

# Índice

## 1 PANORAMA

## 2 LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

## 3 DESCRIPCIÓN DEL ACUÍFERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y SU EXPLOTACIÓN

Hidrogeología

Abatimiento del nivel freático y problemas de hundimiento

Balance del acuífero

## 4 ABASTECIMIENTO, DISTRIBUCIÓN Y AGUAS DE DESECHO

Abastecimiento y distribución

Recolección y desecho de aguas residuales

Reuso del agua

## 5 CALIDAD DEL AGUA Y PROBLEMAS DE SALUD

Vulnerabilidad del acuífero

Monitoreo y certificación sanitaria

Calidad de las fuentes de agua

Problemas de la calidad del agua en el sistema de distribución

Problemas de salud relacionados con el agua

## 6 ADMINISTRACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA

Problemas y prioridades

Tarifas, uso y disponibilidad en la ZMVM

Elementos para la administración de la demanda

Puesta en práctica

## Prefacio

La creciente urbanización es una realidad insoslayable en el mundo cambiante de hoy. En los países en desarrollo, la falta de oportunidades de trabajo en las áreas rurales, la declinación de las economías de subsistencia y la esperanza de acceder a una vida mejor han propiciado el nacimiento de las modernas megalópolis. Desafortunadamente, la infraestructura urbana, las instituciones y los recursos naturales disponibles han resultado a menudo insuficientes para responder al ritmo de expansión de los nuevos asentamientos. En todo el mundo se plantea una pregunta central: "¿cómo integrar los principios del desarrollo sostenido bajo circunstancias de esta naturaleza?". El agua es un recurso vital insustituible. Su abastecimiento, localización y desecho presenta numerosos retos, los cuales deben ser enfrentados para satisfacer las crecientes demandas de estas nuevas áreas metropolitanas.

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) ejemplifica estos retos. La demanda de agua para los 20 millones de personas que habitan en el área, significan un desafío formidable para quienes tienen la responsabilidad de abastecer a esta población. Como el agua superficial en la Cuenca de México es muy escasa, la principal fuente de abastecimiento para la ciudad es el Acuífero de la Ciudad de México, localizado en el subsuelo del área metropolitana. Aunque el volumen de agua almacenada es muy grande, su calidad es susceptible de sufrir un serio deterioro, debido a la permanente actividad que tiene lugar sobre el acuífero. La falta de tratamiento a las aguas residuales y el control insuficiente de los desechos peligrosos han colocado a este acuífero-y a todo el sistema de distribución de agua-en riesgo de contaminación microbiológica y química. Además, el uso del acuífero se ve restringido debido a una serie de problemas relacionados con el hundimiento del suelo. En efecto, desde que se inició la explotación del agua subterránea en el siglo XIX a la fecha, el constante descenso en los niveles de agua subterránea ha provocado un hundimiento cercano a los 7.5 metros en el centro de la Ciudad de México. Este hundimiento ha aumentado la propensión natural de la ciudad a las inundaciones, al tiempo que ha dañado la infraestructura urbana.

Los intentos de controlar las inundaciones, así como los de abastecer de agua y servicios de desagüe a la ZMVM, han puesto en marcha proyectos masivos de obras civiles, tales como la construcción del sistema de drenaje profundo y la importación de agua desde la Cuenca del Cutzamala. La actitud prevaleciente entre la población ha sido suponer que el agua es propiedad del Estado y que, por tal razón, debe proporcionarse como parte de un derecho constitucional (aunque no está estipulado de esta forma en la Constitución) y gratuito. Tradicionalmente, los servicios de abastecimiento de agua y de drenaje han recibido importantes subsidios del gobierno federal. Como resultado, ha sido necesario enfrentar severas pérdidas financieras, así como un constante desperdicio del recurso causado por fugas de agua y un uso ineficiente. El rápido crecimiento urbano y la falta de sustentabilidad financiera han restringido la capacidad del gobierno para satisfacer la demanda de agua, ampliar el sistema de distribución a las áreas donde el servicio es deficiente, así como para proporcionar un tratamiento adecuado a las aguas residuales antes de desecharlas o reutilizarlas.

Desde 1988, México ha llevado a cabo grandes reformas enfocadas a la localización de nuevas fuentes de agua y al mejoramiento de los servicios de abastecimiento. Sin embargo, el futuro del agua en la ZMVM, al igual que en muchas ciudades del mundo, es incierto. En un sentido, el caso de esta zona de México plantea una situación extrema que podría presentarse en muchos otros lugares. Debido a la complejidad del problema y a su relevancia como ejemplo para otras ciudades de México y el mundo, la Academia de la Investigación Científica A.C. y la Academia Nacional de Ingeniería, A.C., ambas de México, junto con el Consejo Nacional de Investigación de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos (*the National Research Council of the US National Academy of Sciences*) han llevado a cabo un estudio binacional. El grupo de Academias también incluye a la Academia Nacional de Medicina de México, así como al Instituto de Medicina y a la Academia Nacional de Ingeniería de los Estados Unidos. Esta asociación no gubernamental tiene como objetivo reforzar las actividades de ciencia y tecnología en ambos países, a través de actividades conjuntas. Un propósito de esta asociación es llevar a cabo estudios para dar lineamientos de política y que sirvan como base para desarrollos científicos y tecnológicos.

En un principio, un grupo de planeación formado por representantes de las distintas academias se reunió el año de 1990 en Cocoyoc, en el estado mexicano de Morelos, bajo el patrocinio de las fundaciones Tinker, MacArthur y Rockefeller; en esta reunión se concluyó que era importante y oportuno realizar un estudio sobre el Acuífero de la Ciudad de México como fuente abastecedora de agua. Durante el desarrollo del tema, los participantes llegaron también a la conclusión de que dicho estudio tendría mayor utilidad para quienes toman decisiones a nivel local y regional si se evaluaban los problemas relacionados con el servicio de agua en general. Por lo tanto, el alcance del proyecto se amplió para abarcar aspectos técnicos, sociales, económicos e institucionales. En enero de 1992, las academias norteamericanas y mexicanas eligieron un comité binacional y multidisciplinario de expertos voluntarios. El estudio fue patrocinado por la Fundación Ford, la Fundación Tinker, la Agencia Norteamericana de Protección Ambiental, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, la Secretaría de Salud de México, el Consejo de Investigación de los Estados Unidos y la Fundación John D. y Catherine MacArthur.

Este reporte bilingüe resume la mayor parte de la información obtenida durante el desarrollo del estudio; asimismo, tiene como meta difundir sus conclusiones y recomendaciones entre científicos, funcionarios y el público interesado, tanto en México como en los Estados Unidos. La Academia Nacional de Ingeniería y la Academia de la Investigación Científica de México, han elaborado por su parte un reporte técnico en español más amplio; que sirvió de base y al cual nos referiremos a lo largo de este documento. Este trabajo ha sido editado en dos idiomas, el equivalente en español se espera sea de utilidad inmediata para las comunidades técnicas, de investigación y de planeación en México, al poner en marcha los nuevos programas diseñados para mejorar la sustentabilidad de las reservas de agua en la ZMVM.

Ambos reportes son producto del estudio conjunto, así como de una serie de investigaciones y deliberaciones llevadas a cabo durante un periodo de 30 meses, las cuales incluyeron diversas reuniones formales en ambos lados de la frontera, visitas de campo e

intercambios entre los miembros del comité. Los miembros del comité responsable de este reporte han llevado a cabo un enorme esfuerzo; no obstante, no alcanzaron estos significativos resultados sin ayuda. En primer lugar, el comité está en deuda con un gran número de personas-mencionadas al principio de este reporte como "asociados al proyecto"-, quienes aportaron a este estudio, de manera voluntaria, su tiempo y sus conocimientos. Su participación enriqueció los reportes y creó un amplio y receptivo público para escuchar las conclusiones. Los miembros del comité y los asociados al proyecto llevaron a cabo sus tareas con entusiasmo, amistosa cooperación y verdadero afecto.

Al igual que en otros reportes similares producidos a través del esfuerzo de un comité, su éxito ha dependido también de las herramientas, dedicación y energía de los colaboradores asignados. La naturaleza única de este estudio-el primer estudio en colaboración llevado a cabo por el Consejo Nacional de Investigación y las Academias Mexicanas de Investigación Científica y de Ingeniería-hace mayor la complejidad de lo que de por sí representa un gran desafío. El comité tuvo la suerte de contar con los servicios del director de estudios del Consejo Nacional de Investigación, Gary Krauss, cuyas contribuciones al estudio y el reporte son extensas. Además de prestar su habilidad y su experiencia editorial, Gary mantuvo el nivel de comunicación entre ambas fronteras y ayudó a resolver los asuntos técnicos y culturales que a menudo enfrentaba el comité. También merece un agradecimiento especial al asistente del proyecto, Gregory Nyce, quien realizó los apoyos logísticos para la coordinación del comité y preparó el manuscrito del reporte bilingüe para su publicación.

En México, un equipo pequeño pero muy eficiente colaboró en el proyecto. Las contribuciones de los directores de estudio de la Academia Nacional de Ingeniería de México son particularmente significativas. El manejo efectivo y la coordinación en las primeras fases del proyecto por parte de Alejandro Lozano-quien es también miembro de la Academia Nacional de Ingeniería de México-contribuyó a que individuos de formaciones y disciplinas diversas trabajaran juntos como un solo comité. Julia Melchor-directora del estudio en las últimas fases del proyecto-manejó también con eficiencia la muy difícil logística de la comunicación, las reuniones del comité y la compilación de las versiones en español del proyecto. La coordinación general y la supervisión del proyecto a lo largo de sus distintas etapas fueron responsabilidad de los co-presidentes del proyecto.

Integrar información sobre el abastecimiento, la distribución, el drenaje, la calidad y las instituciones del agua no es tarea fácil para ninguna gran ciudad. En México, los datos recolectados por las autoridades federales, estatales y locales para el manejo y la planeación del agua, son con frecuencia irregulares, raramente se publican y nunca han sido integrados ni analizados por la comunidad científica. El comité y otras organizaciones participantes en este estudio, consideran que este esfuerzo representa el primer intento de presentar en forma integral un panorama del abastecimiento de agua en la ZMVM.

Este trabajo no habría sido posible sin el significativo apoyo y cooperación de las siguientes instituciones mexicanas, las cuales otorgaron personal, información y análisis críticos: el Departamento del Distrito Federal, a través de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica y la Dirección de Servicios Urbanos; la Comisión Nacional del Agua,

a través de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México; el Gobierno del Estado de México, a través de su Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento; la Secretaría de Salud, a través de sus direcciones generales de Saneamiento Ambiental y Epidemiología; la Secretaría de Desarrollo Social, a través del Instituto Nacional de Ecología; la Universidad Nacional Autónoma de México, a través de sus Institutos de Geofísica e Ingeniería, el Centro de Ecología y la Escuela de Salud Pública de México; por último, la Comisión de Aguas del Distrito Federal.

Aunque un estudio de esta naturaleza no puede identificar diseños específicos y detalles del sistema, sí plantea conceptos que deberían aumentar el interés por alcanzar un abastecimiento más sustentable para la ZMVM y otras áreas similares en todo el mundo. Llevar a cabo sus recomendaciones será, por supuesto, muy difícil, especialmente ahí donde se requieren cambios institucionales y de políticas sociales. Aún así, el comité espera que los conceptos expuestos en este reporte resulten de utilidad, no sólo para quienes toman las decisiones, los científicos y en general los ciudadanos preocupados por los recursos de agua en la Ciudad de México, sino también para quienes se interesan en el destino del agua en regiones donde existen problemas similares a los de la Ciudad de México. Cuando se trata de problemas como la localización de recursos, la protección ambiental y la preocupación por el futuro del hombre, existe de hecho una sola comunidad, la humanidad en todo el mundo, que comparte la meta común de entregar a las futuras generaciones un planeta al menos tan saludable como cuando llegamos a él. Por último, el comité espera que el esfuerzo realizado contribuya a fomentar el uso de asesorías independientes de las academias mexicanas de investigación científica e ingeniería, para mejorar las bases tecnológicas y científicas que permitan resolver problemas y establecer lineamientos de política en beneficio de la comunidad.

CHARLES T. DUMARS e ISMAEL HERRERA REVILLA, *Co-Presidentes*

Comité para el Abastecimiento de Agua a la Ciudad de México

Marzo de 1995

---

[Volver](#) a la pagina principal de "El Suministro de Agua..."

Copyright © 1995 by the National Academy of Sciences. All Rights Reserved.

## 7 ASPECTOS INSTITUCIONALES

Instituciones relacionadas con la cantidad del agua

Instituciones relacionadas con la calidad del agua

## 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## REFERENCIAS

## APÉNDICES

A Biografías de los Miembros del Comité

B Asociados al Proyecto

---

[Volver](#) a la pagina principal de "El Suministro de Agua..."

Copyright © 1995 by the National Academy of Sciences. All Rights Reserved.

# Capítulo 1

## Panorama

La Ciudad de México es el centro cultural, económico e industrial de la República Mexicana. Con una población que se acerca a 20 millones de habitantes, equivalente a la del territorio entero de los estados de Texas o de Florida, se ha convertido en un imán de crecimiento. Desde las áreas rurales fluyen en forma constante a la región grupos migratorios conformados por personas en busca de trabajo y de los beneficios económicos que suelen generarse en los centros de poder político. Muchos de estos inmigrantes se establecen de manera ilegal en los límites urbanos, con la esperanza de que el gobierno les proporcione, eventualmente, servicios públicos.

El abastecimiento de agua y de drenaje para la creciente población de la Ciudad de México representa un gran reto. Al igual que el problema de la contaminación del aire, que demandó una atención muy importante hace 10 años, la situación del abastecimiento de agua en la ciudad se aproxima a una crisis. El continuo crecimiento urbano, junto con el escaso financiamiento, han limitado la capacidad del gobierno para extender la red de abastecimiento de agua a las áreas que carecen del servicio, para reparar fugas y para tratar las aguas residuales. Casi el setenta y dos por ciento del abastecimiento de agua de la ciudad proviene del acuífero localizado bajo el área metropolitana, el cual ha venido padeciendo una considerable sobreexplotación. Los niveles de agua del subsuelo de han venido abatiendo en el transcurso de los últimos 100 años, lo que ha provocado un hundimiento del suelo de la región; como consecuencia, el nivel de la superficie del área metropolitana ha sufrido un descenso de 7.5 metros, con respecto al nivel de referencia original. Esto propicia condiciones para que existan más inundaciones en la ciudad, lo que a su vez provoca daños a la infraestructura --especialmente a las redes de agua potable y drenaje. Estas dificultades, combinadas con el manejo inadecuado de desechos peligrosos, provocan que el acuífero y el sistema de distribución sean vulnerable a la contaminación, con los consecuentes riesgos para la salud pública.

Este creciente problema ha llevado, recientemente, al desarrollo de nuevas leyes, al despliegue de nuevos esfuerzos para la conservación de los recursos acuíferos, al desarrollo de programas educativos y a la búsqueda de soluciones innovadoras, como la privatización del servicio de agua y su tratamiento. Será difícil revertir las tendencias pasadas y establecer nuevas estrategias de conservación, que incluyan la correcta medición del consumo, su cobro y el cumplimiento de los reglamentos.

Como la Ciudad de México, muchas de las principales ciudades del mundo enfrentan perspectivas inciertas para asegurarse un abastecimiento de agua permanente y confiable. La sustentabilidad del abastecimiento de agua en zonas urbanas está sujeta a muchos factores: la capacidad física del sistema hidrológico, la vulnerabilidad del sistema a la contaminación, la capacidad de tratamiento, la distribución y el desecho de aguas residuales, sin descontar los diversos aspectos sociales, económicos e institucionales que influyen en la capacidad de una sociedad para administrar sus recursos.

La información reunida por el Comité de estudio cubre varios tópicos de importancia, referentes a la sustentabilidad del abasto de agua para la Ciudad de México. El capítulo 2 describe la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), que es el centro de este estudio. En el capítulo 3, el Comité revisa las características hidrogeológicas de la porción sur de la Cuenca de México, lugar donde se ubica la Ciudad de México. El capítulo 4 incluye una descripción de las distintas fuentes de agua que abastecen a la Ciudad de México, las complejidades del sistema de distribución, el tratamiento del agua y el tratamiento y desecho de aguas negras. En el capítulo 5 se analiza la vulnerabilidad del acuífero, así como los problemas de la calidad del agua y sus efectos en la salud. En el capítulo 6 se habla del potencial de demanda futura, las propuestas de carácter administrativo dirigidas a alcanzar un servicio de distribución de agua más equitativo y una mayor estabilidad financiera. En el capítulo 7 se identifican los cambios recientes relativos a las políticas y la reglamentación del uso del agua; asimismo, se examinan algunos de los retos que las instituciones enfrentan para obtener un abasto de agua más efectivo y para lograr un mejor control de la calidad del agua.

Este reporte identifica aquellas áreas en las que se han alcanzado avances concretos, así como aquellas que permiten vislumbrar la oportunidad de mejorar el balance del abastecimiento, la demanda y la conservación del agua. En el capítulo 8, el Comité en pleno recomienda atender con mayor énfasis lo relativo a la administración de la demanda de agua, a través de nuevos mecanismos de medición y recaudación, pero también de la educación orientada a la conservación y los programas de reuso del agua. Hace falta un programa de investigación más amplio e integral para comprender mejor la conformación hidrológica regional. Es prioritario el tratamiento de las aguas negras municipales antes de ser vertidas a los sistemas de drenaje, para lo que se requiere además un vasto programa de protección del agua del subsuelo. Se proporcionan sugerencias para facilitar los cambios institucionales que permitan alentar una nueva perspectiva cultural sobre el valor del agua. Además de este reporte bilingüe, que resume gran parte de la información desarrollada en el transcurso del estudio, un reporte en español más detallado será publicado por la Academia Nacional de Ingeniería y la Academia de la Investigación Científica de México en 1995.

Un estudio de esta naturaleza no se propone identificar proyectos específicos. Los temas y las recomendaciones presentadas sólo tienen el propósito de ofrecer una guía general, mientras que los responsables de establecer y poner en práctica las políticas en torno al agua, tratan de llevar a cabo los distintos programas para administrar la cantidad y la calidad de los recursos acuíferos en la Zona Metropolitana del Valle de México.

---

[Volver a la pagina principal de "El Suministro de Agua..."](#)

Copyright © 1995 by the National Academy of Sciences. All Rights Reserved.



## Capítulo 2

### La Zona Metropolitana del Valle de México

Por razones históricas y políticas, México es un país muy centralizado, a pesar de los esfuerzos de descentralización realizados por el gobierno en los años recientes. A causa de esto, los servicios gubernamentales y el desarrollo industrial se han concentrado en la Ciudad de México. En ella se localiza el 45 por ciento de la actividad industrial nacional y tiene lugar el 38 por ciento de su producto nacional bruto. La ciudad alberga casi todas las oficinas de gobierno, los centros de negocios nacionales e internacionales, las actividades culturales, las universidades y los institutos de investigación más importantes. El rápido crecimiento de los últimos 50 años se ha caracterizado tanto por la expansión de áreas urbanas y residenciales planeadas para las clases media y alta, como por las invasiones ilegales de tierra y los asentamientos no planificados en las áreas periféricas. A lo largo del tiempo, las autoridades gubernamentales han prestado atención a estos asentamientos irregulares, proporcionándoles servicios urbanos que incluyen el abastecimiento de agua, aunque dichos servicios han sido insuficientes e inadecuados la mayor parte del tiempo.

