parte, para calcular el balance de agua superficial y subterránea se utilizó la metodología implementada por la Comisión Nacional del Agua (DOF, 2002), la cual permite obtener una imagen representativa de la situación hidrológica en un tiempo específico y conocer la disponibilidad de agua para satisfacer demandas actuales y futuras de los usuarios asentados en la zona de análisis.

Con el apoyo de los valores medios anuales de las variables hidrológicas registradas durante un perio-

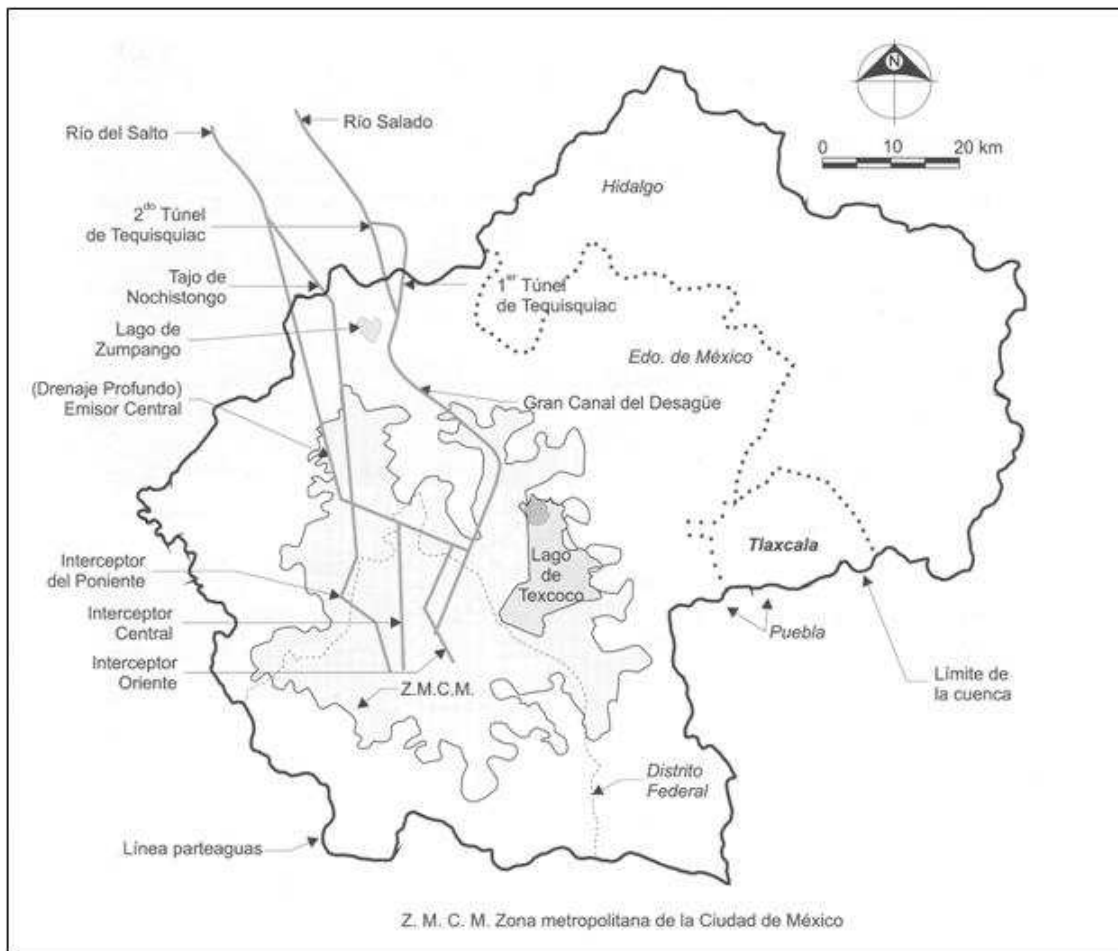


Figura 1. Localización geográfica de la ZMVM. Fuente: Santoyo V. E. y al, 2005.