La Ciudad de México está ubicada en un valle en la porción sur de la Cuenca de México; este valle, situado aproximadamente a 2,400 metros sobre el nivel del mar (msnm), está rodeado de sierras de origen volcánico con cumbres que alcanzan alturas superiores a los 5000 metros. Sus principales jurisdicciones políticas son el Distrito Federal (que alberga la capital del país), la mayor parte del Estado de México, así como porciones más pequeñas de los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla (figura 2-1).

El área comúnmente conocida como la Ciudad de México estaba tradicionalmente asociada a la parte norte-centro del Distrito Federal. Con la cre-

*Figura 2-1 La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se compone de todo el Distrito Federal (con 16 delegaciones) y la totalidad o partes de 17 municipios de Estado de México. El límite aproximado de la ZMVM se indica con línea gruesa. La punteada muestra la localización de la ZMVM en la Cuenca de México y los límites de otros estados: México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla-que el valle abarca parcialmente.*

*Fotografía 2-1 Vista aérea del Centro de la Ciudad de México. Cortesía de Robert Farvolden.*

ciente urbanización ocurrida en las últimas décadas, la designación incluye un área mayor que abarca todo el Distrito Federal y la totalidad o parte de la jurisdicción de los 17 municipios del vecino Estado de México. Las divisiones políticas de los estados mexicanos se conocen como municipios; asimismo, el Distrito Federal se divide en 16 delegaciones políticas. Para el propósito de este estudio, el área metropolitana será denominada como Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM); as las subdivisiones políticas de ambas jurisdicciones se les denominará genéricamente "municipios" (figura 2-1). Con una superficie de 3,733 kilómetros cuadrados, la Zona Metropolitana del Valle de México es uno de los centros urbanos más grandes y de mayor crecimiento en el mundo.

Los cálculos de la población de la ZMVM son inexactos. Tenía 15 millones de habitantes, según el censo de 1990 (INEGI, 1991a), pero de continuar su crecimiento al ritmo actual, se prevé que para el año 2000, la ZMVM tendrá 22.3 millones. La presión demográfica y el desarrollo han acarreado, como es natural, dificultades para planear el aprovisionamiento de los limitados recursos de agua disponibles. Mientras que el crecimiento de la población en las porciones urbanizadas del DF ha disminuido, e incluso ha declinado a partir de los años ochenta, la inmigración a las zonas aledañas, especialmente el Estado de México, ha sido en gran medida la responsable de aumento significativo de la población y de la expansión urbana. Las distintas formas de asentamientos ilegales o irregulares ya señalados han significado una preocupación particular al planificar la explotación de los recursos acuíferos. Muchos de estos asentamientos, conocidos como "ciudades perdidas" o "colonias populares," con el tiempo se establecen de manera más o menos definitiva. Eventualmente se les proporcionan servicios públicos, aunque, como ya se ha dicho, éstos suelen permanecer incompletos durante largos periodos. Los inmigrantes más recientes ocupan a menudo las áreas más inclinadas de los terrenos altos, hecho que representará una mayor complicación a la hora de intentar establecer el suministro de agua y el servicio de alcantarillado (véase AIC-ANIAC, 1995, para detalles adicionales sobre el crecimiento de la población de la ZMVM).

La larga historia como centro urbano de la porción norte del valle (historia que se inicia con la capital azteca, Tenochtitlan, en el siglo XIV), da fe de su poder de atracción. La hidrología de esta región incluye un excelente sistema acuífero y un buen número de manantiales. Sin embargo, la especial localización física de la Ciudad de México-ubicada en un valle alto dentro de una cerrada naturalmente por montañas-representa un reto singular para el suministro de agua a una población urbana de gran magnitud. Además, la ciudad está situada en el lecho de un antiguo lago salino, sin un drenaje natural; esto, aunado a un patrón de lluvias de temporal intensas, dificulta el desagüe de las tormentas. No existen fuentes importantes de agua superficial cercanas susceptibles de ser aprovechadas junto con la fuente local del subsuelo. Por si fuera poco, la elevación del valle provoca que la importación de agua sea una alternativa costosa. Por último, la unidad arcillosa del subsuelo bajo el área metropolitana tiende a consolidarse debido al peso de los edificios, lo cual provoca un asentamiento diferencial que, combinado con la sobreexplotación de los acuíferos subyacentes, tiene por efecto el hundimiento del suelo de la región.

---

[Volver](#) a la pagina principal de "El Suministro de Agua..."

Copyright © 1995 by the National Academy of Sciences. All Rights Reserved.

## Capítulo 3

### Descripción del acuífero y su explotación

La compleja geología de la Cuenca de México ha proporcionado a lo largo de la historia abundantes recursos de agua a sus habitantes a pesar de la escasez de agua superficial. En este capítulo se describen brevemente las características físicas y la hidrogeología de la cuenca, especialmente de la porción sur, donde la presencia humana ha sido un factor importante desde los tiempos de la capital azteca de Tenochtitlán. La historia de la explotación del acuífero de la Ciudad de México y los problemas de hundimiento asociados a él se examinan brevemente, asimismo se examina la disponibilidad de agua en el acuífero.

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E HIDROGEOLÓGICAS

La Cuenca del Valle de México se localiza en la parte central del Cinturón Volcánico Transmexicano y tiene un área aproximada de 9000 kilómetros cuadrados. El valle, situado a una altitud cercana a los 2,400 metros sobre el nivel del mar, es el más alto de la región y se encuentra rodeado por montañas que alcanzan elevaciones superiores a los 5000 metros. La temperatura promedio anual es de 15 grados centígrados (alrededor de 60 grados Fahrenheit). La mayor parte de los 700 milímetros de agua de lluvia que caen anualmente en la región se concentra en unas cuantas tormentas intensas, las cuales se presentan por lo regular de junio a septiembre; durante el resto del año las precipitaciones pluviales suelen ser escasas o nulas.

Esta cuenca es una depresión cerrada de manera natural, que a fines del siglo XVIII fue modificada artificialmente para controlar las inundaciones en la ciudad. Las fuentes de recarga del agua subterránea en la cuenca se derivan, en gran medida, de las precipitaciones infiltradas y de la nieve derretida en las montañas y cerros que la rodean; este flujo se desplaza en forma de una corriente subterránea hacia las zonas menos elevadas. En su estado natural, la cuenca tenía una serie de lagos, desde los de agua dulce en el extremo superior, hasta los salados del extremo más bajo, en los que se concentraba la sal debido a la evaporación. La corriente de agua subterránea originaba numerosos manantiales al pie de las montañas, así como pozos en el valle (figura 3-1).

Geológicamente, el área sur de la Sierra Guadalupe es la porción mejor investigada de la Cuenca de México. A esta área, que abarca la Ciudad de México, suele denominársele Valle de México, o porción sur de la cuenca, ya que está parcialmente dividida por varias montañas de menor elevación. De igual manera, al sistema acuífero con frecuencia se le llama Acuífero de la Ciudad de México. Los detalles de la geología subsuperficial de esta área, mostrados de manera esquemática en la figura 3-2, han sido descritos por Mooser (1990) y por Mooser y Molina (1983). La información se basa en datos tomados de una serie formada por cuatro pozos profundos de exploración y perfiles realizados por sísmica de reflexión, llevados a cabo por Petróleos Mexicanos (Pemex), la compañía de petróleo propiedad del gobierno, tras el terremoto del 19 de septiembre de 1985.

Los depósitos de arcillas lacustres superficiales (por ejemplo, la capa de arcilla existente tanto en el fondo del lago antiguo como en el del actual) cubren el 23 por ciento de las elevaciones menos pronunciadas del Valle de México. Los depósitos aparecen en formaciones divididas, por lo que se conocen como "capa dura". Compuesta principalmente de sedimentos y arena, la capa dura se localiza entre los 10 y los 40 metros de profundidad y sólo tiene unos cuantos metros de espesor. A las capas de arcillas lacustres superficiales que alcanzan una profundidad de 100 metros se les denomina acuitardo, y son considerablemente menos permeables que la capa dura o los sedimentos aluviales subyacentes. En el siglo XIX, al explotarse el agua del subsuelo por primera vez, la capa dura dio origen a los primeros pozos artesianos.

El relleno aluvial se encuentra por debajo de las arcillas lacustres y tiene un espesor de 100 a 500 metros. Este material está interstratificado con depósitos de basalto, tanto del Pleistoceno como recientes; juntos, abarcan la porción superior del acuífero principal en explotación (unidades 2, 3 y 4 de la figura 3-2). Otra unidad inferior del acuífero, compuesta por depósitos volcánicos estratificados que tienen de 100 a 600 metros de espesor, alcanza una profundidad que va de los 500 hasta los 1000 metros, aproximadamente (unidad 6 de la figura 3-2.). Esta unidad más profunda está limitada por un depósito de arcillas lacustres del Plioceno.

Tres principales zonas hidrológicas han sido definidas para el Valle de México: la zona lacustre, arriba descrita, el piedemonte o zona de transición y la zona montañosa. La distribución de estas tres zonas puede inferirse al analizar el mapa de elevaciones de la figura 3-3. La zona lacustre corresponde a las elevaciones de menor altura. La región piedemonte se encuentra por lo general entre el lecho de los antiguos lagos y las montañas de mayor pendiente. Aquí, las capas de arcilla lacustre se intercalan con las de sedimento y arena; en las áreas más cercanas a la base de las montañas, el piedemonte está compuesto en gran medida por basalto fracturado de flujos volcánicos. La formación de basalto es altamente permeable, con una buena capacidad de almacenamiento, y es considerada como el componente principal del acuífero en explotación; se encuentra expuesta cerca de la porción superior del piedemonte y se extiende por debajo de los depósitos aluviales del valle. El piedemonte, conocido también como zona de transición, es importante para la recarga natural del acuífero.

*Figura 3-1 Interpretación del sistema de flujo del agua subterránea en la Cuenca de México. La infiltración de las precipitaciones y el deshielo de la nieve de las montañas que lo rodean forman un nivel freático profundo (A) con gradientes negativos, algunos de los cuales existen en niveles freáticos someros (Bi) en la base de colinas o regiones piedemonte; la mayor parte fluye por debajo del valle y hacia arriba, a través de las arcillas como descarga difusa (Bii) y como manantiales termales (Biv) a través de las fracturas del acuífero profundo. Todas las pérdidas de agua de la cuenca cerrada ocurren por evapotranspiración (C). Fuente: Durazo y Farvolden, 1989.*

Las montañas que circundan la Cuenca de México son de origen volcánico. La Sierra Nevada se encuentra hacia el este, mientras que la Sierra de las Cruces se localiza hacia el oeste. La Sierra Chichinautzin, en el sur, forma la cadena más reciente. Su erupción ocurrió hace aproximadamente 600,000 años, bloqueando lo que antes fue un drenaje hacia el sur y

cerrando definitivamente la cuenca. La Sierra Chichinautzin es la zona de recarga natural del acuífero de la ZMVM, debido a la alta permeabilidad de su roca de basalto. Los grandes manantiales de Xochimilco son un punto de descarga del flujo subterráneo; aquí se localizan algunos de los pozos más productivos del área. Debido a que toda la cuenca se encuentra rodeada por montañas, probablemente existan otras zonas de recarga del acuífero.

El modelo conceptual de la porción sur de la cuenca ha permitido identificar dos unidades permeables más profundas: un acuífero intermedio y otro profundo. Ambos están pobremente caracterizados, pero se les considera independientes del acuífero principal. El acuífero intermedio se compone de depósitos volcánicos del Mioceno (unidades 9, 10 y 10a de la figura 3-2). La formación subyacente de calizas del Cretácico (unidades 11a y 11b de la figura 3-2) puede también ser un acuífero. En los lugares donde la formación de calizas se encuentra expuesta<sup>3/4</sup> la parte exterior de la porción sur de la cuenca<sup>3/4</sup> es donde generalmente se efectúa la explotación de agua subterránea.

*Figura 3-2 Estratigrafía esquemática de la porción sur de la Cuenca de México. Los números en la figura se refieren a las siguientes unidades: (1) depósitos de arcilla lacustre; (1a) capa dura (representada con línea punteada); (2) relleno aluvial; (3) basalto del Pleistoceno y más reciente, incluyendo la Sierra Chichinautzin; (4) formación Tarango; (4a) zona montañosa elevada; (5) colinas volcánicas y depósitos; (6) depósitos volcánicos estratificados; (7) formación montañosa del Plioceno; (8) depósitos lacustres más profundos del Plioceno; (9) depósitos volcánicos del Mioceno; (10) y (10a) depósitos volcánicos del Oligoceno; (11a) y (11b) base de calizas del Cretácico. La porción superior del acuífero principal está compuesta por las unidades (2), (3) y (4). La parte inferior del acuífero principal está integrada por la unidad (6). Las unidades (9), (10) y (11), que tampoco poseen caracterización, son consideradas acuíferos más profundos, diferentes del acuífero principal en explotación. Adaptado de Mooser, 1990.*

Históricamente, el principal acuífero abastecedor de agua estuvo sujeto a la presión artesiana, de manera que todos los pozos del fondo del valle llevaban el agua a la superficie sin necesidad de bombeo. Los gradientes hidráulicos naturales provocaban que el agua ascendiera sobre los acuitardos arcillosos, tal y como se muestra en la figura 3-1. La proliferación de pozos en los últimos cien años ha cambiado las condiciones hidrológicas naturales. Ahora, los gradientes y el flujo en las capas superiores de los depósitos se encuentran, generalmente revertidos, hacia las zonas de mayor extracción.

*Figura 3-3 Zonas de elevación en la Cuenca de México. La zona lacustre ocupa las elevaciones menores de la cuenca (tono claro). La región de piedemonte, o zona de transición (tono sombreado), se encuentra en las pendientes altas y bajas. El tipo de elevación más alta corresponde a la zona montañosa.*

## **DESCENSO DEL NIVEL DE AGUA EN EL ACUÍFERO Y HUNDIMIENTO DEL TERRENO**

En sus orígenes, en el siglo XIV, la ciudad azteca de Tenochtitlan utilizaba un elaborado sistema de acueductos para llevar agua de manantial desde la parte más alta de la porción sur de la Cuenca de México hasta la ciudad situada

*Fotografía 3-1 Como ejemplo de la magnitud de hundimiento, se muestra una tubería de un pozo elevándose alrededor de 7 metros sobre el nivel del piso, en un barrio de la Ciudad de México. Los niños del vecindario señalan su altura en el tubo para ver si ellos crecen más rápido que lo que el suelo se hunda. Cortesía de Robert Farvolden.*

en tierra y ganada al lago salino de Texcoco. Tras vencer a los aztecas en 1521, los españoles reconstruyeron estos acueductos y continuaron utilizando agua de manantial hasta mediados del siglo XIX. El descubrimiento en 1846 de agua potable subterránea proveniente de los pozos artesianos, provocó un furor por la perforación de pozos (Orozco y Berra, 1864). Hacia estos años, la extracción creciente de agua de pozo, combinada con los métodos artificiales de drenado del valle, provocó que muchos manantiales naturales se secaran, que los lagos menguaran y que el agua del subsuelo perdiera presión, con la subsecuente consolidación de las formaciones de arcilla lacustre sobre las que se asienta la ciudad. El consecuente hundimiento del terreno ha constituido un serio problema para la ZMVM desde principios del siglo XX. En 1953 ya se había demostrado que dicho hundimiento estaba asociado a la extracción de agua subterránea, por lo que muchos pozos del área urbana fueron clausurados.

Uno de los primeros signos de disminución en el nivel del agua subterránea fue el desecamiento de los manantiales naturales en los años treinta, hecho que coincidió con la explotación intensiva del acuífero principal por medio de pozos profundos (de 100 a 200 metros de profundidad). Aunque los niveles de agua subterránea se han medido durante décadas, estas mediciones fueron realizadas para proyectos muy específicos y, por lo tanto, no resultaron un indicador acertado del descenso que se comenta. En 1983 comenzó el muestreo sistemático de los niveles de agua en el acuífero (Lesser-Illades et al., 1990). Desde entonces, el promedio anual de descenso del agua subterránea va de 0.1 a 1.5 metros por año en las diferentes zonas de la ZMVM. Los niveles del agua durante el periodo que va de 1986 a 1992 muestran un descenso neto de 6 a 10 metros en las zonas más intensamente bombeadas de esta región.

Cuando el acuífero somero fue bombeado en forma extensiva, hacia 1850 y los últimos años del mismo siglo, el hundimiento del terreno ya tenía lugar. Cerca de 1895, el hundimiento había alcanzado un promedio de cinco centímetros por año. Con el creciente bombeo efectuado en el periodo que va de 1948 a 1953, el hundimiento había llegado a los 46 centímetros por año en algunas áreas. De acuerdo con la Gerencia de Aguas del Valle de México, el hundimiento neto en los últimos cien años ha hecho descender el nivel del suelo de la ZMVM un promedio de 7.5 metros. El resultado ha sido un daño extensivo a la infraestructura de la ciudad, que abarca los cimientos de los edificios y el sistema de alcantarillado.

Por el lugar que ocupa en el fondo del valle, la Ciudad de México siempre ha estado sujeta a las inundaciones. Como se ha visto, uno de los problemas más serios causados por el hundimiento es el descenso del nivel de la Zona Metropolitana respecto al lago de Texcoco-

el punto bajo natural de la porción sur de la cuenca. En 1900, el fondo del lago era 3 metros más profundo que el nivel medio del centro de la ciudad. Alrededor de 1974, el fondo del lago ya se encontraba dos metros más arriba. Estos cambios han agravado el problema de las inundaciones y han orientado la evolución del complejo sistema de drenaje creado para controlarlas (figura 3-4). A principios del siglo XIX, el drenaje de la ciudad era conducido mediante gravedad por el llamado Gran Canal del Desagüe, para finalmente desembocar por el túnel de Tequisquiác, al extremo norte del valle. Hacia 1950, el hundimiento de la ciudad era ya tan serio que hubieron de construirse diques para confinar la corriente de agua pluvial; asimismo, fue necesario bombear para elevar el agua del drenaje subterráneo al nivel del Canal del Desagüe. El aumento relativo del nivel del lago continuó amenazando a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México con inundaciones, lo que llevó a la necesidad de trabajar en el sistema de drenaje profundo y en las excavaciones para hacer más hondo el lago de Texcoco.

*FIGURA 3-4 Hundimiento de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. En esta figura se muestra el hundimiento progresivo de la ciudad en relación al Gran Canal del Desagüe. El sistema original, que funcionaba por gravedad, fue desactivado debido al fenómeno de hundimiento; alrededor de 1950 se hizo necesario instalar sistemas de bombeo para drenar el agua pluvial fuera de la ciudad. El hundimiento siguió causando problemas de inundación. En 1960, se construyó un sistema de interceptores de drenaje y recolectores profundos (Emisor Central), junto con una nueva salida artificial para la Cuenca de México. Fuente: Departamento del Distrito Federal, 1990a.*

En 1953, debido al severo hundimiento del centro de la ciudad, se clausuraron muchos pozos, al tiempo que se inició la construcción de otros nuevos en las regiones meridionales de Chalco, Tláhuac y Xochimilco. La velocidad normal de bombeo, 12.2 metros cúbicos por segundo, ha provocado en esta región hundimientos y descenso de los niveles del agua. Se han formado varios lagos en las depresiones creadas por la caída de los niveles del terreno en el área de bombeo. Al continuar los trabajos de bombeo, estos lagos continúan expandiéndose. La figura 3-5 muestra el hundimiento relativo del área del centro de la Ciudad de México y la llanura de Chalco, a partir de 1935, aproximadamente, y hasta la fecha (Ortega et al., 1993).