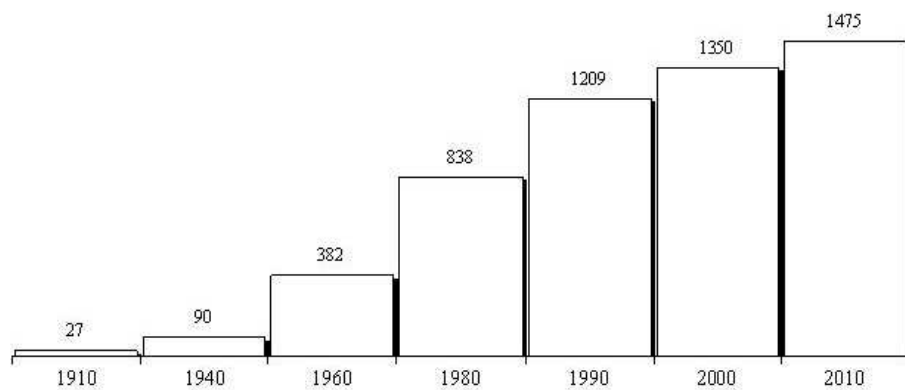


Figura 2. Evolución de la mancha urbana de la ZMVM, en km². Fuente: DDF (1997).

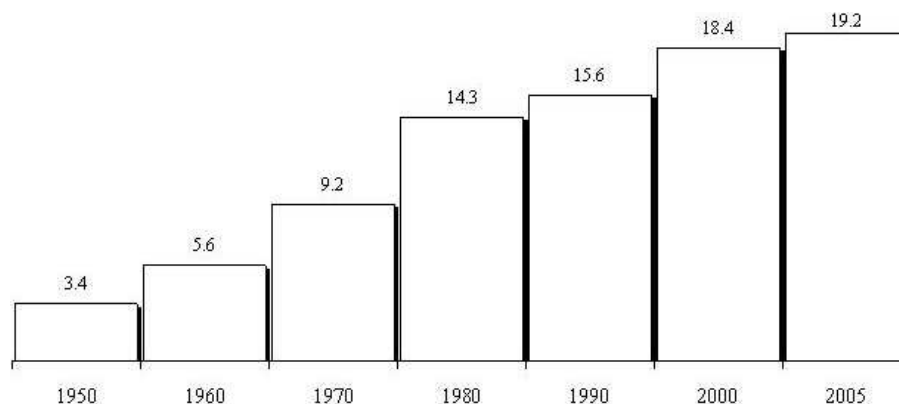


Figura 3. Crecimiento poblacional de la ZMVM, en millones de habitantes. Fuente: INEGI (1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 2000, 2005).

do de 45 años (1960-2004), se procedió a determinar el balance hidráulico, y en la tabla 1 se observan las magnitudes de sus componentes, en hm^3 y en m^3/s , así como sus porcentajes correspondientes (CNA, 2007a).

Tabla 1.- Magnitudes del balance hidráulico anual.

Componente	Volumen hm^3	Gasto m^3/s	Porcentaje %
Precipitación	6771	214.7	100.0
Evapotranspiración	5014	159.0	74.1
Evaporación cuerpos de agua	126	4.0	1.9
Recarga de acuíferos	883	28.0	13.0
Escorrentamiento superficial virgen	748	23.7	11.0

Fuente: CNA, 2007a.

Además, otras variables que intervienen en el balance hidráulico son la distribución de los usos de agua de los diferentes usuarios, así como los volúmenes que son aprovechados a través de las fuentes disponibles en la Cuenca del Valle de México y en las cuencas hidrológicas adyacentes.

De acuerdo con el balance hidráulico (CNA, 2007a), los usuarios consumen un volumen anual total de 2583 hm^3 ($81.9 \text{ m}^3/\text{s}$) distribuidos de la forma siguiente: doméstico 2041 hm^3 ($64.7 \text{ m}^3/\text{s}$); industrial 145 hm^3 ($4.6 \text{ m}^3/\text{s}$); y agrícola 397 hm^3 ($12.6 \text{ m}^3/\text{s}$).

Adicionalmente, para satisfacer los volúmenes demandados se recurre a tres fuentes disponibles: los acuíferos y agua superficial de la Cuenca del Valle México, y a la importación de agua de la Cuenca del Río Lerma (agua subterránea) y de la Cuen-

ca del Río Cutzamala (agua superficial). La tabla 2 señala los volúmenes de abastecimiento de agua potable por fuente de suministro, indicando volumen, gasto y porcentaje (CNA, 2007a).

Tabla 2. Volúmenes de abastecimiento de agua potable por fuente de suministro.

Fuente	Volumen hm^3	Gasto m^3/s	Porcentaje %
Cuenca del Valle de México			
Extracciones de los acuíferos	1876	59.5	72
Ríos y manantiales	92	2.9	4
Fuentes externas			
Sistema Lerma	151	4.8	6
Sistema Cutzamala	464	14.7	18
Total	2583	81.9	100

Fuente: CNA, 2007a.

Analizando los valores del balance hidráulico anual indicados en la tabla 1, se desprenden varias conclusiones, asociadas con el aprovechamiento de agua superficial y subterránea.

En la Cuenca del Valle de México, se genera un escurrimiento superficial virgen de 748 hm^3 ($23.7 \text{ m}^3/\text{s}$), no obstante solo se aprovecha a través de ríos y manantiales un gasto de 92 hm^3 ($2.9 \text{ m}^3/\text{s}$), equivalente al 12 % del escurrimiento superficial. Tal situación obedece a que originalmente los escurrimientos se almacenaban en los lagos que conformaban el Sistema Lacustre, y actualmente el 80 % de su superficie está ocupada por la mancha urbana de la ZMVM, y los escurrimientos generados por las lluvias en estas superficies impermeables deben ser desalojados rápidamente para evitar inundaciones.

Además, en la cuenca hay una sobreexplotación de agua subterránea (CNA, 2007a) equivalente a 993 hm³ (31.5 m³/s), ya que se extrae de los acuíferos un volumen de 1876 hm³ (59.5 m³/s), mientras que la recarga natural proveniente de la lluvia es de 883 hm³ (28 m³/s).

En otro orden de ideas, la Cuenca del Valle de México no tiene capacidad hídrica para satisfacer las demandas de agua de los usuarios, ya que se requiere de un volumen anual de 2583 hm³ (81.9 m³/s) y desde un punto de vista hidrológico, únicamente se debería utilizar la recarga natural (28 m³/s) y el aprovechamiento de escurrimientos superficiales de ríos y manantiales (2.9 m³/s).

En fin, no hay un equilibrio en la disponibilidad de agua superficial y subterránea, debido a que se recurre a la sobreexplotación de los acuíferos ubicados en el área de análisis y a la importación de agua de las cuencas de los ríos Lerma y Cutzamala. Ambos volúmenes ascienden a un valor de 1618 hm³ (51.0 m³/s), magnitud que da una idea de la problemática grave que existe en la ZMCM para el abastecimiento de agua potable.

Cobertura de los servicios

El objetivo que persigue este inciso es determinar los niveles de cobertura de los 3 servicios que reciben los habitantes de la zona metropolitana de análisis y que están asociados con el abastecimiento del agua potable, el drenaje urbano y el saneamiento de las aguas residuales.

Para tal fin, se recurrió a los datos de las Estadísticas del Agua en México (CNA, 2006), determinando la magnitud de los porcentajes de los tres servicios. La figura 4 presenta, a través de un diagrama de bloques, los resultados obtenidos para el año 2005.