En 1925, Roberto Galo reportó a la Sociedad Mexicana de Ingenieros y Arquitectos que las investigaciones mostraban el paulatino hundimiento de la Ciudad de México; Gayol agregaba que la causa de esto era, posiblemente, el drenaje del subsuelo, relacionado con la entonces reciente construcción del Gran Canal del Desagüe y del túnel de Tequisquiác. La relación entre el hundimiento y la explotación del acuífero ha sido examinada muy de cerca desde aquella época. Nabor Carrillo fue el primero en desarrollar un modelo matemático para determinar la relación entre el hundimiento y el sistema hidrológico (Carrillo, 1948). Se instalaron pozos de observación y se empezaron a desarrollar programas institucionales de investigación a través de la Comisión Hidrológica del Valle de México y sus sucesores, la Comisión de Aguas del Valle de México y la Gerencia de Aguas del Valle de México (SAHR, 1953). Hiriart y Marsal (1969) realizaron una de las primeras revisiones exhaustivas del hundimiento. Se desarrollaron modelos más avanzados para sistemas semiconfinados de agua subterránea y para el sistema multiacuífero de la porción sur de la Cuenca de México, mismos que fueron aplicados al hundimiento de la Zona Metropolitana

del Valle de México (Herrera y Figueroa, 1969; Herrera, 1970), así como a otras investigaciones similares (Bredehoeft y Pinder, 1970). El Distrito Federal emplea en la actualidad versiones más recientes de dichos modelos (Herrera et al., 1989; Herrera et al., 1994), junto con una red de 320 pozos de observación para determinar los niveles del agua y la dirección del flujo. Cada dos años se realizan más de 1,400 inspecciones para medir las variaciones del hundimiento.

## **BALANCE DE AGUA DEL ACUÍFERO**

Es común recurrir a un balance de agua para determinar el volumen de agua disponible para ser utilizada; asimismo, cuando se considera necesario, se intenta hacer un balance de agua subterránea. En general, este balance representa un cálculo más o menos exacto, debido a que la entrada principal de agua a un depósito de agua superficial -- la precipitación pluvial -- puede medirse.

Las estimaciones del comportamiento de un sistema de agua subterránea se hacen menos precisas debido a que todos los datos que intervienen en los cálculos (propiedades de los medios, geología del subsuelo y definición de los sistemas de flujo) poseen un margen de error inherente que los hace inciertos. Finalmente, casi todos los sistemas de agua subterránea responden a las presiones con mucha mayor lentitud que los sistemas de agua superficial, de modo que los balances de agua no se emplean muy a menudo, excepto para consideraciones a largo plazo. Otra complicación consiste en que el balance de agua para el acuífero puede ser del todo distinto al correspondiente al sistema de agua subterránea en su conjunto; gran parte del agua que ingresa al agua subterránea puede no llegar al acuífero principal en cuestión.

*FIGURA 3-5 Medidas del hundimiento en el área del centro de la Ciudad de México y la llanura de Chalco, donde se ha llevado a cabo una extracción masiva de agua subterránea. La línea gruesa muestra el alcance de las mediciones en el área central de la ciudad. La línea punteada indica el hundimiento estimado en la llanura de Chalco antes de 1984. Fuente: Adaptado de Ortega et al., 1993.*

Por mucho, la mejor manera para determinar el balance del agua de un acuífero, es utilizar registros para el largo plazo de bombeo y de niveles de agua subterránea. Los descensos en los niveles de agua demuestran que el volumen de agua que está saliendo del sistema es mayor que el que ingresa, lo que indica un estado de sobreexplotación. Los acuíferos menos explotados permanecen en un estado de *quasi-equilibrium*. En tales casos, pueden esperarse fluctuaciones cíclicas o estacionales, pero a falta de grandes variaciones climáticas los niveles de agua a largo plazo permanecen estables en condiciones naturales.

Mediciones de campo han probado que el nivel freático de la porción superior del acuífero principal que abastece a la Ciudad de México ha descendido, aproximadamente, un metro por año (Herrera et al., 1994); según estos cálculos la sobreexplotación del acuífero está ocurriendo desde principios de este siglo, por lo menos. Cuánto tiempo podría durar esta clase de explotación es una pregunta que ha sido puesta a debate.



Los mejores cálculos acerca de la cantidad de agua subterránea almacenada provienen de investigaciones realizadas en la porción sur de la Cuenca de México (generalmente en la Sierra de Guadalupe), donde se han efectuado numerosos estudios geológicos. Al estimar el volumen de agua subterránea almacenada, es importante considerar las contribuciones de la capa de arcilla superior, así como el hecho de que esta capa (el acuitardo) no actúa como una capa confinante en un 30 por ciento de su extensión, ahí donde los niveles del agua han descendido por abajo del límite de esta capa. Sobre la base de las mediciones de campo y los modelos de esta región, el total del volumen saturado del acuífero en la parte sur de la cuenca ha sido estimado en 1,189.3 billones de metros cúbicos. La explotación anual en esta región se estima de 27.9 mcs. Esta cifra de extracción equivale a una pérdida de agua subterránea que oscila entre 3.45 y 5.59 billones de metros cúbicos anuales. La diferencia estriba en que los cálculos consideren, o no, que el agua que se queda en el acuitardo contribuye al volumen de agua del acuífero principal. A esta velocidad de extracción, el volumen calculado de almacenamiento es de 212 a 344 veces el volumen de explotación anual (véase Herrera et al., 1994, y AIC-ANIAC, 1994, para más detalles sobre este cálculo).

Aunque esta clase de balance de agua se usa comúnmente para calcular las variaciones en los volúmenes de agua subterránea, no representa una base confiable para desarrollar cifras de extracción a largo plazo. En la Zona Metropolitana del Valle de México, el hundimiento es el castigo a la sobreexplotación. El daño que esto representa para el sistema de drenaje y otras obras públicas ha sido señalado con anterioridad. Además, como se describirá de manera amplia en el capítulo 4, el acuífero es vulnerable a la contaminación que acompaña la consolidación, desecación y fracturamiento de las capas de arcilla del acuitardo. Una aproximación simple a través de un balance de agua no aporta información adicional. El volumen real disponible en el acuífero principal sería de igual manera menor al estimado, debido a la probable disminución de la porosidad con respecto a la profundidad. También hay límites prácticos y económicos para el bombeo a profundidad. Por último, las pruebas realizadas a los pozos profundos explorados por Pemex a fines de los ochenta indican la probabilidad de que existan problemas de calidad en el agua geológicamente inducida, debido a la profundidad, cada vez mayor, de los acuíferos.

Para obtener información más precisa acerca de la sustentabilidad de la extracción continua en el acuífero, se requerirían estudios específicos que incluyan observaciones de campo y el uso de modelos computacionales (véase AIC-ANIAC, 1995, para detalles adicionales sobre el balance del agua, la hidrogeología y la explotación del acuífero).

---

[Volver a la pagina principal de "El Suministro de Agua..."](#)

Copyright © 1995 by the National Academy of Sciences. All Rights Reserved.

## Capítulo 4

### Abastecimiento, Distribución y Aguas de Desecho

La administración de los recursos hidráulicos subterráneos de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es un problema vasto y complejo; integrar los conocimientos adquiridos con el tiempo acerca de estos recursos a la información institucional no es tarea fácil para ninguna ciudad de gran magnitud. En este capítulo se presenta una serie de datos sobre variados asuntos relativos al tema: los volúmenes de agua derivados de fuentes diversas, el tratamiento y distribución del agua, el tratamiento de aguas residuales, los sistemas de drenaje y el reciclaje de agua. De algún modo, este esfuerzo representa un logro singular: el de ofrecer, reunida por primera vez, una información tan variada sobre los recursos hídricos de la ZMVM.

Las distintas dependencias para la administración de agua del Distrito Federal y el Estado de México se han encargado, por lo general, de conservar los datos obtenidos para la operación, mantenimiento y planeación de sus respectivas áreas de servicio. Esta información no siempre se encuentra en los documentos que estas instancias generan y que se ponen a disposición del público. Con el propósito de mostrar un panorama global del sistema de abastecimiento de agua para toda el área metropolitana, el Comité responsable de este reporte ha solicitado y recibido de las autoridades cooperación e información de primer nivel sobre el tema.

Los datos cuantitativos que aquí se exponen relativos al abastecimiento, distribución y aguas residuales pueden parecer, en algunos aspectos, incompletos o imprecisos; sin embargo, muestran el cuadro actual de la administración de agua en la Zona Metropolitana del Valle de México; sin duda, la presentación de este cuadro puede mejorar en el futuro con otras aportaciones y con el abierto intercambio de información. Los recientes ajustes institucionales que se han llevado a cabo en México exigen hoy una aproximación cada vez más integral al problema de la administración de los recursos hídricos de la cuenca, y en el capítulo 7, se presentan algunas sugerencias relacionadas con este tema.

#### ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

##### Características de las Areas de Servicio

La administración de los servicios de agua y de desagüe en la ZMVM corresponde, en forma dividida, al Distrito Federal y al Estado de México; dentro de sus respectivos límites jurisdiccionales, cada entidad es responsable del abastecimiento de agua potable, así como de recolectar y disponer de las aguas residuales. Por su parte, la Comisión Nacional del Agua tiene la responsabilidad de llevar el agua en bloque a las áreas de servicio, operar la mayoría de los pozos profundos de abastecimiento y organizar aquellos aspectos relativos a los trabajos hidráulicos que tengan por objeto conducir el agua desde las cuencas vecinas. La tabla 4.1 muestra algunos de los usos característicos del agua en la ZMVM.

El Distrito Federal tiene una extensión cercana a los 1,504 kilómetros cuadrados. Mientras que el distrito entero se considera parte de la ZMVM, un área menor-aproximadamente 667 kilómetros cuadrados-recibe servicio del sistema de distribución de agua y del sistema de recolección de aguas residuales. Aunque el Departamento del Distrito Federal (DDF) es responsable de abastecer de agua potable, recolectar las aguas residuales y disponer de ellas en toda su jurisdicción, la parte sur del DF está poblada de manera dispersa y el abastecimiento de agua para esta área no está integrado al sistema de distribución. Muchos de los habitantes de esta porción del DF dependen de camiones tanque que transportan el agua para luego repartirla (pipas de agua), o bien de la que puedan obtener de los pozos y manantiales locales. Una parte de esta zona no cuenta con sistema de drenaje. Las autoridades han tratado de restringir aquí la urbanización debido a las dificultades que existen para llevar los servicios básicos, pero también porque se trata de una zona natural de recarga del agua subterránea.

De acuerdo con la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento (CEAS) del Estado de México, la zona metropolitana se extiende al este, norte y oeste del Distrito Federal, en 17 municipios del Estado de México, con un área total de 2,269 kilómetros cuadrados. Al igual que en el DF, un área más pequeña- aproximadamente 620 kilómetros cuadrados-recibe el servicio de distribución de agua y de los sistemas de drenaje. Juntas, las dos áreas metropolitanas de servicio equivalen a 1,287 kilómetros.

Según el censo de 1990, el 94 por ciento de los 15.1 millones de habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México reciben el servicio a través de redes de distribución conectadas directamente a las casas, o bien a una toma común de distribución en el vecindario (INEGI, 1991a). En el Distrito Federal hay un nivel de servicio de abastecimiento más alto (97 por ciento) que en el Estado de México (90.5 por ciento). El resto de los residentes tiene que obtener el agua de las pipas suministradas por el gobierno, o comprarla a camiones con tanques propiedad de empresas privadas que la venden a un precio relativamente alto. Los valores promedio de uso per cápita reportados para el Distrito Federal y el Estado de México son de 364 y 230 litros diarios, respectivamente. Las autoridades atribuyen el hecho de que el uso per cápita sea superior en el Distrito Federal a su mayor desarrollo y actividad industrial. Adicionalmente, en el Estado de México hay muchos pozos industriales privados cuya existencia no se refleja en los cálculos. El consumo per cápita no es excesivo cuando se compara con el de los Estados Unidos que varía de 250 a 1,120 litros por día, con un promedio diario de 660 litros.

---

TABLA 4.1 Características de la Zona Metropolitana del Valle de México y del servicio y consumo de agua en el Distrito Federal y en la zona conurbada del Estado de México.

---

	Distrito Federal	Estado de México
Área total de la ZMVM (kilómetros cuadrados)	1,504	2,269

Área servida por los sistemas de distribución de agua y drenaje (kilómetros cuadrados)	667	620
Población de la ZMVM (millones)	8.3	6.8
Consumo diario de agua per cápita (litros)	364	230
Consumo de agua por rubro (porcentaje)	67	80
Doméstico	17	17
Industrial	16	3
Servicios urbanos y comerciales		

---

*Fuentes: Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993; INEGI, 1991a.*

Un aspecto importante del servicio de agua es el monto no registrado de pérdidas debidas a fugas en el sistema de distribución. En los Estados Unidos, se utiliza a menudo el 15 por ciento para estimar empíricamente estas pérdidas, a falta de datos precisos. Un análisis realizado por Boland (1983), basado en informes de 1981 recolectados por la American Water Works Association, indicaba que por cada 120 compañías de suministro de agua en los Estados Unidos, las pérdidas fluctuaban entre 0.00 y 0.55, con un promedio simple (no ponderado) de 0.12. El estimado de 15 por ciento de pérdidas ha sido empleado por la Comisión Nacional del Agua en México, para fines de planeación; sin embargo, esta misma Comisión, acepta que las pérdidas de agua por filtraciones en la ZMVM fluctúan de manera muy amplia y que éstas podrían llegar a ser del 40 por ciento en algunas porciones del área de servicio. Las pérdidas por fugas en el sistema de distribución y las acciones para corregirlas se discuten en el capítulo 6.

### **Fuentes de Agua**

Actualmente, el uso de agua en la ZMVM es de aproximadamente 60 metros cúbicos por segundo (mcs) (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993). Aproximadamente 43 mcs, casi el 72 por ciento del agua utilizada, se obtiene de distintas baterías de pozos que se encuentran explotando el acuífero de la Cuenca de México (Tabla 4.2). En conjunto, el Distrito Federal y el Estado de México tienen 1,089 pozos registrados, a profundidades que van de 70 a 200 metros. Esta cifra no incluye los pozos de mayor profundidad, operados por la Comisión Nacional del Agua. Existe también un gran número de pozos no registrados, muchos de los cuales se encuentran en el Estado de México. Los pozos se localizan por lo general en cuatro campos diferentes, ubicados en el interior y en los alrededores de la ZMVM. Se les conoce como

campos de pozos del Sur (Xochimilco), Metropolitano, Este ( región de Texcoco) y Norte. Mazari y Mackay (1993) han reportado tasas de extracción ligeramente mayores (45 mcs). Fuentes de abastecimiento de agua relativamente menores, pero importantes a nivel local, se derivan de las aguas superficiales de la cuenca, en gran medida represas de pequeños ríos y manantiales superficiales. El agua traída de las cuencas del Cutzamala y el Lerma ( Figura 4-1) contribuye con alrededor de un 26 por ciento al abastecimiento total. Las cantidades que aporta cada una de las fuentes de agua se muestran en la Tabla 4.2 y se comentan al calce. Excepto en el caso del río Magdalena y la presa Madin, las mismas fuentes de agua en bloque dan servicio a las áreas metropolitanas del Distrito Federal y el Estado de México (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993).

El agua superficial de la Cuenca del Valle de México contribuye sólo con alrededor del 2 por ciento (1.4 mcs) al abastecimiento de agua de la ZMVM. El río Magdalena proporciona el agua para el Distrito Federal, mientras que la presa Madin, en el río Tlalnepantla, abastece al Estado de México. Cuando se encuentran disponibles, se emplean los pequeños arroyos y manantiales naturales, fuentes que también ingresan directamente al sistema de distribución.

Hacia la década de los años treinta, el continuo hundimiento del suelo, junto con la toma de conciencia de que las reservas de agua subterránea de la Cuenca de México comenzaban a agotarse, urgieron a las autoridades a explorar fuentes de agua fuera de esta región. En 1941 se inició la construcción de un acueducto de 15 kilómetros, para trasladar agua desde los pozos de la cuenca del río Lerma, sobre la línea divisoria con la Sierra de las Cruces. En 1982 se dio comienzo al proyecto Cutzamala, para repartir agua superficial desde la cuenca del río del mismo nombre, a una distancia de 127 kilómetros y con una elevación neta de 1,200 metros. En la actualidad, el proyecto Lerma-Cutzamala es un sistema combinado para trasladar agua tanto del río Cutzamala como de la cuenca del río Lerma; este sistema contribuye con un 26 por ciento al total de agua proporcionada a la ZMVM. La relación de estas cuencas vecinas con la Cuenca de México se muestra en la figura 4-1.

---

TABLA 4.2 Origen y cantidad del agua en bloque proporcionada a las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México. Todos los valores están en metros cúbicos por segundo (mcs).

---

Fuentes de agua en bloque	Distrito Federal	Estado de México	Total
Cuenca del Valle de México	22.7	20.3	43.0
Campos de pozos	0.2	-	0.2
Río Magdalena	-	0.5	0.5
Presa Madin	0.5	0.2	0.7
Manantiales y arroyos			

Fuentes Importadas			
Río Cutzamala	7.6	3.0	0.6
Campos de pozos del Lerma	4.3	1.0	5.3
Abastecimiento total de agua	35.3	25.0	60.3

*Fuentes: Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993.*

El sistema Lerma-Cutzamala acarrea 10.6 mcs de agua desde el río Cutzamala. Después de ser tratada cerca de los puntos de recolección, el agua del río Cutzamala es conducida a través de un acueducto. El agua subterránea importada de la cuenca del Lerma (4.3 mcs) es desinfectada con cloro e incorporada a este acueducto antes de integrarse al sistema de distribución de la ZMVM. Otro acueducto abastece al Estado de México con 1.0 mcs de agua subterránea, también obtenida de la cuenca del Lerma.

Como se muestra en la Figura 4-1, el gobierno federal ha identificado otras fuentes de agua en las cuencas vecinas para su potencial contribución al abastecimiento de agua de la ZMVM. Según la Comisión Nacional del Agua, la cantidad de agua potencialmente disponible de estas cuencas suma 43.7 mcs, cifra que iguala el total de extracción del acuífero. El Comité desconoce los costos por acarreo de agua desde estas áreas. En la actualidad, el gobierno planea traer 5 mcs de agua desde la cuenca del Temascaltepec; además, está considerando la posibilidad de acarrear 14.2 mcs desde la cuenca del Amacuzac.

*FIGURA 4.1 Abastecimiento existente y potencial de agua a la Zona Metropolitana del Valle de México desde cuencas vecinas. Todos los valores están en metros cúbicos por segundo (mcs). Las flechas sombreadas muestran que la ZMVM recibe normalmente 10.6 mcs de agua importada desde la cuenca del Cutzamala y 5.3 mcs de la cuenca del Lerma; estos flujos se mezclan en el sistema Lerma-Cutzamala. Las otras flechas y cifras señalan las nuevas fuentes potenciales de agua para la ZMVM, con base en estudios realizados por la Comisión Nacional del Agua.*

### **Tratamiento del Agua**

Dos plantas para tratamiento de agua procesan las fuentes de agua superficial en la Cuenca de México antes de enviarla a la ZMVM. En el Distrito Federal opera la planta del Río Magdalena, la cual aplica un proceso a base alum coagulación/floculación, sedimentación por gravedad, filtración de arenas rápidas y desinfección con cloro. La Comisión Nacional del Agua opera una planta de aguas superficiales en la presa Madin, que abastece al área de servicio del Estado de México y emplea un proceso de tratamiento similar al de la planta Magdalena.

La Comisión Nacional del Agua se encarga de dar tratamiento al agua importada del río Cutzamala en la planta llamada Los Berros. Éste consiste en precloración, alum coagulación/floculación, sedimentación por gravedad y filtración de arenas rápidas. Por lo general, dicha planta trata 10.6 mcs de agua (como se muestra en la Tabla 4-2), es decir que de algún modo opera por encima de su capacidad (10 mcs). Los tratamientos se efectúan cerca de la fuente de extracción, antes de que el agua penetre al sistema Lerma-Cutzamala para ser transportada a la ZMVM.

El tratamiento de las fuentes de agua subterránea consiste en aplicarles el procedimiento de cloración para obtener un valor de cloro residual total de 2.0 miligramos/litro, antes de que ingresen al sistema de distribución. De manera adicional, existen 326 estaciones de recloración a lo largo del sistema de distribución, que tienen por objeto mantener el cloro residual a nivel conveniente. El Distrito Federal posee tres plantas de tratamiento, diseñadas originalmente para influir en los niveles de tratamiento avanzado del agua subterránea, incluyendo la extracción de gases disueltos, coloración, turbidez, hierro, reducción de la dureza, filtración y cloración. Estas antiguas plantas se encuentran en malas condiciones y de acuerdo con la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal (DGCOH), ahora sólo aplican la desinfección con cloro. Sin embargo, existen otras plantas piloto que realizan tratamientos avanzados de agua subterránea, en forma experimental.

### **El Sistema de Distribución de Agua**

El área de servicio del Distrito Federal abarca casi 11,000 kilómetros de líneas de distribución y 243 tanques de almacenamiento, con una capacidad total de 1.5 millones de metros cúbicos. El agua proviene de todas las fuentes individuales que entran al sistema de distribución común. El Distrito Federal construye en la actualidad una línea de transmisión de agua (el Acueducto Periférico), destinada a transportar agua desde el sistema Cutzamala que entra al sistema de distribución por el oeste a las porciones sur y este del DF (Departamento del Distrito Federal, 1992b).

El sistema del Estado de México tiene aproximadamente 800 kilómetros de líneas de distribución y 32 tanques de almacenamiento, con una capacidad de 440,000 metros cúbicos. El Estado de México opera una línea de transmisión de agua de 49 kilómetros (el Macrocircuito) para transportar el agua que ingresa por la parte oeste del área de servicio (incluyendo el agua importada desde el sistema Lerma-Cutzamala) a la parte este de la zona (Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993). En la actualidad se trabaja para elevar la capacidad de esta línea de transmisión, aumentar el volumen de agua proveniente del sistema Cutzamala-Lerma a 7.3 mcs y ofrecer servicio al área este del sistema.

Como ya se dijo y se mostró en la Tabla 4.2, las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México comparten el agua de todas las fuentes, excepto la del río Magdalena (que surte sólo al Distrito Federal) y la de la presa Madin (que sólo surte al Estado de México). Las áreas de servicio de agua del Distrito Federal y del Estado de México dentro de la ZMVM están divididas en cinco distritos cada una; el agua entra al sistema de distribución por "puntos de ingreso" ubicados en uno o más sitios de cada distrito de servicio. La Figura 4-2 muestra un mapa de los distritos de servicio de agua y los puntos de

entrada asociados a cada uno en el Distrito Federal. No se contó con la información correspondiente para el área de servicio del Estado de México. La Figura 4-3 intenta mostrar las cantidades de agua originarias de cada una de las fuentes de agua subterránea y superficial, tal como se reparten entre el Distrito Federal y el Estado de México. El agua subterránea es extraída de los distritos y entra directamente al sistema de distribución. También se recolectan otras cantidades de agua procedentes de las baterías de pozos ubicadas fuera de las áreas de servicio, así como de algunas fuentes de agua superficial en el interior de la cuenca y del Sistema Lerma-Cutzamala. El agua recolectada en un determinado distrito de servicio no necesariamente ingresa al sistema de distribución del mismo distrito. Por ejemplo, el agua extraída de los pozos del distrito de servicio sur, al parecer ingresa al sistema de distribución en los distritos de servicio este y central. En el contexto de este reporte, es suficiente señalar que el sistema de distribución es complejo y está interconectado en toda la ZMVM. La información que aquí se presenta no ha sido difundida en ninguna otra publicación; hasta donde se tiene información, este documento representa el primer intento de describir, de manera conjunta, el sistema de distribución de agua en las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México.

## **RECOLECCIÓN Y DESECHO DE AGUAS RESIDUALES**

Un solo sistema de recolección o de drenaje funciona tanto para las áreas de servicio del Distrito Federal como para las del Estado de México en la ZMVM. Cada área de servicio tiene su propia red de drenaje; sin embargo, todos los drenajes descargan eventualmente en los interceptores generales del sistema general de drenaje, el cual conduce las aguas residuales por cuatro salidas artificiales localizadas en el extremo norte de la cuenca. Los principales componentes del sistema de drenaje se muestran en la Figura 4-4. En el Distrito Federal, la red del sistema abarca cerca de 10,000 kilómetros de largo, con 68 estaciones de bombeo, numerosos diques y lagunas para controlar el flujo, 111 kilómetros de canales abiertos, 42 kilómetros de ríos utilizados principalmente para drenaje y 118 kilómetros de túneles.

*FIGURA 4-2 Distritos de servicio de agua en el Distrito Federal y nombres de sus puntos de ingreso al sistema de distribución.*

Según el censo de 1990 (INEGI, 1991a), el 82 por ciento de los 15 millones de habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México recibe los servicios del sistema de drenaje; el 6 por ciento, aproximadamente, utiliza fosas

*FIGURE 4.3 Localización esquemática de las fuentes de agua para las áreas de servicio del Distrito Federal y el Estado de México en la ZMVM. Los números en negritas señalan las cantidades originadas en las fuentes subterráneas de agua; los números normales indican las fuentes de agua superficial. Agua subterránea es extraída de cada distrito de servicio. Las líneas muestran cantidades de agua que ingresan al sistema de distribución de otras fuentes, que en su totalidad, se ubican aún en la porción sur de la Cuenca de México, con excepción del Cutzamala y Lerma. La suma de todos los valores aparece en la parte inferior de cada área de servicio.*



*FIGURA 4-4 Sistema general de drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Fuente: Departamento del Distrito Federal, 1982.*

sépticas, y alrededor del 9 por ciento no posee ningún sistema de drenaje. Sin embargo, las diferencias en el interior de las áreas de servicio son notables, y en algunas delegaciones un sistema de drenaje sirve a menos de la mitad de los residentes. En el capítulo 6 se proporciona información adicional sobre el sistema de drenaje.

Las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, así como el agua de lluvia, se recolectan en una red secundaria consistente en un pequeño sistema de tuberías por vecindario; después, son conducidas a través de la red principal al Sistema General de Drenaje, para ser expulsadas de la cuenca hacia el norte. El Estado de México reporta que el flujo total en tiempo de seca para la ZMVM (flujo que consiste principalmente en aguas residuales municipales sin tratar) se estima en 44.4 mcs (Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993). En época de lluvias, la región recibe muchas tormentas de gran intensidad y corta duración. Una sola tormenta puede producir hasta 70 milímetros de lluvia (alrededor de 3 pulgadas), lo que representa un 10 por ciento del total de la precipitación anual. Debido al patrón de lluvias y a lo irregular del terreno, el sistema de drenaje general fue diseñado para acarrear 200 mcs en un período de 45 horas (Departamento del Distrito Federal, 1969).

### **Tratamiento de Aguas de Residuales**

Por lo general, el 90 por ciento de las aguas residuales municipales de la ZMVM permanece sin tratamiento y se desvía al exterior de la Cuenca de México a través del sistema general de drenaje. Las aguas residuales sin tratar se utilizan para irrigar 80,000 hectáreas de sembradíos en el Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo, hacia el norte. La corriente que regresa de la irrigación se drena hacia tributarios del río Panuco, el cual desemboca en el Golfo de México.

Aproximadamente el 10 por ciento de las aguas residuales tratadas en la ZMVM se reutiliza a nivel local en distintos proyectos, tales como la recarga de agua subterránea y la irrigación del paisaje urbano en la ciudad. Existen 13 plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal y 14 en el área de servicio del Estado de México, las cuales tratan un flujo total de 2.62 y 1.69 mcs, respectivamente (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993).

La Tabla 4.3 explica el flujo combinado durante las temporadas de lluvia y de seca, así como las características de las aguas residuales al salir de la cuenca a través del Gran Canal (flujo en tiempo de seca), o el drenaje profundo (flujo en tiempo de lluvia). Los valores que se otorgan a los múltiples contaminantes representan la concentración promedio para 1992. El promedio de concentración de estos mismos contaminantes en una agua residual típica en los Estados Unidos, se proporciona para fines de comparación, referidos a las calidades del agua-ligera, media o fuerte (U.S. Environmental Protection Agency y U.S. Agency for International Development, 1992).

*Fotografía 4-1 Vista del gran Canal del Desagüe, que transporte el agua pluvial y el drenaje proveniente del área metropolitana de la Ciudad de México. El Canal sale de la Cuenca de México a través del túnel de Tequisquiac y descarga en el Río Moctezuma a su vaz tributario del Río Pánuco que desemboca en el Golfo de México. Cortesía de Robert Farvolden.*

El nivel de muchos contaminantes en las aguas residuales y el flujo combinado durante las épocas de estiaje y de lluvia, es similar y a veces mayor que el de las aguas residuales típicas en Estados Unidos. La alta concentración de sólidos totales, sólidos totales disueltos y fósforo, así como de una menor cantidad de nitritos y nitratos, podría ser resultado de la descarga de aguas residuales provenientes de zonas industriales.

Las tablas 4.4 y 4.5 enlistan las plantas de tratamiento en operación para las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México, indicándose el valor de su capacidad de diseño y la capacidad a la que realmente están operando, el tipo de tratamiento que proporcionan y sus métodos de reuso (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993). El flujo total de las 13 plantas de tratamiento en el área de servicio del Distrito Federal (Tabla 4.4) equivale sólo al 55 por ciento de la capacidad para la que han sido diseñadas—por ejemplo, 2.6 contra 4.6 mcs (Departamento del Distrito Federal, 1992b). El tratamiento secundario en todas estas plantas se proporciona mediante la aplicación del proceso de sedimentación de lodos activados.

**TABLA 4.3 Características del flujo de aguas residuales en el Gran Canal al salir de la Cuenca de México.**

Contaminante	Flujo en tiempo de estiaje	Flujo en tiempo de lluvia	Rango de concentración <sup>b</sup>			Promedio en Estados Unidos
			Ligero	Medio	Fuerte	
Sólidos totales	1800	1800	350	720	1200	-
Sólidos totales disueltos	1611	1445	250	500	850	-
Sólidos totales suspendidos	179	357	100	220	350	192
Sólidos	2.0	2.33	5	10	20	-

asen- tados, mg/l						
Nitrato, como N	0.30	.030	0	0	0	0.60
Nitrito, como N	0.06	0.06	0	0	0	-
Total fósforo, como P	30	30	4	8	15	6.80
DBO	240	187	110	220	400	181

---

a Todos los valores en mg/l, excepto los señalados. b U.S. EPA y U.S. AID, 1992.

Los tratamientos terciarios, cuando se aplican, consisten en los métodos de coagulación/floculación, sedimentación, filtración de arena y desinfección. En caso de aplicar la desinfección, se añade cloro para lograr un residuo total de 1 mcs, sea en la planta de tratamiento o en el punto de reutilización.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal están especialmente ubicadas para abastecer a determinadas zonas dentro del área de servicio. Por lo tanto, las características de las aguas residuales sin tratar pueden ser distintas en cada planta, dependiendo del origen del agua-por ejemplo, residual, doméstico o industrial.

El funcionamiento de las plantas de El Rosario, Acueducto de Guadalupe y Colegio Militar no ha sido eficiente. Se reporta que los principales problemas asociados con el agua residual en estas tres plantas son el alto contenido de grasa, aceites, fósforo, nitritos y nitratos, la escasa eliminación de la alcalinidad y la dureza, así como alta conductividad eléctrica. Se sabe que una elevada concentración de aceite y grasa causa problemas operativos en diversos procesos de tratamiento secundario y terciario. De las tres plantas mencionadas, únicamente el Rosario proporciona tratamiento terciario, pero un tratamiento terciario que sólo reduce la concentración de fósforo. La unidad de operación y los procesos empleados en esta planta no están lo suficientemente bien diseñados como para eliminar los nitritos y los nitratos. Se reporta que la calidad del afluente tratado en las 10 plantas restantes cumple con los requerimientos que demanda su propósito específico de reuso.

---

TABLA 4.4 Plantas de tratamiento de aguas residuales en el área de servicio del Distrito Federal.

Planta	Capacidad original (mcs)	Flujo real (mcs)	Tipo de tratamiento	Práctica de reuso
Chapultepec	0.160	0.106	Secundario	RCI, IPU
Coyoacán	0.400	0.336	Secundario	RCI, IPU
Ciudad Deportiva	0.230	0.080	Secundario	IPU
San Juan de Aragón	0.500	0.364	Secundario	RCI, IPU
Tlatelolco	0.022	0.014	Secundario	IPU
Cerro de la Estrella	3.0	1.509	Secundario	RAI, IA
Bosque de las Lomas	0.055	0.027	Secundario	IPU
Acueducto de Guadalupe	0.08	0.057	Secundario	IPU
El Rosario	0.025	0.022	Terciario	RCI, IPU
S.L. Tlaxialtemalco	0.075	0.055	Terciario	RCI, RAI
Reclusorio Sur	0.030	0.013	Secundario	RCI, IPU
Iztacalco	0.013	0.010	Terciario	RCI, IPU
Colegio Militar	0.020	0.018	Secundario	RCI, IPU
Capacidad total	4.623	2.621		

*RCI: Represas de recreo con contacto esporádico; RAI: Recarga de agua subterránea por inyección; IPU: Irrigación del paisaje urbano; IA: Irrigación Agrícola. Fuente: Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993.*

En el caso de las 14 plantas de tratamiento ubicadas dentro del área de servicio del Estado de México (Tabla 4.5), puede notarse que sólo 7 de ellas ( el 50 por ciento) operan normalmente por abajo de su capacidad (Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993). Debido a que algunas de las plantas de tratamiento son operadas por una industria, o bien por el municipio donde se localizan, no se encontró información disponible acerca de la operación, por parte del departamento de Aguas y Saneamiento del Estado de México, de la totalidad de las plantas.

Los problemas relacionados con el manejo, tratamiento y eliminación de los residuos fecales sólidos que suelen generarse en las plantas de tratamiento de aguas residuales, constituyen un tema de la mayor importancia. Estos residuos pueden ser peligrosos si no se tratan o se desechan en forma adecuada. Sin embargo, ya que el tratamiento de aguas residuales en la ZMVM se lleva a cabo principalmente con el propósito de reuso más que de tratarlas para su eliminación, los residuos contenidos son aparentemente vertidos nuevamente al drenaje, sin ningún tratamiento.

TABLA 4.5 Plantas de tratamiento de aguas residuales en el área de servicio del Estado de México.

Planta	Capacidad original (mcs)	Flujo real (mcs)	Tipo de tratamiento	Práctica de reuso
Pintores	0.005	0.005	Secundario	IPU
Naucalli	0.040	0.030	Secundario	IPU
S.J. Ixhuatepec	0.150	0.030	Secundario	RI
Nezahualcóyotl	0.200	NA	Secundario	IPU
U. de Chapingo	0.040	0.040	ND	IPU
Lago de Texcoco (dos plantas de tratamiento)	1.50	1.000	Secundario Terciario	IA, L
Termoeléctrica V. de México	0.450	0.250	Secundario	RI
P. San Cristóbal	0.400	0.250	Secundario	RI
Lechería	0.030	0.010	Secundario	RI
Ford	0.030	0.030	Secundario	RI
Club de Golf Chiluca	20	20	ND	IPU
Revillagigedo Chiluca	20	20	ND	RI
La Estadía Chiluca	20	20	ND	RI
Capacidad total	2.905	1.685		

---

*IPU: Irrigación del paisaje urbano; IA: Irrigación agrícola; RI: Reutilización industrial; ND: No disponible; L: Expansión del lago. Fuente: Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993.*

## **REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE DE AGUA**

Por reutilización del agua se entiende la práctica de recuperar aguas degradadas para emplearlas, luego de aplicarles un nivel de tratamiento adecuado, con fines prácticos. Por reciclaje del agua se entiende la captura y recuperación de aguas degradadas, para volver a usarlas en el mismo proceso que las generó; a menudo, el reciclaje puede llevarse a cabo sin un tratamiento excesivo del agua-por ejemplo, mediante el empleo de un sistema industrial de enfriamiento de ciclo cerrado. Las aguas residuales municipales, que incluyen el agua generada en residencias, establecimientos comerciales, y a menudo en instalaciones industriales, son la fuente de agua de reuso de que se dispone más a menudo, luego de aplicárseles un grado satisfactorio de tratamiento. Otras fuentes de agua degradada han sido tomadas en cuenta para su reuso-por ejemplo, el agua de lluvia de desagüe y el flujo que regresa de la irrigación agrícola. Sin embargo, la calidad de estas otras fuentes es menos predecible que la del agua municipal tratada, por lo que la conveniencia o no de su reuso no es tan segura (National Research Council, 1994). La tabla 4.6 (Metcalf y Eddy, 1991), identifica las posibles aplicaciones del reuso de las aguas municipales recuperadas, junto con los problemas de mayor importancia asociados a cada una de ellas (si se desea información adicional, véase U.S. Environmental Protection Agency y U.S. Agency for International Development, 1992).

Las actividades de reuso del agua en la ZMVM comenzaron de manera oficial en 1984, con el Programa Nacional de Uso Eficiente del Agua (Departamento del Distrito Federal, 1990b). Los proyectos para el reuso del agua formaron parte de un programa más amplio destinado a reducir la pérdida de agua y mejorar los ingresos económicos por este concepto. Durante el periodo 1990-1992, el programa se concentró en varias actividades para el reuso del agua en la ZMVM, que incluyeron la protección de las zonas naturales de recarga del acuífero, la recarga del acuífero con agua de lluvia y aguas residuales municipales recuperadas, así como el uso de aguas residuales recuperadas de los sectores industrial y de servicios.

Este programa nacional abarcó el establecimiento de nuevos reglamentos para la descarga de aguas residuales en el Distrito Federal; en 1990, se establecieron las disposiciones para un programa industrial de "pretratamiento"-un importante requisito previo para las actividades de recuperación y reuso. Sin embargo, existe poca información disponible relativa a la duración y el éxito de los programas de pretratamiento industrial en la ZMVM. En el área de servicio del Distrito Federal, los 2.62 mcs de aguas residuales tratadas y reusadas (Tabla 4.3) se distribuyen de la manera siguiente: 83 por ciento para la irrigación del paisaje urbano y depósitos en áreas recreativas; 10 por ciento para uso industrial; 5 por ciento para irrigación agrícola; 2 por ciento para usos comerciales, como, por ejemplo, el lavado de automóviles (Departamento del Distrito Federal, 1992b).

El Estado de México ha implementado un programa específicamente diseñado para aumentar el uso de aguas residuales municipales. Las finalidades del programa incluyen: el desarrollo de estudios de viabilidad para la construcción de sistemas de tratamiento adicional, así como de una red de distribución que reparta las aguas residuales recuperadas para su reuso; la promoción de proyectos de reuso del agua entre los sectores privado y público; la rehabili-

---

TABLA 4.6 Aplicaciones para la reutilización de aguas residuales municipales recicladas y principales problemas relacionados con cada uso.