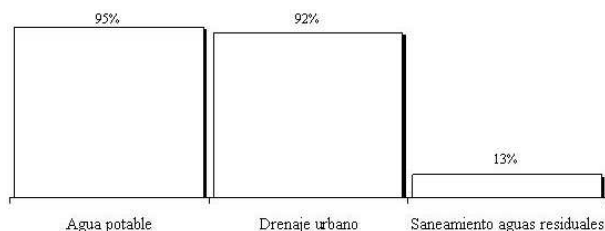


Figura 4. Porcentajes de cobertura de agua potable, drenaje urbano y saneamiento. Fuente: CNA, 2006.

Analizando los resultados de la figura 4, se desprende que los porcentajes de cobertura de los servicios

de agua potable y drenaje urbano se ubican en niveles aceptables, ya que oscilan entre 95 % y 92 %, respectivamente.

No sucede lo mismo con el saneamiento de las aguas residuales, ya que su porcentaje de cobertura es del 13 %, es decir el 87 % de las aguas residuales que generan los usuarios de la ZMCM se vierten a los cauces y redes de drenaje sin tratamiento alguno, y una de las manifestaciones más relevantes es el deterioro del medio ambiente en su lugar de origen y en las cuencas hidrológicas por donde se desplazan las descargas residuales.

Problemática del agua

Los resultados del balance hidráulico y de los porcentajes de cobertura de los 3 servicios que reciben los diferentes usuarios asentados en la ZMVM, ponen de manifiesto la existencia de una problemática muy compleja en la zona de análisis y han sido determinantes para su caracterización.

Abastecimiento de agua potable

El problema básico de este servicio es la incapacidad hídrica de la Cuenca del Valle de México para satisfacer las demandas de agua potable, que requiere una población que, en el año 2005, ascendía a 19.2 millones de habitantes asentados en la Ciudad de México y su zona conurbada y que, día a día, se incrementa por la expansión de nuevos desarrollos inmobiliarios, centros comerciales, industriales y de servicios.

En efecto, si se considera un esquema de sustentabilidad hidrológica, es decir usar exclusivamente la recarga de los acuíferos y el aprovechamiento de ríos y manantiales, el volumen disponible para agua potable sería de 30.9 m³/s (28.0 + 2.9). No obstante, el volumen que se requiere para los usos doméstico, industrial y agrícola es de 81.9 m³/s (CNA, 2007a), es decir existe un faltante de 51 m³/s que se satisface con la sobreexplotación de los acuíferos ubicados en la Cuenca del Valle de México y con los volúmenes importados de los Sistemas Lerma y Cutzamala.

Asimismo, se detectaron otro tipo de problemas asociados con diferentes rubros: un total de 960,000 habitantes no tienen agua potable en sus hogares, magnitud estimada con el porcentaje de cobertura al año 2005; hay un déficit de 6 m³/s, situación que se manifiesta con tandeos frecuentes en la mayoría de las zonas habitacionales; las zonas más críticas

con escasez de agua son las delegaciones y municipios más poblados de la ZMVM tales como Iztapalapa (1,820,888 habitantes), Ecatepec (1,688,258 habitantes), Nezahualcóyotl (1,140,528 habitantes) y Gustavo A. Madero (1,193,161 habitantes).

Además, se detectaron las anomalías relacionadas con diferentes rubros tales como: las fugas en las redes de abastecimiento son del orden del 35 %; la infraestructura hidráulica es obsoleta en algunas áreas debido a la falta de un mantenimiento continuo; en varias zonas urbanas del oriente es común la mala calidad del agua; el costo del m³ proveniente del Sistema Cutzamala es de \$ 12.00 y en el D. F., el metro cúbico se paga en promedio a \$ 3.00; en algunas zonas el abastecimiento de agua se realiza con pipas con una higiene deficiente, es decir no se cumple con las normas de potabilización; y no hay equidad en el abastecimiento de agua para los diferentes grupos de población, situación que se manifiesta en la variación de las dotaciones.

Un punto importante a destacar es que, en la ZMVM, no hay fuentes alternas para abastecer agua potable, y que se puedan utilizar para cubrir eventos extraordinarios, tales como la escasez, o bien para cualquier otro tipo de suceso relacionado con la falla de la infraestructura hidráulica o de algún sismo que ocasione desperfectos en las redes de abastecimiento.