---

Aplicaciones para el reuso de aguas residuales	Problemas
<p><b>Irrigación Agrícola</b>  <i>Irrigación de cosechas; Viveros</i></p>	<p>Contaminación del agua superficial y subterránea si no se maneja correctamente;            Comercialización de las cosechas y aceptación del público.</p>
<p><b>Irrigación del paisaje urbano</b>  <i>Parque; Patio de escuela; Valla de carretera; Campo de golf; Cementerio; Cinturón verde; Residencial</i></p>	<p>Efecto en la calidad del agua, particularmente en las sales, en la tierra y las cosechas.            Problemas de salud pública relacionadas con agentes patógenos (bacterias, virus y parásitos)            Control del área de uso que abarca la zona de influencia. Puede ser muy costoso para los usuarios.</p>
<p><b>Reciclaje y reutilización industrial</b>  <i>Enfriamiento; Alimentación de calentadores; Agua procesada; Construcción pesada</i></p>	<p>Componentes del agua residual recuperada relacionados con escamaduras, corrosión, crecimiento biológico y obstrucción.            Problemas de salud pública, particularmente la transmisión atomizada de agentes patógenos al enfriar el agua.</p>
<p><b>Usos urbanos no potables</b>  <i>Protección contra incendios; Aire acondicionado; Agua para inodoros</i></p>	<p>Problemas de salud pública causados por elementos patógenos que se transmiten en forma atomizada.            Efectos de la calidad del agua en descamación, corrosión, crecimiento biológico y obstrucción.</p>

Conexiones cruzadas en las tuberías.

**Recarga de agua subterránea**

*Relleno de agua subterránea; Control de la intrusión de sal; Control del hundimiento*

Productos químicos orgánicos en las aguas residuales recuperadas y sus efectos tóxicos. Sólidos, nitratos y agentes patógenos totales disueltos en las aguas residuales recuperadas.

**Usos recreativos/ambientales**

*Represas, lagos y estanques; Agrandamiento de pantanos; Aumento del flujo de la corriente; Pesquerías; Fabricación de hielo*

Problemas de salud debidos a bacterias y virus; Eutroficación debida a los N y P al recibir el agua; Toxicidad que afecta la vida acuática.

**Reutilización como agua potable**

*Mezclada con agua del acuífero; Abastecimiento de agua de tubo a tubo*

Componentes de las aguas residuales recuperadas, en especial restos de productos químicos y sus efectos tóxicos; Aspecto y aceptación del público; Problemas de salud relacionados con la transmisión por agentes patógenos, especialmente de virus.

---

*Fuente: Metcalf y Eddy, Inc. 1991.*

itación de las plantas existentes para tratamiento de aguas residuales; la preparación de manuales de operación y mantenimiento, así como de otros registros destinados a mejorar la administración de los sistemas de tratamiento y reuso; la preparación de un cálculo cuantitativo del agua potable utilizada en la actualidad para diferentes actividades, que es susceptible de sustituirse con aguas residuales recuperadas. Bajo este programa, las actividades de reuso potencial del agua-que incluyen la irrigación agrícola, el uso industrial, el paisaje urbano y la recarga de los acuíferos-han sido localizadas dentro de distritos específicos de servicio en el área del Estado de México. Para el año 2000, el Estado de México pretende tener cuatro plantas para el tratamiento de aguas residuales nuevas, con una capacidad total de 8.6 mcs (Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993).

Las industrias del Distrito Federal reciclan o reusan 2.4 mcs de aguas residuales, principalmente para procesos de enfriamiento. Esta cantidad representa un aumento de 25 por ciento con respecto al nivel de reuso en 1990 y del doble en relación a 1988. Muchas



industrias tienen el potencial para reciclar o reusar el agua. La industria privada ha mostrado ya interés en los beneficios del reuso. Por ejemplo, 26 empresas privadas del área de Vallejo, en la ZMVM, iniciaron en 1989 un programa de reuso, para lo cual establecieron una compañía promotora con fines comerciales *Aguas Industriales de Vallejo* (World Bank, 1992). Esta compañía rehabilitó una vieja planta municipal para tratamiento de aguas residuales; hoy, distribuye agua recuperada a sus compañías accionistas a un costo igual a tres cuartas partes del precio fijado por el gobierno para la tarifa de agua potable. Asimismo, se ha estimado que la industria reusa la mayor parte de las aguas residuales tratadas en el área de servicio del Estado de México. El mercado potencial para las aguas residuales recuperadas varía según el tipo de tratamientos empleados, pero puede verse influenciado por las políticas gubernamentales relativas a las tarifas para el agua y al otorgamiento de las licencias para el uso de aguas residuales. Este tipo de políticas se analizan más a fondo en los capítulos 6 y 7.

Una mayor recuperación de aguas residuales, así como un esquema de reuso más amplio, se desarrollan actualmente en el lago de Texcoco, junto con programas de control y disminución de tolvaneras. Históricamente, el lago de Texcoco cubría gran parte de las zonas más bajas situadas en la porción sur de la Cuenca de México. Entre una temporada de lluvia y la siguiente, el lecho poco profundo y salino del lago se secaba y producía serias tolvaneras (Marsal, 1974). Para responder a este problema, se estableció en 1971 el Plan Texcoco. La solución consistía en crear estanques permanentes más pequeños adentro del lecho grande e irregular, así como en rehabilitar las áreas problemáticas para una futura expansión urbana y agrícola, mediante el empleo de rompevientos y de métodos de reforestación, irrigación agrícola y mejoramiento del drenaje, entre otros. Es interesante observar que los lagos artificiales más perdurables se crearon utilizando las lecciones aprendidas del problema del hundimiento. Las altas tasas de bombeo consolidaron las arcillas e hicieron descender hasta 4 metros el antiguo lecho del lago. El programa de reutilización del Plan Texcoco incluye la construcción de una laguna habilitada para el tratamiento de aguas residuales, así como la recuperación del agua de lluvia recolectada para la irrigación agrícola. De esta manera se reemplazará el agua potable que actualmente se utiliza para este propósito.

Las aguas residuales han sido añadidas a varios estanques de recreación en el Distrito Federal a través de varios proyectos de reutilización. Una parte de las aguas residuales tratadas por ocho de las plantas de tratamiento de aguas residuales del Distrito Federal se utilizó para este propósito. Uno de los proyectos más significativos es el uso de aguas residuales municipales recuperadas para mejorar el ecosistema lacustre de los históricos canales de Xochimilco.

La recarga artificial de agua subterránea ha sido usada en la región desde 1943 como un método para reducir las inundaciones, y esto todavía se aplica en la actualidad. Los primeros proyectos abarcaban la retención del desbordamiento y la ampliación de la superficie, la modificación de los canales, y los pozos de infiltración. Muchos de estos proyectos se llevaron a cabo en el basalto altamente permeable de las zonas altas y lograron tasas de infiltración muy altas en los periodos de lluvias torrenciales. La recarga artificial usando pozos de inyección se desarrolló primero en el Distrito Federal alrededor de 1953. Se reportaron cifras de inyección de agua de 0.1 a 0.3 mcs; sin embargo, la fuente o la

calidad del agua de recarga no se midió en esos primeros proyectos, y la mitad de los pozos fueron cerrados después debido a problemas operacionales. En 1970 se perforaron alrededor de 56 pozos con el propósito de infiltrar el agua de lluvia. Estos pozos tenían la capacidad de manejar en conjunto hasta 35 mcs de agua. Aunque los pozos no estaban diseñados para la recarga, el agua de lluvia llegó probablemente al acuífero. El Departamento del Distrito Federal está también desarrollando un sistema de represas en las laderas de la Magdalena Contreras, con el fin de recolectar el agua de lluvia y promover la infiltración natural.

El DDF construyó dos plantas piloto para el tratamiento de agua en 1983, para estudiar el potencial del tratamiento avanzado de aguas residuales del efluente secundario para su reuso como agua potable, y para examinar su potencial para tratar agua subterránea contaminada. Con base en los resultados de las plantas piloto, se construyó otra instalación con el mismo propósito, con la capacidad de 0.3 mcs, y diseñada tanto para tratar agua subterránea como para la reutilización potable directa. El objetivo del proyecto de reuso era mezclar el agua residual recuperada con agua subterránea tratada para añadirla directamente al sistema de distribución (Espino et al. , 1987). Normalmente, el agua residual recuperada se usa para procesos que no requieren agua potable.

El Proyecto Texcoco está llevando a cabo estudios sobre el reuso como agua potable de manera indirecta del agua residual recuperada a través de la recarga artificial del acuífero empleando tratamientos secundario y avanzado de aguas residuales municipales. El efluente final puede ser utilizado en represas de infiltración o pozos de inyección. En un programa separado llevado a cabo por el DDF, un estudio a nivel de planta piloto está inyectando agua que pasó del tratamiento avanzado directamente al acuífero a un ritmo de 0.05 mcs. Se utilizan pozos de monitoreo para detectar los cambios de la calidad del agua y de los niveles piezométricos.

Un reporte reciente del Consejo Nacional de Investigación (National Research Council, 1994) concluye que la recarga artificial con aguas residuales municipales recuperadas "ofrece particularmente un potencial significativo para usos no potables", y puede "...reducir la demanda de agua pura limitada con un riesgo mínimo para la salud." Si se considera la recarga artificial para usos potables indirectos, los riesgos para la salud pueden ser mayores y la aceptación del público es más incierta. De cualquier manera, pero especialmente en la que considera el reuso como agua potable, se requiere una planeación y un estudio minucioso previo al proyecto.

La recuperación de agua residual municipal para su posible reutilización directa (por ejemplo, "de tubería a tubería") se ha investigado en los Estados Unidos y en el resto del mundo a través de instalaciones experimentales. Aunque estas instalaciones han probado la posibilidad de reuso potable directo, un equipo a escala normal sólo ha sido empleado en Windhoek, Namibia, donde el agua residual recuperada se utilizó directamente como suplemento de la fuente normal de abastecimiento de agua (Odendaal y Hatting, 1987).

Aunque la planta de recuperación de Windhoek demostró la viabilidad del reuso directo del agua residual como agua potable, el efecto a largo plazo de esta forma de reuso sigue en duda y por lo tanto representa una preocupación. Aún está por determinarse el efecto

potencial que la exposición muy prolongada a los distintos químicos que se encuentran en las aguas residuales recuperadas puede tener en la salud. Otra gran preocupación es la posible presencia de restos orgánicos en el agua de desecho sin tratar, no detectados por las pruebas analíticas y que no puedan ser eliminados por las tecnologías actuales. Por estas razones (y tal vez por otras, como la falta de aceptación del público) la reutilización directa del agua residual como agua potable debe ser considerada con precaución y representar la opción menos deseable para resolver un problema de escasez de agua (véase AIC-ANIAC, 1995 para más detalles y ejemplos).

---

[Volver](#) a la pagina principal de "El Suministro de Agua..."

Copyright © 1995 by the National Academy of Sciences. All Rights Reserved.

## Capítulo 5

# Calidad del Agua y Problemas de Salud

### VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO

Debido a las impresionantes dimensiones y la gran densidad de población de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), así como al hecho de que casi tres cuartas partes del área dependen del acuífero para el abastecimiento de agua potable, la protección de la calidad del agua subterránea es de la mayor importancia. Los desechos originados por la actividad doméstica, industrial y comercial, contienen diversos gérmenes patógenos y contaminantes tóxicos que si no se manejan en forma adecuada pueden llegar a representar un peligro. La posibilidad de que esos contaminantes se filtren al agua subterránea depende de muchos factores, tales como la composición de los suelos (materiales geológicos), el nivel freático, la tasa de recarga y otros factores ambientales que influyen en la movilidad o la degradación de los contaminantes (National Research Council, 1993). En la ZMVM, estos elementos varían en cada una de las tres principales zonas hidrológicas: la zona lacustre, la zona de transición de la región piedemonte y la zona de montaña. Las características hidrológicas de estas tres áreas se describieron en el capítulo 3.

La zona de transición merece especial atención, debido a que en ella se combinan la permeabilidad natural, la rapidez del crecimiento urbano y el incremento del número de pozos de abastecimiento. Los problemas de uso del suelo son múltiples: una gran proporción de asentamientos que carecen de recolección de aguas negras; canales de drenaje no revestidos que llevan aguas residuales sin tratar y aguas negras de origen doméstico; basureros mal confinados, así como un mal manejo del almacenamiento y desecho de materiales peligrosos (Mazari y Mackay, 1993). La zona de montaña no está tan urbanizada como las zonas de menor elevación. Sin embargo, los asentamientos humanos irregulares dispersos en la ladera de las montañas aumentan la posibilidad de contaminación.

Hasta hace poco, se suponía que las arcillas lacustres que subyacen en gran parte del área urbana formaban una capa impermeable y protectora que evitaba la penetración subterránea de los contaminantes. Sin embargo, la desecación y la consolidación de las capas de arcilla han propiciado el desarrollo de fracturas que pueden actuar como conductos para la migración subterránea de contaminantes (Alberro y Hernández, 1990; Rudolph et al., 1991; Pitre, 1994). Desde la década de los cuarentas los gradientes de flujo se han abatido en las áreas más bombeadas, en contraste con las condiciones artesianas históricas (Carrillo, 1948). Los resultados de los modelos aplicados, así como los estudios de campo en sitios predeterminados, muestran que los contaminantes han migrado a mayor distancia en las arcillas que lo que se había predicho con base en una formación arcillosa homogénea-lo que apoya la hipótesis de que los contaminantes se mueven a través de las fracturas (Rudolph et al., 1991). Un estudio reciente en el valle de Chalco, región donde el bombeo ha sido exhaustivo (Ortega et al., 1993), detectó una consolidación significativa de las arcillas; los autores de este estudio concluyeron que el hundimiento continuará, con la consecuente liberación de sales y otros constituyentes químicos solubles del acuitardo, hacia el acuífero

principal localizado más abajo. Mientras estos estudios han detectado una migración en profundidad de los contaminantes, con la posibilidad de que se contamine el agua del subsuelo, ningún estudio ha determinado si estos contaminantes han alcanzado al principal acuífero en explotación. Ortega y sus colaboradores concluyeron que se requiere una mejor comprensión de la respuesta del acuífero a diferentes situaciones de bombeo, para lograr la protección y el manejo del mismo a largo plazo.

La falta de tratamiento de aguas residuales, así como la práctica de utilizar canales no revestidos para el transporte de los desechos sin tratar-un problema que atañe sin duda a la salud pública-están muy generalizadas en México y en el resto de Latinoamérica (Organización Panamericana de la Salud, 1990b; Cech y Essman, 1992). Se calcula que la ZMVM genera aproximadamente 44 mcs de aguas residuales (Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993); de acuerdo con el Distrito Federal, más del 90 por ciento de los desechos líquidos industriales se descarga en el sistema de drenaje (Lesser y Asociados, S.A., 1993). El sistema combinado de drenaje transporta aguas residuales y agua de lluvia a través de una red primaria de 1,212 kilómetros de largo y una red secundaria de 12,326 kilómetros de longitud. En algunos sitios, el nuevo sistema de drenaje profundo penetra por debajo del acuitardo e intercepta el acuífero principal. En la época de lluvias, las aguas residuales se filtran al subsuelo a través de los túneles profundos; esto puede crear problemas en muchos de los sitios que se localizan dentro de la zona lacustre y donde la protección de la capa de arcilla ya es insuficiente. Los canales no revestidos representan un riesgo adicional de contaminación del agua subterránea, particularmente en las zonas de transición donde el suelo es altamente permeable (Mazari, 1992).

Existen varios pozos abandonados en el área, algunos de ellos abiertos muy cerca de la superficie, otros mal sellados. Muchos están cerca de canales de drenaje no revestidos que contienen aguas residuales domésticas e industriales. Estos pozos abandonados pueden representar una ruta alterna y más directa de contaminación hacia el acuífero.

La ZMVM, que alberga la zona industrial más importante del país, contiene alrededor del 45 por ciento de la producción industrial de la nación. Según el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, la cantidad de desechos peligrosos generados en el Distrito Federal es de alrededor de 3 millones de toneladas por año, de las cuales más del 95 por ciento son efluentes procesados o efluentes tratados que se arrojan al sistema municipal de drenaje. La parte restante, alrededor de 150,000 toneladas, son desechos sólidos que en su gran mayoría son enviados a los basureros municipales, o bien a basureros ilegales. Además de los desechos que siguen produciéndose en forma cotidiana, existen alrededor de 40 millones de toneladas de desechos peligrosos generados desde los años cuarenta, cuando la industrialización del área se incrementó en forma muy notoria. Mientras que en el Distrito Federal se ha elaborado una lista con el nombre y los tipos de industrias existentes, en los otros estados de la Cuenca de México- México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla-no se ha hecho (véase AIC-ANIAC, 1995 para más detalles).

Aunque se han llevado a cabo investigaciones sobre el tipo de contaminantes producidos en diferentes instalaciones, así como sobre la migración de éstos al subsuelo de la ZMVM, el grupo de estudio encargado de elaborar este reporte no ha encontrado ningún trabajo que

examine las formaciones geológicas en el acuífero principal-examen que pudiera confirmar la contaminación del agua por fuentes industriales.

La producción y el manejo de desechos peligrosos están regulados por la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental publicada en 1988. Esta ley impone restricciones y controles a los productores de desechos peligrosos; asimismo, les exige registros y permisos que documenten los procesos industriales y establezcan prácticas de manejo. A pesar de las previsiones de la ley y los reglamentos, en la actualidad el manejo adecuado de desechos peligrosos en la ZMVM se ha visto seriamente comprometido a causa de la falta de facilidades para reciclar, tratar o retirar estos desechos. Dos compañías en el área metropolitana están autorizadas para reciclar cierto tipo de desechos. En la Cuenca de México no existen lugares específicos para desechos que tengan autorización para recibir materiales peligrosos.

Otra preocupación relacionada con la calidad del agua es el riesgo que conlleva la aplicación de pesticidas en tierras dedicadas a la agricultura. Aunque en México no existe información confiable acerca del grado de contaminación del agua causada por pesticidas, la Organización Panamericana de la Salud (1990a) ha identificado varias cuencas de ríos en las que el uso de pesticidas pudiera representar un problema, e incluye la Cuenca del Lerma, que abastece una parte del agua potable de la Ciudad de México. Se han detectado pesticidas en tejido adiposo humano en muestras obtenidas entre la población de la Ciudad de México (Albert et al., 1980). Aunque la contaminación del organismo humano por pesticidas ocurre con mayor facilidad a través del consumo de productos agrícolas, o bien a causa de la contaminación que los arroyos de los campos agrícolas pueden provocar en aguas superficiales utilizadas como fuentes de agua potable (National Research Council, 1993), el filtrado de los pesticidas al agua subterránea a través de la subsuperficie es otra vía contaminante potencial.

## **MUESTREO Y CERTIFICACIÓN SANITARIA**

Como responsable de certificar la calidad del agua para el consumo humano, la Secretaría de Salud ha promulgado una serie de normas que establecen los requerimientos para los sistemas de abastecimiento de agua, el transporte de agua potable y los distintos procedimientos de muestreo (Tabla 5.1). Como resultado, la calidad del agua potable en la ZMVM se observa mediante muestreos que permiten establecer niveles de químicos inorgánicos, químicos orgánicos y parámetros bacteriológicos y físicos. La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal (DGOH-DDF) mantiene en Xotepingo un laboratorio central de control, el cual se encarga de realizar los análisis de calidad, para evaluar las instalaciones que abastecen el agua, tales como pozos, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo y tanques de almacenamiento. También se realizan muestreos del agua en tomas domiciliarias en las colonias de las 16 delegaciones que conforman el Distrito Federal.

El análisis de la calidad del agua se efectúa en uno o cuatro niveles de muestreo, dependiendo de la estimación que se haga sobre el tipo de agua de la zona. Al muestreo más simple se le conoce como nivel A, y se utiliza para detectar contaminación bacteriológica y obtener información sobre residuos libres de cloro, acidez, conductividad

eléctrica, temperatura y turbiedad. El nivel 2A obtiene, adicionalmente, muestras de las características físicas y químicas prevalecientes en el Distrito Federal, tales como alcalinidad total, cloruros, color, demanda de oxígeno, dureza total y nitrógeno amoniacal.

El muestreo en el nivel 3A cumple con las normas para el agua potable, establecidas por la Secretaría de Salud. Estas normas incluyen los parámetros adicionales de cloro, dureza (calcio y magnesio), los fluoruros, los sólidos

---

TABLA 5.1 Normas desarrolladas por la Secretaría de Salud en 1991 para certificar la calidad del agua potable para uso humano

---

Contaminante	Norma mg/l1
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	1.00
Cadmio	0.005
Dureza del calcio en CaCO <sub>3</sub>	300.00
Demanda de oxígeno químico	3.00
Cromo (VI)	0.05
Cobre	1.50
Cianuro	0.05
Fluoruro	1.50
Hierro	0.30
Plomo	0.05
Dureza del magnesio en CaCO <sub>3</sub>	125.00
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos, en N	5.00
Nitritos, en N	0.05
Selenio	0.05

Sulfato	250.00
Alcalinidad total en CaCO <sub>3</sub>	400.00
Zinc	5.0
Extractivos de carbón-cloroformo	0.30
Extractivos de carbón-alcohol	1.5
Nitrógeno orgánico en N	0.10
Fenoles	0.001
Color, Pt-Co Unidades	20
Cloro libre	0.20
(agua con sobredosis)	1.00
Sustancias activas al azul de metileno	0.50
pH	6.9-8.5
Sabor y olor	ND
Turbiedad, NTU (escala sílica)	10
Coliformes fecales MPN, no./100 ml	0

---

*IA menos que se indique de otra forma. Publicadas en los Artículos 211-213 de la Ley general de salud, Diario oficial de la Federación, 14 de junio de 1991).*

totales disueltos, nitratos, nitritos, nitrógeno orgánico, sulfatos, sustancias activas al azul de metileno, potasio, sodio, aluminio, arsénico, bario, cadmio, cobre, cianuro, fluoruro, hierro, plomo, magnesio, manganeso, mercurio, níquel, plata, selenio y zinc. El nivel 4A es un procedimiento de muestreo intensivo, el cual se practica en donde se sospecha la existencia de problemas específicos; este tipo de muestreo puede abarcar componentes sintéticos orgánicos, demanda de oxígeno biológico y químico, radón y otros patógenos humanos. En 1992, los porcentajes de aplicación de estos niveles de análisis fueron de 70 por ciento de muestras A, 15 por ciento de muestras 2A, 10 por ciento de muestras 3A y 5 por ciento de muestras 4A.

Los datos comparativos de la calidad del agua son obtenidos mediante muestreos realizados por la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento del Estado de México para su área de



servicio. Sin embargo, el Estado de México tiene el mismo nivel de infraestructura y personal que el que posee la DGCOH-DDF para realizar muestreos de la calidad del agua.

## **CALIDAD DE LAS FUENTES DE AGUA**

La calidad del agua en el acuífero de la Cuenca de México varía; algunas de estas variaciones se deben a las características de las formaciones geológicas de la región. El agua de las arcillas superficiales es de muy baja calidad, debido a su alta concentración de sales disueltas (de 1,000 a 130,000 miligramos por litro, Rodríguez, 1987). Por esta razón, los pozos de producción que abastecen agua potable suelen tomarla a una profundidad de más de 400 metros, con la finalidad de captar el agua de mayor calidad del acuífero principal; sin embargo, se han documentado algunas intrusiones de aguas salinas en el acuífero principal (Lesser-Illades et al., 1990). Las sales y los sólidos totales disueltos en los pozos de producción aumentan generalmente al pie de las montañas y hacia el centro de la planicie, tal y como en los antiguos lagos había sitios donde la salinidad era mayor. Elevadas concentraciones de sulfuro, hierro y manganeso, provenientes de las formaciones geológicas volcánicas de la región, han sido detectadas en áreas específicas (Bellia, et al., 1992). Aunque esto no representa un serio problema, se han cerrado pozos en algunos lugares donde las concentraciones químicas inorgánicas son más altas que las marcadas por las normas de calidad del agua (SARH, 1988).

El Laboratorio Central de Control del Distrito Federal en Xotepingo ha elaborado mapas identificando parámetros adicionales de agua subterránea que indican el potencial de contaminación orgánica y/o biológica. Por ejemplo, en 1993 pruebas realizadas en pozos revelaron áreas en las que el agua no cumplía con los requisitos establecidos de color, sólidos totales, amoníaco, nitrógeno orgánico, nitratos, carbón orgánico y dureza. Estos problemas tienden a localizarse en la sección este del Distrito Federal, así como en algunas porciones de los campos de pozos que lo rodean, tal y como se aprecia en la Figura 5-1. Durante el mismo periodo, el agua en bloque de los pozos no cumplía con las normas fisicoquímicas fijadas ( en el 31 por ciento de los casos) ni con las normas bacteriológicas establecidas ( 21 por ciento). En algunos de los sitios donde se detectaron problemas de calidad del agua, se lleva a cabo un tratamiento adicional a pie de pozo-que incluye oxidación, filtración y adsorción con carbón activado-como parte de un programa piloto; los pozos que no cumplen con las normas han sido cerrados.

El Estado de México reporta que el 23 por ciento de los 242 pozos de abastecimiento de agua que surten a su área de servicio no cumplen con las normas establecidas para bacterias coliformes, mientras el 11 por ciento no lo hace con las normas relativas a constituyentes inorgánicos. En 21 pozos se ha reportado un aumento en la concentración de sulfuro de hidrógeno, aunque debe aclararse que no existe una norma para detectar su presencia.

La información sobre la calidad del agua proporcionada por la DGCOH-DDF y la Comisión Nacional del Agua (CNA), indica que las fuentes principales de agua superficial de la ZMVM-el río Cutzamala, el río Magdalena y la presa Madin-tienen una calidad aceptable en lo general, con excepción de los altos niveles de coliforme fecal en el río Cutzamala (Comisión Nacional de Investigación, 1994). Como se describe en el Capítulo 4, estas fuentes de agua superficial reciben tratamientos por coagulación química, filtración y

cloración. El agua subterránea es tratada, por lo general, con cloración-por lo que toda el agua está por lo menos desinfectada. El agua superficial de muchos manantiales pequeños contribuye en 0.7 mcs al abastecimiento de agua de la ZMVM. Pruebas reportadas por la DGCOH-DDF en 1993 indicaban que una alta proporción de manantiales no cumple con las normas fisicoquímicas (38 por ciento) ni bacteriológicas (76 por ciento). No se encontró información disponible respecto a la aplicación de un tratamiento distinto a la desinfección en estas fuentes superficiales.

## CALIDAD DEL AGUA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

El Laboratorio central de control de Xotepingo, en el Distrito Federal, analiza la calidad del agua en el sistema de distribución, mediante la aplicación de muestras en algunas estaciones hidrológicas-en el punto de entrada del agua que se envía al sistema de distribución, en las estaciones de bombeo y en los tanques de almacenamiento del sistema. El muestreo también se lleva a cabo en los puntos de la red llamados cruceros, en 1,270 colonias de las 16 delegaciones del Distrito Federal; en 1993 se tomaron 76, 968 muestras. En la Tabla 5.2 se muestra el porcentaje promedio obtenido en 1993 para el cumplimiento de norma de cloro libre (0.2 miligramos por litro) en las 16 delegaciones del Distrito Federal. La elasticidad osciló entre el 87 y el 100

*FIGURA 5-1 Áreas de los campos de pozos que abastecen al Distrito Federal, donde los parámetros indicados por las pruebas de calidad del agua no cumplen con las normas fijadas. Fuente: Laboratorio Central de Control de la DGCOH-DDF en Xotepingo.*

por ciento, pero fue notablemente menor en las Delegaciones en la porción sureste del Distrito Federal (Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco).

---

TABLA 5.2 Porcentaje de cumplimiento de norma de cloro libre (0.2 miligramos por litro) en el sistema de distribución de las colonias que conforman las 16 delegaciones del Distrito Federal. Las muestras fueron tomadas en 1993 en las llaves de agua de los consumidores

---

Delegaciones del Distrito Federal	Número de muestras	Porcentaje de cumplimiento de norma de cloro libre
Alvaro Obregón	7,060	95
Atzacapotzálco	5,520	99
Benito Juárez	3,107	96
Coyoacán	6,979	97
Cuajimálpa	1,337	97
Cuauhtemoc	2,555	96

Gustávo Madero	12,419	94
Iztacálco	3,572	96
Iztapalapa	19,210	87
Magdalena Contreras	1,709	93
Miguel Hidálgo	2,952	95
Milpa Alta	1,110	95
Tláhuac	4,023	87
Tlalpan	4,148	95
Venustiáno Carranza	3,414	95
Xochimílco	4,215	89

---

*Fuente: AIC-ANIAC, 1995.*

Las pruebas realizadas en el momento en que el agua ingresa por primera vez al sistema de distribución señalan cuatro puntos importantes, localizados en los distritos de servicio sur y este (Figura 4-2). El muestreo promedio para 1993 muestra además una coloración más intensa en el Cerro de la Estrella y en Metro Cúbico, un alto nivel de nitrógeno orgánico en La Caldera, y niveles relativamente altos de turbiedad en Metro Cúbico y Xotepingo. Existen 326 estaciones de reclusión en el sistema de distribución. Este paso adicional de desinfección contribuye, aparentemente, a que el porcentaje de cumplimiento de las propiedades bacteriológicas sea alto en las colonias muestreadas (Tabla 5.2). Aún así, se reportan niveles más bajos de cumplimiento en algunas delegaciones localizadas en los distritos de servicio del sur (en Xochimilco, por ejemplo) y al este (en Iztacalco e Iztapalapa, entre otras).

El Estado de México también realiza muestreos de calidad del agua potable en el sistema de distribución y las tomas domiciliarias. Muestras de agua de tomas domiciliarias fueron analizadas en las 17 delegaciones en 1993, para detectar la presencia de cloro residual. El porcentaje de muestras positivas recopiladas osciló entre el 47 y el 100 por ciento en los diferentes distritos (tabla 5.3). De acuerdo con las autoridades correspondientes en la entidad, el deterioro de la calidad del agua ha podido detectarse en las tomas domiciliarias en varias delegaciones; dicho deterioro, afirman, se debe a la infiltración de agua de mala calidad proveniente de un área localizada alrededor de un sistema con fugas de agua, así como a la precipitación de sales (principalmente calcio, magnesio, hierro y manganeso) en las líneas de distribución.

Las fugas en el sistema de distribución se cuentan entre las principales preocupaciones para quienes se ocupan tanto de la calidad como del abastecimiento de agua. Cuando el drenaje tiene fugas y existen líneas de conducción dislocadas, el suelo se impregnará induciendo infiltración de agua contaminada hacia las líneas de conducción, efecto que se acentúa cuando la presión es baja. De acuerdo con el laboratorio la calidad del agua de la DGCOH-DDF, las colonias que con mayor frecuencia experimentan interrupciones del servicio, reciben agua de mucho menor calidad que la de las colonias que reciben un abastecimiento constante.

Rivera et al. (1979) condujo el primer estudio independiente sobre la presencia de agentes patógenos en tomas domiciliarias en el Distrito Federal; la investigación encontró que 10 de un total de 25 muestras contenían una o más de las formas activas de organismos patógenos. Un estudio más reciente sobre la calidad bacteriológica del agua recibida en un hospital de la Ciudad de México (Juárez et al., 1989), encontró que el 90 por ciento de las muestras eran inaceptables debido a la concentración de cloro, o a los coliformes totales.

La irregularidad en el abastecimiento de agua hace de los tinacos para almacenamiento de agua una necesidad. El uso de tinacos es común en la mayoría de las azoteas; se utilizan para almacenar agua cuando la presión en el sistema es baja o inadecuada. En muchos lugares, los tanques permanecen abiertos y no se limpian con regularidad, lo cual propicia que el cloro residual se disipe y estimule la proliferación de microorganismos. La contaminación microbiológica de los tinacos puede deberse a la contaminación del cabezal del pozo, a la infiltración de contaminantes por las fugas del sistema de distribución de agua, así como a la contaminación por microorganismos suspendidos en la atmósfera, afectando directamente a los tinacos que se dejan destapados y expuestos (Rivera et al., 1994). Los niveles normales de cloro (0.2 miligramos/litro) que se mantienen en el sistema de distribución hasta las tomas domiciliarias, no son suficientes como para desactivar los microorganismos que puedan haber ingresado a las tuberías. La importancia de mantener un remanente de cloro estriba en que previene el crecimiento de lama en el sistema y, lo que es más, resulta un indicador cuando ocurre una recontaminación. La ausencia de este remanente es causa de preocupación, pues indica la posibilidad de que algún tipo de contaminación haya ocurrido-pues esta contaminación consumiría el cloro.

---

TABLA 5.3 Porcentaje de las muestras con residuos de cloro, en tomas domiciliarias de agua de los distritos metropolitanos del Estado de México. Los resultados son promedios obtenidos en 1993.

---

Municipios conurbados del Estado de Mexico	Porcentaje de cloro libre detectado
Atizapan de Zaragoza	81.4
Huixquilucan	89.4
Naucalpan	88.9

Nicolás Romero	80.9
Tlalnepantla	89.8
Cuautitlán Izcalli	76.1
Cuautitlán	16.6
Coacalco	100.0
Tultitlán	55.8
Ecatepec	96.7
Nezahualcóyotl	97.4
Tecámac	93.7
Chicoloapan	100.0
Chimalhuacán	83.3
La Paz	47.3
Chalco	56.0
Ixtapaluca	72.2

---

*Fuente: AIC-ANIAC, 1995.*

El agua residual que el Gran Canal envía al área de Chiconautla se utiliza para irrigar 5,500 hectáreas. Fuera de la cuenca, parte del agua residual en bloque se usa para irrigar alrededor de 80,000 hectáreas de sembradíos en el Estado de Hidalgo, una práctica que ha evolucionado desde 1934. La protección a la salud pública se maneja a través de restricciones a las cosechas, más que al tratamiento de aguas residuales. En 1991, la entonces Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), (hoy Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL) y la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SARH), establecieron una norma que prohíbe el uso de aguas residuales sin tratar en los productos agrícolas que pueden comerse crudos y en los que crecen en la superficie de la tierra. Sin embargo, la irrigación con aguas residuales sin tratamiento podría causar aún problemas de salud (Shuval, 1986), y también, deberá controlarse cuidadosamente la irrigación con aguas residuales tratadas. Como ejemplo, un estudio en la región de Xochimilco, al sur de la Ciudad de México, encontró niveles significativos de bacterias y coliformes fecales en el suelo y en algunos vegetales. La irrigación proviene de los canales de Xochimilco que reciben aguas residuales tratadas, pero el canal abierto, de 10 kilómetros de largo, está sujeto a la contaminación de los asentamientos humanos y las granjas adyacentes (Sepúlveda et al., 1987).

Además de la exposición directa a las aguas crudas que se introducen a los canales abiertos, los seres humanos están expuestos al polvo en áreas donde las aguas crudas llegan a resacarse. Este polvo, que suele quedar suspendido en partículas aéreas, puede contener protozoarios vivos. Aunque la mayoría de estos protozoarios aislados en las partículas aéreas no son patógenos, en algunos lugares específicos de la región de Xochimilco se han identificado algunos que sí lo son (Rivera et al., 1987).

## **PROBLEMAS DE SALUD ASOCIADOS AL AGUA**

En la ZMVM, al igual que en el resto del país, las enfermedades infecciosas gastrointestinales son el principal problema de salud. Los niños son especialmente vulnerables a este tipo de padecimientos, que a menudo provocan diarrea aguda y, en ocasiones, la muerte por deshidratación. En 1991, la tasa de diarrea aguda en México era de 3,233 casos por cada 100,000 habitantes; 46 por ciento de estos casos ocurrieron en niños menores de 5 años. La tasa de enfermedad en el Distrito Federal es más baja que la del Estado de México-y que la del país en general. En 1991, los datos del censo reportaron que las enfermedades infecciosas intestinales son la segunda causa principal de mortalidad infantil en toda la nación (con una tasa de 278.4 por cada 100,000), la tercera en el Estado de México (450 por 100,000) y la cuarta en el Distrito Federal (156.7 por 100,000) (INEGI, 1991a). La diarrea aguda prevalece en la ZMVM, donde algunas áreas muestran una mayor incidencia y mortalidad que otras. Las figuras 5-2a y 5-2b, muestran la incidencia de enfermedades diarreicas y las tasas de mortalidad de la población en las 16 delegaciones del Distrito Federal y en las 12 de los 17 municipios conurbados del Estado de México. El promedio de enfermedad y mortalidad es más elevado en las jurisdicciones con mayores características rurales, localizadas al sureste del Distrito Federal (Milpa Alta y Tláhuac), así como en algunos municipios similares del Estado de México. Como se explicará en el Capítulo 6, muchas de estas áreas tienen por lo general un acceso menor al agua conducida por tuberías hasta las casas habitación (véase Figura 6-1). Gracias a la administración de una efectiva terapia de rehidratación oral, la mortalidad debida a las enfermedades diarreicas ha descendido a partir de los años ochenta. Sin embargo, este tratamiento no ataca la causa de las enfermedades diarreicas.

Los parásitos protozoarios, como la *Giardia* y la *Entamoeba histolitica*, son agentes prominentes causales de diarrea. La disentería amibiana, endémica en México (Organización Panamericana de la Salud, 1990b), se transmite bajo la forma de quistes de *Entamoeba histolitica*, a menudo a través de agua de beber contaminada por heces (McFadzean y Pugh, 1976). El nivel normal de cloro tiene poco o ningún efecto en la amiba enquistada (Rose et al., 1991). Las infecciones de *Giardia* en niños pequeños representan igualmente un problema y prevalecen con promedios elevados en las áreas pobres de la Ciudad de México (Marrow et al., 1992). Otros parásitos protozoarios dañinos para la salud documentados en la Ciudad de México son el *Balantidium coli*, *Naegleria fowleri*, así como algunas especies de *Acantamoeba* (Rivera et al., 1978, 1983, 1984, 1986). La exposición a las especies patógenas de *Naegleria* y *Acantamoeba* puede provocar desórdenes en el sistema nervioso central e incluso la muerte, especialmente en niños pequeños. Se cree que los patógenos se adquieren por la nariz al nadar. Los niños que acostumbran jugar en el agua están especialmente en riesgo. Por esta razón, las autoridades deben poner especial cuidado en que las aguas destinadas al uso recreativo reciban los tratamientos adecuados.

Una gran variedad de virus entéricos pueden ser ingeridos en el agua no potable, incluidos algunos subgrupos de poliovirus, virus coxsackie, ecovirus, así como virus de hepatitis infecciosas. Estos virus pueden provocar desórdenes respiratorios, gastrointestinales y del sistema nervioso central. La hepatitis infecciosa produce enfermedades del hígado; la hepatitis A es, probablemente, endémica en México (Cech y Essman, 1992). En 1986 ocurrieron dos grandes crisis de hepatitis aguda en el Estado de Morelos, al sur de la Ciudad de México, en áreas sin servicio de agua, o con falta de servicio de drenaje. Esta fue la primera hepatitis epidémica distinta a las tipo A y B provocada por agua, documentada en Latinoamérica (Okun, 1991).