Por ejemplo, la sequía que ocurre actualmente en la cuenca del Río Cutzamala, es un evento que se podría resolver con este tipo de esquema, y los organismos que administran el recurso agua no lo tienen contemplado en su planeación a corto, mediano y largo plazo.

Drenaje urbano

La problemática del drenaje urbano se manifiesta con la reducción paulatina de la capacidad hidráulica de los colectores que se utilizan para desalojar los escurrimientos que son generados por las descargas residuales y las tormentas pluviales.

Una de las manifestaciones más importantes son los hundimientos diferenciales que ocurren en el subsuelo por la sobreexplotación de agua subterránea, ya que modifican la pendiente original de los colectores urbanos, ocasionando que el desalojo de los escurrimientos no se realice a través de la gravedad.

En consecuencia, se procede a utilizar sistemas de bombeos simples o complejos los cuales se instalan

en aquellos puntos o tramos de los cauces y colectores donde los escurrimientos se estancan por el hundimiento del subsuelo.

Por su parte, el Sistema de Drenaje Urbano de la ZMVM, está integrado por el Sistema Principal, la Red Secundaria y la Red Primaria y cada uno de ellos presenta un comportamiento diferente en la reducción de su capacidad hidráulica.

El Sistema Principal, componente básico de drenaje, constituido por el Tajo de Nochistongo, el Gran Canal del Desagüe y el Drenaje Profundo y cuyo objetivo es recibir los escurrimientos que captan los colectores de la red primaria y desalojarlos fuera de la Cuenca del Valle de México, ha presentado una disminución drástica en su capacidad hidráulica a lo largo del tiempo, tal como lo ilustran los datos sintetizados en la tabla 3.

Tabla 3. Variación de la capacidad hidráulica de los componentes del Sistema Principal.

Componente	1975 Capacidad m ³ /s	2006 Capacidad m ³ /s	Reducción capacidad m ³ /s
Tajo de Nochistongo	30	30	0
Gran Canal del Desagüe	80	15	65
Drenaje Profundo	170	120	50
Total	280	165	115

Fuente: CNA, 2007a.

Analizando los datos de la tabla 3 se concluye que, entre 1975 y 2006, la capacidad hidráulica de los componentes del Sistema Principal disminuyó en 165 m³/s, situación que provoca inundaciones periódicas durante la temporada de lluvias. El Gran Canal del Desagüe, componente fundamental del Sistema de Drenaje Urbano, comienza a operar en el año 1900 y su vida útil esta por terminar. No obstante, se le conserva de manera artificial a través de sistemas de bombeo instalados en varios puntos del Canal, para desalojar los escurrimientos que capta e incrementar su capacidad actual la cual es de 15 m³/s.

Además, con el apoyo de los registros históricos de las tormentas más desfavorables que han ocurrido en la ZMVM, se han estimado gastos de 315 m³/s y con la capacidad actual de los colectores es imposible desalojar esos volúmenes. En fin, por la incapacidad de los colectores para desalojar tormentas de gran magnitud, persistirá la presencia de inundaciones en aquellas zonas con problemas de drenaje y con hundimientos diferenciales apreciables.

Por su parte, la red primaria está integrada por 128 sistemas de colectores y su propósito es captar las aguas residuales y pluviales y aportarlos a los colectores del Sistema Principal. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de colectores presentan complicaciones para desalojar por gravedad sus escurrimientos, debido a que se ubican en zonas urbanas donde se han presentado hundimientos diferenciales de magnitudes apreciables.

En consecuencia, para agilizar el desalojo de los escurrimientos de la red primaria se recurre a los sistemas de bombeo, y para tener una idea de la magnitud de este tipo de estructuras hidráulicas, en el año 2008, la Ciudad de México tenía instaladas en la red primaria 87 plantas bombeo para desalojar $670 \text{ m}^3/\text{s}$ y 91 plantas de bombeo, en pasos de desnivel de las vías de comunicación, para expulsar $16 \text{ m}^3/\text{s}$.