Entre todas las enfermedades conocidas causantes de diarrea, la bacteria del cólera, el *Vibrio cholera*, sobresale por su aguda sintomatología. En 1991 se reportaron casos de cólera en Perú; desde entonces, la enfermedad se propagó a la gran mayoría de los países latinoamericanos. En México hubo 2,690 casos, de los cuales un pequeño porcentaje (entre dos y tres por ciento) tuvo lugar en la Zona Metropolitana del Valle de México. Otras bacterias que afectan la salud transmitidas por agua contaminada, o por comida infectada por el uso de agua contaminada, son la *Salmonella*, *Shigela*, *Campylobacter foetus*, *Yersinia enterocolitica* y *E. coli* (Sarti- Gutiérrez et al., 1989; Castro, 1991).

La criptoesporidiosis es una de las más graves enfermedades microbianas, porque puede causar infección aún a bajas concentraciones y se adapta muy bien a vivir in el agua y prede ser resistente a la desinfección que generalmente se aplica al agua potable (Rose, 1993). Como lo evidenció el estallido de más de 400,000 casos, y más de 100 muertes en Milwaukee en abril de 1993, la contaminación puede ocurrir a pesar de que no se excedan los límites indicados en las normas para el agua potable (Fox, 1993; Rowan, 1993). No hay una terapia conocida para esta infección (Soave, 1990), y personas que tengan deficiencias del sistema inmunológico, como los pacientes de SIDA, niños y pacientes de cáncer, pueden encontrarse en riesgo. Debido a su similitud con otras enfermedades diarréicas, la criptoesporidiosis no aparecerá de manera aislada hasta que se haga un esfuerzo por encontrarla, y por ende los datos son escasos.

### **Problemas de Salud Debidos a la Presencia de Químicos Tóxicos**

Además de los problemas típicos de los países en desarrollo, tales como la alta frecuencia de enfermedades infecciosas causadas por la contaminación fecal, México enfrenta los problemas característicos de las sociedades industriales (Organización Panamericana de la Salud, 1990b, 1990a). La contaminación del agua con químicos tóxicos (al igual que la contaminación del aire, el suelo y la comida) va en aumento en México. Lo químicos más preocupantes son los nitratos, los metales tóxicos y otros contaminantes inorgánicos, distintos solventes orgánicos volátiles y semivolátiles, los pesticidas agrícolas, los herbicidas y los radioquímicos. Además, son contribuyentes potenciales los lixiviados tóxicos originados por los restos químicos indebidamente desechados, las fugas en el almacenamiento subterráneo de productos industriales o generadores de energía, el agua de lluvia contaminada por la contaminación del aire, el escurrimiento en zonas agrícolas y los desechos procedentes de la actividad minera. Algunos químicos pueden provocar una toxicidad aguda o crónica. Otros pueden ser genotóxicos y tener efectos carcinogénicos, mutagénicos o teratogénicos. Según la Organización Panamericana de la Salud (1990a),

aunque aún son superados como causa de mortalidad por las enfermedades transmisibles, los cánceres empiezan a emerger como riesgos crecientes en México y otros países latinoamericanos.

Los productos derivados de la desinfección con cloro del agua ya tratada (por ejemplo, los trihalometanos), se han convertido en tema de preocupación para las sociedades industrializadas. Estos derivados tóxicos se forman cuando al agua que contiene componentes orgánicos se le añade cloro para desinfectarla. El resultado del balance entre el riesgo de los derivados de la desinfección (que son riesgos de bajo nivel y a largo plazo) y el riesgo de los microorganismos infecciosos, ha sido examinado recientemente (véase, por ejemplo, International Life Sciences Institute, 1992; Craun, et al., 1994b). Frente a las altas tasas de mortalidad por enfermedades contraídas a través del agua, los riesgos de enfermedades crónicas derivadas de su desinfección, riesgos comparativamente mucho menores, no tienen una prioridad tan alta.

---

[Volver](#) a la pagina principal de "El Suministro de Agua..."

Copyright © 1995 by the National Academy of Sciences. All Rights Reserved.



## Capítulo 6

### Administración de la Demanda de Agua

Los problemas de calidad del agua y las limitaciones en su abastecimiento en la Zona Metropolitana del Valle de México están relacionados principalmente con el crecimiento de la población, así como con las tendencias macroeconómicas y de la economía regional, asuntos que escapan a la competencia de los funcionarios encargados de la planeación de su manejo. La planeación del uso de la tierra juega también un papel importante en el crecimiento de la región (véase los reportes de Garza, 1987 y 1989). En la actualidad, se llevan a cabo esfuerzos decididos para proteger de nuevas invasiones las áreas de recarga del acuífero y el espacio abierto restante; sin embargo, los esfuerzos por controlar el crecimiento en la periferia urbana seguirán enfrentando dificultades. Aunque la amplitud de estos temas sociales rebasa los fines de este reporte, es claro que los costos que implicaría integrar nuevas fuentes de abastecimiento a la ZMVM se antojan prohibitivos en un futuro predecible-especialmente si son considerados los costos reales y los daños a terceros. Es claro también que el costo total del uso de agua en la ciudad debe incluir el costo del desarrollo de sistemas de alcantarillado, así como el de instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales.

Este capítulo contempla tres problemas no menos conocidos, aunque tampoco menos fundamentales: (1) el descuido de las políticas de conservación en la planeación del sector agua; (2) los graves problemas financieros asociados a las tarifas y recaudación tradicionales; (3) el difícil y a menudo inadecuado acceso al agua de buena calidad que afecta a las zonas marginadas de la cuenca. Aunque la naturaleza de estos problemas tiende a ser más conductual que técnica, las soluciones propuestas en el presente capítulo (soluciones que pueden describirse como de administración de la demanda) son directas y factibles. La administración de la demanda tiene dos componentes esenciales: (1) la conservación, para preservar las reservas disponibles, y (2) la recuperación de costos. La administración de la demanda es complementaria a las soluciones tecnológicas que buscan aumentar la disponibilidad de agua y asegurar que ésta se utilice de manera eficiente y equitativa. La administración de la demanda no es una reacción ante una situación de crisis, sino una herramienta que puede aplicarse bajo cualquier circunstancia.

Sin embargo, las estrategias de administración de la demanda pueden no resultar populares, pues hacen evidente el precio real del agua al revelar la verdadera distribución de costos y beneficios de un consumo ampliamente subsidiado. En consecuencia, las tarifas del agua en la mayoría de las metrópolis tienden a mantenerse muy por debajo de los costos reales, dado que los gobiernos locales temen tener que enfrentarse a reacciones adversas. Por lo tanto, las políticas de administración de la demanda se llevan a cabo en raras ocasiones, a menos que la situación se torne muy comprometida-como sucede hoy en la ZMVM.

#### **PROBLEMAS Y PRIORIDADES**

Reconocer el problema que implica enfrentar demandas crecientes de agua con un nivel de calidad aceptable es una actitud reciente en México. Buenfil (1993), enlistó en la forma

siguiente los principales temas relativos al abastecimiento de agua: conservación ; recuperación de costos y solvencia financiera de la entidad que distribuya el agua; equidad en su uso; pérdidas no calculadas en el abastecimiento; necesidad de información.

En muchos sentidos, la recuperación de costos es un asunto más urgente que el de la conservación. En México, los altos subsidios otorgados al abastecimiento de agua han permitido el acceso a volúmenes ilimitados a un costo artificialmente bajo. Debido a que las industrias consumen grandes cantidades de agua, estos subsidios han servido para alentar el desarrollo industrial en la ZMVM. Por lo tanto, los subsidios han propiciado un mayor consumo y han contribuido a agudizar la escasez del agua. Esta situación no sólo es propia de México, pues hasta hace poco ofrecer agua a bajo costo era una política común en todo el mundo. Los subsidios para el agua han sido siempre populares cuando los gobiernos han querido promover el desarrollo económico local. También han sido defendidos como políticas para combatir la pobreza.

Dadas las restricciones presupuestales, los niveles históricos de subsidio al sector del agua ya no son sostenibles. Las autoridades del ramo se han percatado de que deben recurrir a los usuarios para recabar fondos que permitan mantener el nivel de servicio existente e invertir para mejorarlo en el futuro. Más de N\$ 3,000 millones de nuevos pesos al año se invierten en subsidiar el agua y los servicios sanitarios en el Distrito Federal, estos es alrededor de N\$375 por persona (World Bank, 1992). En el DF apenas se cobran N\$0.323 por metro cúbico de agua (considerablemente menos que en otras ciudades de México), aun cuando el costo marginal de abastecimiento de agua a la ZMVM, es de alrededor de N\$3.00 por metro cúbico, que es uno de los más altos del país (World Bank, 1992). Por ejemplo, en la ciudad de Monterrey, se cobra N\$1.158 por metro cúbico. Municipios conurbados del California del Sur compran agua de importación por aproximadamente \$0.33 por metro cúbico (1994 precios). El precio domestico varían de como \$0.22 al Irvine Ranch Water Distrit, que tiene acceso a agua subterránea, a como \$0.46 por medidor cúbico por La Ciudad de San Diego, que importa casi toda su agua.

A pesar de que las estrategias de administración de la demanda han sido subutilizadas en el pasado, es importante reconocer que este descuido es característico de la planeación del abastecimiento de agua en todo el mundo y, más aún, que las principales reformas relativas a la demanda ya tienen lugar en México. De hecho, en muchos aspectos México se encuentra a la vanguardia de los países en desarrollo. Cada vez más, se reconoce que el agua es un bien económico, por lo que comienza a implementarse una política de precios adecuados para reducir el gasto y aumentar la recuperación de costos, apoyar la expansión financiera y mejorar los sistemas de abastecimiento de agua en todo el país. El Departamento del Distrito Federal (DDF) ha iniciado un ambicioso programa para reemplazar los muebles y accesorios de baño existentes por unos de menor consumo de agua, y con especial decisión se ha dado a la tarea de corregir las fugas en el sistema. Durante el año pasado se introdujeron varios programas y leyes federales nuevas, entre estos un programa de cobro por el uso de efluentes, para financiar el tratamiento de aguas residuales, así como una serie de cambios en la asignación de los derechos del agua. La última reforma permitió a iniciar un diálogo abierto entre las partes interesadas sobre la posibilidad de negociar derechos por el uso del agua en un mercado abierto. Se observa una tendencia hacia la administración privada de los servicios municipales, en términos que

mantengan la propiedad pública y al mismo tiempo introduzcan en forma gradual la competencia. Estos cambios institucionales se discuten en el capítulo 7.

## **IMPUESTOS SOBRE EL USO Y ACCESO AL AGUA EN LA ZMVM**

Un análisis riguroso de la demanda de agua debe incluir un pronóstico o un cálculo de los requerimientos de agua (véase Piña et al., 1993, para una aproximación de este tipo en 30 ciudades mexicanas). Sin embargo, la predicción confiable de la demanda es un procedimiento técnico complejo, que requiere de recabar un número considerable de datos precisos (véase Kindler y Russell, 1984, y Munashinghe, 1992) y que por lo tanto está más allá del alcance de este reporte. En su lugar, la aproximación realizada en este estudio consiste en presentar un perfil relativo al uso del agua en la ZMVM, en la medida que lo permiten los datos disponibles, para determinar hacia dónde se pueden dirigir de manera adecuada los esfuerzos de conservación. Un estudio como este puede también ayudar a detectar cuáles regiones tienen mayor necesidad de mejorar su abasto como función de su economía.

Como se señaló en el capítulo 4 (tabla 4.1), la mayor parte del uso de agua en la ZMVM es de carácter "doméstico"; le siguen el uso "industrial" y, por último, el "comercial y de servicios". Para fines de conservación, es más fácil negociar con aquellos usuarios que usan grandes cantidades de agua y son susceptibles de reaccionar a los incentivos de conservación (World Bank, 1991). La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulicas del Departamento del Distrito Federal (DGCOH-DDF) ha identificado hasta 60,000 usuarios "principales" de agua-aquellos que consumen por lo menos 60 metros cúbicos mensuales. Esta cifra incluye a 3,107 usuarios industriales, 16,157 usuarios comerciales y 39,892 usuarios residenciales (Departamento del Distrito Federal, 1992b).

Hasta 1991 las tarifas para los usuarios industriales y comerciales fueron las mismas que las que se aplicaban a los usuarios domésticos (Bahl y Linn, 1992). En la actualidad, la tarifa para el uso no doméstico es considerablemente más alta. La estructura de tarifas adoptada en 1991-una tarifa progresiva en bloque que cobra más por metro cúbico en los niveles de consumo más altos-proporciona a las industrias con sistema de medición de consumo, mayores incentivos para emprender acciones dirigidas a la conservación (tabla 6.1).

A los usuarios no domésticos sin medidores, incluida la industria, se les cobra con base en el diámetro de la tubería. Por ejemplo, una cuota bimestral de N\$84 se carga por las tuberías menores de 13 milímetros de diámetro, y la tarifa aumenta rápidamente conforme aumenta el diámetro de la tubería, hasta alcanzar los N\$669,235 en el caso de tuberías mayores a los 300 milímetros de diámetro (Departamento del Distrito Federal, 1992b). Los cargos más altos se cobran a usuarios como la Cervecería Moctezuma. El Departamento del Distrito Federal ha puesto especial énfasis en instalar medidores a los usuarios que consumen más de 240 metros cúbicos por bimestre (Departamento del Distrito Federal, 1992a).

---

TABLA 6.1 Tarifas de agua para los usuarios no domésticos (industrial y comercial) en el Distrito Federal, 1992.

Consumo bimestral (metros cúbicos)	Costo por metro cúbico (N\$)
Menos de 30	\$1.2
de 30 a 60	\$2.0
de 60 a 120	\$2.3
de 120 a 240	\$3.0
de 240 a 420	\$3.5
de 420 a 660	\$4.2
de 660 a 960	\$4.9
Por encima de 960	\$5.8

*Fuente: Departamento del Distrito Federal, 1992b.*

Los usuarios domésticos representan alrededor del 67 por ciento del total, y constituyen aproximadamente el mismo porcentaje de los usuarios grandes. Como se muestra en la tabla 6.2, las tarifas del agua de uso doméstico oscilan entre N\$0.4 y N\$3.20 por metro cúbico-la última cifra representa el consumo más elevado (Departamento del Distrito Federal, 1992b). La creciente unificación del esquema de tarifas ofrece incentivos para la conservación donde los niveles de consumo son más altos. Sin embargo, sólo cerca de la mitad de los usuarios de tipo domésticos tienen medidor en el Distrito Federal; muchos de estos medidores no funcionan, por lo que llevar a cabo el cobro de las cuentas ha sido irregular. Un importante número de usuarios de tipo doméstico y no doméstico pagan una cuota fija por el servicio de agua.

Los hogares de bajos ingresos representan una preocupación particular, dado que por lo general no tienen un acceso al agua que les permita cubrir en forma adecuada sus necesidades de salud e higiene. Desafortunadamente, para la realización de este estudio, no se dispuso de datos que relacionen los niveles de ingreso con la conducta en el consumo. La Organización Mundial de la Salud ha establecido un mínimo de 150 litros diarios por hogar en ciudades de los países desarrollados; para combatir las enfermedades relacionadas con el agua, se consideran necesarios 75 litros al día (Falkenmark y Suprpto, 1992). El Banco Mundial calcula que se requieren por lo menos 50 litros per cápita al día para evitar problemas de salud. Como ya se ha señalado en el capítulo 5, la causa principal de mortandad infantil en áreas rurales y en asentamientos irregulares son todavía las enfermedades diarreicas. Algunas evidencias sugieren que en los asentamientos irregulares

de la ZMVM el promedio de uso per cápita es de 20 litros (Schteingart, 1993). Esta cantidad puede resultar suficiente para beber y cocinar, pero no para conservar un medio ambiente saludable. Por otra parte, los hogares de mayores ingresos suelen consumir cientos de litros de agua per cápita al día para usos discrecionales-plantas decorativas, prados y albercas-además de la que destinan a los usos más extendidos-inodoros y regaderas.

---

TABLA 6.2 Tarifas de agua para usuarios domésticos en el Distrito Federal, 1992.

---

Consumo bimestral (metros cúbicos)	Costo por metro cúbico
Hasta 10	Sin cargo (N\$)
de 10 a 20	0.4
de 20 a 30	0.5
de 30 a 60	1.2
de 60 a 120	1.4
de 120 a 240	1.9
de 240 a 420	2.2
de 420 a 660	2.5
de 660 a 960	2.8
Más de 960	3.2

---

*Fuente: Departamento del Distrito Federal, 1992b.*

La tabla 6.3 muestra la disponibilidad de fuentes de agua entubada por delegación (en las siguientes categorías: toma interior, toma en patio, común, o sin ninguna) según el censo de 1990, el más reciente disponible. Este censo establece una diferencia entre las llaves de agua en "patio interior" (localizadas fuera de la casa, pero en la propiedad del residente). La "Común" puede abarcar tanto las tomas que tienen acceso un determinado número de viviendas, y también las pipas que proporcionan agua cada determinado tiempo en lugares específicos (agua que más tarde debe ser transportada a la casas), como a las que reparten el agua directamente en los domicilios. Las casas que no tienen acceso a las fuentes públicas de agua, presumiblemente se abastecen de agua superficial, pozos ilegales, o bien de vendedores particulares. Los datos de la tabla revelan que mientras el 97 por ciento de los hogares del Distrito Federal posee algún tipo de acceso al agua entubada, sólo el 74 por

ciento la obtiene en el interior de su casa. El porcentaje restante depende de una toma exterior. En el área de servicio metropolitana del Estado de México, apenas el 52 por ciento de los hogares reportados obtienen el agua del interior de la casa, mientras que el 33 por ciento la obtiene del exterior. Tres por ciento de los hogares del Dis-

TABLA 6.3 Fuentes de agua para uso doméstico en la Zona Metropolitana del Valle de México, 1990.