Saneamiento de aguas residuales

El saneamiento de las aguas residuales es un servicio con graves carencias, ya que solamente se depura el 13% de las descargas residuales que vierten los usuarios del agua a las redes de alcantarillado, y sus efectos repercuten en la alteración del medio ambiente y del ciclo hidrológico.

Adicionalmente, hay un conjunto amplio de factores que inciden en la problemática del saneamiento de las aguas residuales, sobresaliendo el desarrollo urbano y el crecimiento poblacional acelerados en la ZMVM. En efecto, los factores anteriores han modificado sustancialmente el ciclo hidrológico, tal como lo demuestran los resultados del balance hidráulico, ya que los usuarios descargan $40.5 \text{ m}^3/\text{s}$ de aguas residuales, mientras que el escurrimiento superficial derivado de las lluvias pluviales es de $23.7 \text{ m}^3/\text{s}$, es decir en los colectores y cauces naturales de la Cuenca del Valle de México escurren más volúmenes de aguas residuales que los que producen las precipitaciones pluviales (CNA, 2007a).

En otro orden de ideas, grandes niveles de contaminación ocurren por las descargas de aguas residuales ya que tienen un recorrido de 513 km, desde su origen en la ZMVM hasta el Golfo de México, y en su trayecto contaminan, flora, fauna, producción agrícola, asentamientos humanos y afectan la calidad de la disponibilidad del agua superficial y subterránea de las cuencas hidrológicas por donde se desplazan las descargas residuales.

Conjuntamente, la infraestructura hidráulica que se

utiliza para sanear las descargas residuales está constituida por la red de alcantarillado y por las plantas de tratamiento. La cobertura del alcantarillado era del 92% en el año 2005 y había 161 plantas de tratamiento municipales y privadas. No obstante, la eficiencia de las plantas de tratamiento es del 52%, es decir hay una falta experiencia y capacidad técnica para llevar a cabo el proceso de saneamiento.

En síntesis, la depuración de las aguas residuales es un servicio que no pagamos los usuarios y es urgente aplicar un esquema de cuotas o tarifas para su saneamiento, ya que recibimos agua limpia y retornamos agua con diferentes grados de contaminación.

Inundaciones

Las inundaciones en las zonas urbanizadas de la ZMVM se han presentado desde época prehispánica hasta nuestros días con características diferentes y hay un conjunto de factores que inciden en la ocurrencia de las inundaciones en la zona de análisis.

Una de las zonas más susceptibles a la ocurrencia de inundaciones son las superficies impermeables de los lagos que integraban el sistema lacustre, y que en la actualidad, el 80% de ellas, se encuentran urbanizadas. Además, el fondo de los lagos están constituidos por arcillas blandas y al extraer el agua contenida en sus poros por la sobreexplotación, el suelo se compacta provocando hundimientos diferenciales de importancia.

Por ejemplo, en el Centro Histórico de la Ciudad de México y zonas aledañas, por la extracción intensiva de agua durante más de 100 años, se han presentado subsidencias del terreno que sobrepasan los 10 metros. El proceso anterior disloca las tuberías de drenaje urbano en forma continua y para el desalojo de los escurrimientos es necesario instalar sistemas de bombeo, dificultando un drenaje eficiente.

Asimismo, la urbanización convierte en impermeables las áreas verdes, impidiendo la infiltración de la lluvia, proceso que favorece el incremento de los escurrimientos y la reducción de la capacidad hidráulica de los colectores urbanos, provocando que trabajen a presión y que por lo regular se traduzca en inundaciones frecuentes.

Adicionalmente, es oportuno destacar la persistencia de inundaciones, en especial, en aquellas zonas

urbanas donde ocurren los hundimientos diferenciales de mayor magnitud, así como en áreas de alto riesgo tales como barrancas, cauces naturales, superficies planas con drenaje deficiente, pasos a desnivel de las vías de comunicación los cuales son zonas de subsidencia que se drenan por bombeo o bien zonas aledañas a colectores urbanos que sufren desbordamientos frecuentes.

En otro orden de ideas y para detectar los riesgos de una inundación catastrófica, en la ZMVM, el Instituto de Ingeniería de la UNAM (CNA, 2007a) llevó a cabo un estudio de simulación de un escenario de inundación suponiendo que el Emisor Central del Drenaje Profundo sufriera un colapso al inicio de la temporada de lluvias y que se acumularan de mayo a octubre. Los resultados son por demás concluyentes: el área inundada alcanzaría una magnitud de 217 km²; la población afectada sería de 4 millones de habitantes; se inundarían porciones de las delegaciones, Benito Juárez, Cuauhtemoc, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa y Venustiano Carranza, así como áreas variables de los municipios de Chimalhuacán, Nezahualcóyotl y Ecatepec.

Finalmente, se puede concluir que el factor de mayor relevancia que incide en la ocurrencia de las inundaciones es la vinculación estrecha que existe entre la sobreexplotación del agua subterránea, los hundimientos diferenciales del subsuelo y la reducción de la capacidad hidráulica de los colectores de drenaje.

Una posible solución es reducir la extracción de agua subterránea para impedir que se siga hundiendo el subsuelo y se colapsen los colectores urbanos. El esquema anterior es imposible, ya que los acuíferos es la fuente principal para abastecer agua potable a los habitantes de la ZMVM, y de estos cuerpos de agua se extrae el 70 % del consumo humano que se utiliza para satisfacer las necesidades hídricas.

Hundimientos diferenciales

Los hundimientos diferenciales en la ZMVM son provocados por la sobreexplotación de los acuíferos y en menor proporción por el peso de las grandes construcciones y su comportamiento se ha acelerado a medida que ha crecido la mancha urbana, en especial a partir del año 1950 donde el crecimiento urbano experimentó un crecimiento vertiginoso.

Estudios realizados al respecto sobre su evolución en el tiempo señalan que por la sobreexplotación de

los mantos acuíferos, el Centro Histórico de la Ciudad de México y zonas aledañas presentó en el periodo 1900-1936, hundimientos medios anuales con una variación de 5 cm y posteriormente de 18 cm en el intervalo de 1938-1950.

A partir de la segunda mitad del siglo XX, al aumentar la demanda de agua se inició la perforación acelerada de pozos profundos en los 4 acuíferos de la Cuenca del Valle de México. Aparecen, en este periodo, hundimientos regionales de magnitud apreciable en las zonas urbanas donde se localizan los acuíferos, y durante el lapso de 1950-1980 los hundimientos alcanzaron valores de 30 a 50 cm, y posteriormente en el lapso de 1985-2008, en algunas áreas muy localizadas, los hundimientos han superado los 100 cm.

Actualmente, los hundimientos de mayor magnitud se ubican en las zonas urbanas donde se localizan los acuíferos sobreexplotados sobresaliendo las localidades siguientes: Centro Histórico de la Ciudad de México, Texcoco, San Vicente Chicoloapan, Tizayuca, Cuautitlán, Tultitlán, Tepotzotlán, Teoloyucan, Ecatepec, Coacalco, Zumpango, Amecameca y Tláhuac (DDF, 1997).

En fin, una manifestación adicional de la sobreexplotación del agua subterránea son las grietas y fracturas del terreno en zonas urbanizadas, tal como ha ocurrido recientemente en calles de las delegaciones de Iztapalapa y Tláhuac y de la Colonia Nápoles, así como en el Lago de Chapultepec donde una grieta provocó el vaciado total de su volumen almacenado.

Conclusiones

El déficit y desabasto de agua potable por la sequía que ocurre en la cuenca del Río Cutzamala, la vulnerabilidad de las tres fuentes de agua potable de la ZMVM, las inundaciones frecuentes durante las temporadas de lluvias, la degradación del medio ambiente por el vertido de las aguas residuales a los cuerpos de agua sin tratamiento y los hundimientos del terreno por la sobreexplotación de agua subterránea, son acciones que ponen de manifiesto el colapso paulatino del recurso agua en la zona de análisis.

Por su parte, es importante destacar que la Cuenca del Valle de México no tiene disponibilidad hídrica para satisfacer las demandas de agua potable que requiere una población que, en el año 2005, alcanzaba 19.2 millones de habitantes y que día a día se incre-

menta por los nuevos desarrollos inmobiliarios, comerciales, industriales y de servicios.

Ahora bien, para cubrir el déficit de agua en la ZMVM, se recurre a importar agua de dos fuentes externas, Cutzamala y Lerma, y a la sobreexplotación de los acuíferos del Valle de México. Esta última fuente presenta una situación dramática, debido a que el volumen medio anual sobreexplotado es de 993 millones de metros cúbicos y de continuar con este esquema los volúmenes de agua subterránea se agotarán en forma definitiva.

Además, una conclusión importante que se deriva de este estudio sobre el recurso agua en grandes ciudades es la presencia de una problemática compleja y al proponer soluciones integrales y viables, es necesario la participación de grupos interdisciplinarios o multidisciplinarios de especialistas con conocimientos teóricos y prácticos que aborden una gama de problemas asociados con diferentes disciplinas y ciencias, incluyendo una planeación territorial y de servicios.

En nuestro país, el manejo del recurso hídrico en las grandes ciudades y zonas metropolitanas con esquemas obsoletos, no es exclusivo de la Ciudad de México y su zona conurbada. En efecto, según estudios realizados por la CNA (2007) se ha identificado un total de 33 ciudades con problemas graves de abastecimiento de agua potable, drenaje urbano y saneamiento, los cuales demandan soluciones inmediatas para no desembocar en conflictos violentos a causa del recurso agua.

Adicionalmente, un aspecto sobresaliente en la problemática del agua detectada en este artículo, está vinculado con la administración desarticulada de los servicios del agua que llevan a cabo los organismos municipales, delegacionales y federal encargados del manejo del agua en la ZMVM, ya que cada uno de ellos tienen una jurisdicción territorial diferente, mientras que el agua se mueve libremente sin reconocer límites territoriales en el espacio de la zona de análisis. Una solución viable es crear un Organismo Metropolitano cuya función sea coordinar, con un esquema integral, el manejo del agua de los diversos organismos que participan en la dotación de los servicios relacionados con el recurso agua.

Finalmente, la ZMVM presenta un colapso gradual en la disponibilidad del agua que se abastece a través de sus tres fuentes y para evitar su colapso total y asegurar su supervivencia, es necesario aplicar medidas drásticas para atenuar o reducir la problemática detectada tales como reducir la dotación de agua por habitante, incrementar las tarifas, programar tandos equitativos y de esta forma evitar conflictos sociales por la escasez del agua.

Referencias

1. CNA, Comisión Nacional del Agua (2006). *Estadísticas del Agua en México, Edición 2006*, Comisión Nacional del Agua México.
2. CNA, Comisión Nacional del Agua (2007). *Estadísticas del Agua en México, Edición 2007*, Comisión Nacional del Agua México.
3. CNA, Comisión Nacional del Agua (2007a). *Equilibrio hidrológico en la Cuenca del Valle de México*, Dirección General de la Comisión Nacional del Agua, México.
4. DOF, Diario Oficial de la Federación (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales*, Comisión Nacional del Agua, México.
5. DDF, Departamento del Distrito Federal (1997). *Plan Maestro de Drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: 1994-2010*, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, DDF, México.
6. INEGI (1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 2000, 2005). *Censo General de Población y Vivienda de 1950 (VII) a 2005(XIII)*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
7. SEDESOL, CONAPO, INEGI (2004). *Delimitación de las zonas metropolitanas en México*, Secretaría de Desarrollo Social, Consejo Nacional de Población, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
8. Santoyo V. E. y al (2005). *Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México*. TGC geotecnia S. A. de C. V., México.