	Número de vivienda s	Porcentaje de viviendas por fuente de abastecim			
		Interior	Patio	Toma común	Ning
Alvaro Obregón	133,937	72.6%	24.2%	3.2%	2.5%
Azcapotzalco	103,130	76.3%	22.9%	0.8%	0.7%
Benito Juárez	114,002	95.4%	4.5%	0.2%	0.3%
Coyoacán	142,533	78.7%	20.8%	0.6%	0.6%
Cuajimalpa de Morelos	23,422	55.0%	40.1%	5.0%	5.6%
Cuauhtémoc	157,079	91.9%	7.7%	0.3%	0.7%
Gustavo A. Madero	262,905	73.6%	25.5%	0.9%	1.6%
Iztacalco	93,815	75.4%	24.2%	0.4%	0.7%
Iztapalapa	294,738	62.4%	36.1%	1.6%	5.4%
Magdalena Contreras	40,247	59.3%	38.8%	1.9%	3.4%
Miguel Hidalgo	98,051	84.5%	15.1%	0.4%	0.6%
Milpa Alta	12,258	42.2%	50.8%	7.0%	17.1%
Tláhuac	39,311	39.0%	59.7%	1.2%	5.8%
Tlalpan	103,137	66.4%	30.2%	3.4%	13.8%
Venustiano Carranza	117,640	82.0%	17.7%	0.3%	0.7%
Xochimilco	52,966	55.0%	40.1%	4.9%	9.1%

DF Total	1,789,171	74.3%	24.4%	1.3%	3.1%
Atizapán de Zaragoza	64,990	58.6%	25.5%	0.8%	5.9%
Coacalco	32,072	89.1%	7.0%	0.4%	2.1%
Cuautitlán	9,693	66.0%	30.0%	0.9%	2.7%
Cuautitlán Izcalli	68,019	76.2%	17.5%	2.3%	2.9%
Chalco	54,155	13.7%	12.9%	1.8%	69.9%
Chicoloapan	10,749	27.2%	65.5%	2.0%	4.7%
Chimalhuacán	44,016	21.6%	56.2%	6.3%	15.1%
Ecatepec	283,413	46.8%	26.4%	1.2%	9.0%
Huixquilucán	25,392	51.5%	34.8%	2.1%	9.9%
Ixtapaluca	26,460	32.6%	35.3%	3.0%	28.5%
La Paz	25,226	39.3%	46.1%	2.0%	11.5%
Naucalpan	159,372	57.3%	39.2%	1.1%	1.3%
Nezahualcóyotl	239,951	52.3%	43.3%	0.7%	2.3%
Nicolás Romero	34,732	34.2%	46.9%	1.6%	16.4%
Tecamac	24,079	42.8%	44.5%	0.7%	11.3%
Tlalnepantla	144,366	65.3%	30.6%	1.3%	1.8%
Tultitlán	49,847	65.8%	21.5%	0.6%	11.2%
Estado de México	1,296,532	52.1%	32.8%	1.4%	8.8%
ZMVM	3,085,703	63.3%	27.4%	1.3%	5.5%

---

*Fuente: Censo Nacional de Población, 1990 (INEGI, 1991).*

trito Federal y casi el nueve por ciento en el Estado de México carecen de acceso al abasto público de agua.

*Fotografía 6-1 Un carro tanque de los llamados pipas, abastaciéndose de agua para su distribución en los alrededores del área metropolitana de la Ciudad de México. Cortesía de Robert Farvolden.*

Como se puede observar en la tabla 6.3, algunas delegaciones de la ZMVM tienen niveles de servicio considerablemente más bajos que otras. En el Distrito Federal, por ejemplo, Tláhuac, Milpa Alta, Xochimilco y Tlalpan son áreas de servicio más bajo. De las 17 delegaciones que conforman el área de servicio del Estado de México, siete tiene más del 10 por ciento de hogares sin acceso al agua entubada, incluyendo a casi el 70 por ciento de los hogares que conforman la delegación Chalco. La figura 6-1 es una relación por áreas del servicio de agua en la ZMVM, tal como se reportó en el censo de 1990. Las áreas con peor servicio son las más recientemente desarrolladas, como la parte sur del Distrito Federal y la porción este del Estado de México.

La existencia de áreas con muy bajo nivel de servicio se entiende cuando se considera el enorme crecimiento del área metropolitana. La figura 6-2 muestra el aumento en los servicios de agua y de drenaje en la ZMVM entre 1960 y 1990, al tiempo que ilustra varios aspectos relacionados al tema. Destaca el sensible aumento del número de hogares con servicio de agua en toda la zona durante este periodo, en especial durante los años setenta, cuando más de 825,000 hogares fueron incorporados al sistema de abastecimiento de agua.

*FIGURA 6-1 Porcentaje de hogares por delegación con abastecimiento interior de agua en la ZMVM, 1990. Fuente: INEGI, 1991a.*

Durante los años ochenta, el Estado de México creció 2.5 veces más rápido que el Distrito Federal en cuanto al número de casas con servicio de agua en el interior. En términos generales, el número de casas conectadas al sistema de drenaje creció más rápido que el servicio de agua en un periodo de 30 años. La figura 6-2a ilustra el aumento continuo del porcentaje de casas con abastecimiento interior de agua, que rebasó el 70 por ciento en 1990. El avance en el Estado de México ha sido mucho menor, tanto con respecto al porcentaje de casas habitación con abastecimiento interior de agua, como en el incremento de

*FIGURA 6.2 Variaciones porcentuales observadas durante el periodo 1960-1990 en número de hogares con abastecimiento interior de agua (a), y de aquellos conectados al drenaje o a un sistema de fosa séptica (b) en las áreas metropolitanas del Distrito Federal y del Estado de México, así como en la totalidad de la ZMVM. Fuente: INEGI, 1991a.*

éstas con el transcurso del tiempo: en 1990, sólo el 52 por ciento de los hogares tenía abastecimiento en el interior de la casa. Esto es un gran logro frente al 17 por ciento existente hacia 1960, pero representa un descenso del 62 por ciento respecto a 1980. La explicación más factible para esta situación es que el sistema de distribución de agua no pudo crecer al mismo ritmo en que creció la población del Estado de México durante los ochentas. La tendencia en el sistema de drenaje sigue un patrón similar (figura 6-2b).

En general, son pocos los datos que se tienen relativos a la provisión de otros servicios públicos para aquellos hogares de la comunidad que no reciben agua entubada. Un estudio



reciente realizado por investigadores de El Colegio de México (Schteingart, 1993), encontró tendencias distintas entre sí en cuatro asentamientos irregulares (dos en el Estado de México y dos en el Distrito Federal). Según este estudio, algunos de los habitantes de estos asentamientos se abastecían de agua sin cargo alguno en camiones del gobierno, otros pagaban por una red profesionalmente instalada y con medidor, mientras que otros más pagaban una cuota fija. La cantidad y la calidad del servicio variaba en forma considerable; por ejemplo, muchos residentes de escasos recursos bebían agua embotellada o refrescos para sustituir el agua de la llave, una alternativa cara pero en su criterio más segura que la de beber el agua entubada, en la que tenían poca confianza. De ser ciertos estos datos, se puede presumir que las estadísticas oficiales con respecto a la expansión del sistema de abastecimiento de agua no reflejan estos comportamientos.

Además del tiempo y el esfuerzo involucrados en trasladar el agua a sus hogares, los habitantes de las zonas marginadas deben enfrentar costos que a menudo les resultan excesivos. Los datos sobre los precios del agua por grupo de ingresos en la ZMVM no están disponibles. Existe alguna evidencia de que el pago de las cuentas de agua no se hace cumplir con rigor y de que a menudo no se les corta el servicio a quienes no han pagado sus recibos (Comisión Nacional del Agua, 1993). Casi todos los estudios realizados en otras grandes ciudades de los países en desarrollo revelan que los gastos mensuales por concepto de agua representan una porcentaje del ingreso mayor para los pobres que para los ricos (Crane, 1994, Banco Mundial, 1992). Esto es así porque la demanda de agua representa un gasto relativamente poco elástico, y porque algunos usuarios de bajos ingresos se ven obligados a comprar el agua a intermediarios que aumentan el precio. Se recomienda un estudio posterior para entender a fondo cómo las políticas de expansión en el sistema de distribución, así como las políticas relativas a las tarifas, afectan la salud y el estatus económico de los más pobres.

El hecho de que el agua (que como se ha visto requiere inversiones para su tratamiento y bombeo) no se pague en forma adecuada, es una parte del problema; las fugas en el sistema representan la otra parte. Las pérdidas causadas por estos problemas son difíciles de cuantificar, debido a la falta de medidores. Sin embargo, las fugas por sí solas pueden llegar a ser del 40 por ciento en la ZMVM, de acuerdo a cálculos realizados por la Comisión Nacional del Agua en 1992. Las fugas en el sistema se pueden detectar de diferentes maneras, por medio de: medición sistemática y segmento por segmento, instalando medidores en las casas habitación, actualizando los registros de las conexiones, así como mediante el mantenimiento y la renovación de las instalaciones deterioradas por el tiempo. En la ZMVM, los problemas derivados de la antigüedad de la infraestructura se agravan debido al hundimiento del suelo provocado por el bombeo excesivo del agua subterránea, así como a los daños causados por el terremoto de 1985.

Las fugas y las pérdidas incalculables de agua son problemas que empiezan a abordarse ahora en la Ciudad de México. Las autoridades del ramo han hecho de las reparaciones parte de su esfuerzo de conservación general. En el Distrito Federal se reparan mensualmente un promedio de 2000 fugas en la red de distribución, mientras que en el Estado de México la cifra por el mismo concepto es de 1,800 (Departamento del Distrito Federal, 1991a). Además, se ha hecho un esfuerzo para eliminar las fugas caseras, especialmente en los multifamiliares. Cada año son eliminadas aproximadamente 150,000

fugas en el interior de las casas, a través de los programas de la DGCOH-DDF (Departamento del Distrito Federal, 1991b). Estos programas incluyen folletos detallados que explican a los usuarios cómo detectar y reparar las fugas de agua.

## **INSTRUMENTOS PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LA DEMANDA**

Para aproximarse a estos problemas hay que comenzar por reconocer que el volumen de agua utilizado por diferentes personas o empresas es variable. Aunque es sabido que la cantidad de agua que se requiere para cubrir las necesidades de higiene y salud básicas es mínima, en la demanda de agua influye un gran número de factores, muchos de los cuales se encuentran bajo el control de las autoridades. Estos factores son el precio, la manera en que se cobra el uso, la confiabilidad y calidad del agua, así como las restricciones que se aplican a su utilización. Aunque el Distrito Federal tiende a elaborar sus pronósticos de uso del agua con base a un cálculo per cápita multiplicado por una línea recta de proyección del crecimiento demográfico (Departamento del Distrito Federal, 1992b), esta aproximación no proporciona una visión precisa de las conductas de uso reales en los hogares o en las empresas.

El empleo de instrumentos administrativos para controlar el consumo de agua se conoce como administración de la demanda. En contraste con las estrategias de abastecimiento que ponen énfasis en el desarrollo de nuevos suministros para tratar los problemas de escasez, la administración de la demanda está orientada a propiciar un cambio en los hábitos de los consumidores.

Los instrumentos para la administración de la demanda incluyen las políticas involuntarias (obligatorias) y las voluntarias. Las políticas obligatorias son aquellas en cuyo establecimiento los consumidores tienen relativamente poca influencia (Frederick, 1993). Estas políticas controlan directamente el uso del agua y por lo general consisten en métodos de control, tales como el racionamiento de agua, la reparación de la tubería, nuevos códigos de construcción y normas para el reuso del agua. En 1989, el DDF inició un programa para instalar en los grandes edificios de departamentos y oficinas dispositivos para que los retretes pudieran funcionar con depósitos de 6 litros de agua (los normales usan un promedio de 16 litros). En 1991, el programa había realizado 330,000 instalaciones, con lo que se lograba un ahorro en el consumo cercano a 0.8 mcs. Se estima que para 1996 el programa habrá reducido el consumo de agua en 4.3 mcs en el Distrito Federal. El Estado de México puso en marcha recientemente un programa similar, con el que espera reducir el consumo en su área de servicio en 3.7 mcs (Departamento del Distrito Federal, 1991a).

Quizás, el medio menos utilizado para controlar el nivel del consumo de agua en la ZMVM es el empleo de instrumentos indirectos o voluntarios, como las tarifas de agua y las campañas educativas. En parte, esto puede ser reflejo de la planeación del sector orientada al abastecimiento tradicional, que ha puesto poco énfasis en lo relativo a la modificación de ciertos hábitos de uso. La experiencia ha demostrado que se pueden obtener reducciones significativas en el consumo llevando a cabo reformas muy modestas. En especial, las nuevas políticas de tarifas, así como la atención a algunos principios básicos en el manejo del precio y el cobro del agua, deberían limitar la demanda de las reservas existentes y mejorar la salud financiera del sistema.

Existen tres componentes básicos en la política administrativa de tarifas. El primer componente, tal vez el más conocido en México, es la "recuperación de costos", o la relación directa entre los gastos y las ganancias del sistema. En un esquema ideal, la recuperación de costos debería abarcar la distribución, el desecho y los costos del tratamiento, así como otros gastos (entre ellos, los provocados por el hundimiento del suelo a causa de la sobreexplotación de los acuíferos que por lo general no son considerados como gastos del sistema y que de hecho no se toman en cuenta. En algunos casos incluso los costos de capital para las instalaciones construidas se ignoran a favor de una política de tarifas que sólo contempla los gastos de recuperación, operación y mantenimiento. Pero esta aproximación, aunque limitada, puede representar un primer paso.

El segundo componente de una política de tarifas es la demanda. La demanda se relaciona con lo que la gente está dispuesta a pagar. Véase, por ejemplo, el debate sobre la evaluación de contingencias en Whittigton, 1992; y en *Natural Resources Journal*, volumen 4(1), 1985 para medir la demanda donde no hay datos disponibles. En contraste, una necesidad no depende por lo general del costo. Si los consumidores están dispuestos o no a financiar un nuevo sistema de abastecimiento de agua, es una cuestión que puede representar un ejemplo de cómo asociar el costo a la demanda. De hecho, esta es la pregunta central que hoy guía las políticas dirigidas a mejorar la infraestructura en los países en desarrollo: ¿está el costo justificado por la demanda?

La tercera consideración relacionada con las tarifas es la equidad, que alude a la necesidad de establecer un justo equilibrio en la distribución de los costos del agua, en hogares con ingresos diferentes. Dentro de las restricciones que la necesidad de mantener este equilibrio implica, la forma actual de establecer tarifas puede ser estructurada de muchas maneras (véase, por ejemplo, Bahl y Linn, 1992). Los usuarios podrían pagar un solo cargo para cubrir los costos que implica extender el abastecimiento de agua a su propiedad. Asimismo, podrían pagar otro por la conexión al sistema. Podrían también realizar pagos fijos periódicos relacionados con el uso del agua, pero que no varíen en relación directa a su uso (pagos establecidos, por ejemplo, de acuerdo al diámetro de la tubería), o bien efectuar pagos periódicos en base al uso real. Como se mencionó antes, el esquema de precios más común en la ZMVM, especialmente para los grandes usuarios industriales y comerciales, es un pago fijo periódico establecido con base en el diámetro de la tubería.

Junto con la política de tarifas, la educación y la conciencia pública juegan un importante papel en la conservación. Un programa público de educación bien diseñado puede lograr una reducción sustancial en la demanda de agua. Desafortunadamente, una gran cantidad de malos hábitos relacionados con el uso del agua están bien arraigados en la mayor parte de los adultos. En los años recientes, la DGCOH-DDF ha establecido una sección que vigila el uso del agua; esta sección cuenta hoy con un laboratorio que permite probar la efectividad de los dispositivos para ahorrar agua, algunas publicaciones relativas a la conservación, así como un imaginativo y dinámico programa de "detective" de agua para escolares cuarto y quinto grados de primaria, cuyo fin es enseñar a descubrir fugas. Existe un gran número de mensajes en los medios de comunicación en México que llaman a cuidar el valioso recurso del agua. En el caso de la ZMVM, aún no está claro qué tan grande ha sido el impacto de estas campañas de información. El público ya está sujeto a muchas campañas de distintas clases y los medios pueden estar saturados. Al mismo tiempo, la gente podrá comprender la

naturaleza del problema del agua en la medida en que tome conciencia de la importancia de conservar este recurso.

## **PROBLEMAS DE EJECUCIÓN**

Una cosa es hablar de la mejor manera de hacer las cosas y otra muy distinta es llevarlas a cabo. Por ejemplo, aunque elevar las tarifas del agua podría desalentar el desperdicio de agua entre muchos usuarios, esta medida no deja de tener inconvenientes. Los incentivos en los precios sólo operan cuando el uso del agua está medido y la decisión de medir o no medir es en parte un asunto administrativo. Una política de tarifas sólo será efectiva en la medida que cubra dos condiciones: (1) una administración capaz, lo cual requiere de un alto nivel de competencia en costos, presupuestos y procedimientos de contabilidad para llevar a cabo cálculos realistas de precios y supervisar su ejecución; (2) aplicación de medidas de refuerzo adecuadas contra los infractores. Los programas más efectivos de conservación de agua de uso doméstico han combinado el alza de tarifas con campañas de información al público que refuerzan el mensaje de la necesidad de conservar, junto con la participación del público para generar el apoyo de la comunidad.

En la Ciudad de México sólo el 53 por ciento de los usuarios tiene medidor y no todos los medidores funcionan en forma adecuada. Muchos medidores leen de manera irregular; las medidas de refuerzo para efectuar los cobros de las cuentas han encontrado dificultades en el pasado. Obviamente, la falta de medidores es un impedimento tanto para la recuperación de costos como para la conservación del agua. Para conseguir una medición óptima, habría que instalar varios millones de medidores adicionales, a un costo total de N\$300 cada uno. Los medidores, junto con una tarifa basada en el volumen efectivo y en el sistema de recolección, podrían reducir sustancialmente el uso del agua, ya que los consumidores tendrían un incentivo para conservar y, en particular, para evitar el despilfarro. Además, los medidores permiten detectar de manera más sencilla las fugas del sistema.

### **Uso Doméstico**

Cualquier discusión sobre temas relacionados con la ejecución de las políticas administrativas de uso doméstico del agua, implica considerar los conceptos de equidad y eficiencia de los servicios. Está bien documentado que, cuando ha sido necesario, las clases económicamente menos favorecidas en los países en desarrollo se han mostrado dispuestas a pagar la parte que en justicia les corresponde para un abastecimiento de agua de buena calidad (véase, por ejemplo: Okun, 1991; Banco Mundial, 1992; Whittington y Chloe, 1992; Crane, 1994). En las grandes ciudades del mundo en desarrollo, donde los habitantes de escasos recursos tienen un acceso limitado a las fuentes confiables de agua, la investigación ha documentado que las personas pagan más por el agua que otros habitantes (Roth, 1985; Banco Mundial, 1992; Whittington y Choe, 1992; Ingram et al., 1995). En la mayoría de los casos, la gente que no tiene un acceso adecuado a las fuentes públicas de abastecimiento se beneficiaría con el pago de servicios, en el caso de que éstos mejoraran sensiblemente.

Aparte de las preocupaciones relacionadas con respeto a la equidad, los obstáculos de ejecución en el sector doméstico incluyen la resistencia general a aceptar tarifas de agua por

parte de quienes no tienen un sistema con medición, junto con otras dificultades prácticas asociadas con el diseño de tarifas uniformes y con el uso de los medidores. La impopularidad de establecer los precios del agua sustancialmente más altos, así como la imposición de un sistema de cobro más riguroso, son asuntos institucionales y administrativos difíciles de resolver en el sector doméstico. En la práctica, fijar nuevas tarifas es un asunto delicado y complejo. No es necesario explicar por qué cuando a la gente se le pregunta cuánto preferiría pagar (por cualquier cosa), invariablemente responde que preferiría no pagar nada. Aún así, la mayor parte de la gente entiende que ningún sistema se puede sostener a sí mismo bajo este esquema y que algunos bienes, tal vez la mayoría, deben ser sostenidos con alguna forma de pago. Esto es cada vez más cierto respecto al aire que respiramos, por ejemplo, en la Ciudad de México y en otras partes. Para mejorar, o incluso para mantener la calidad del aire, ha sido necesario pagar más por la gasolina, manejar menos y aceptar muchos otros inconvenientes y costos adicionales. Si se le da tiempo, la idea de establecer precios que cubran los costos del agua tendrá más aceptación, particularmente una vez que la relación costo/calidad y disponibilidad del agua haya sido comprendida. La tarea consiste entonces en educar al público y a los políticos con respecto a esta relación. No hay duda de que la gente está dispuesta a pagar por un agua de mejor calidad-en muchos sentidos ya lo hace, especialmente en las áreas donde el agua se distribuye de manera privada. La cuestión, entonces, es enseñar a los consumidores que tienen pocas alternativas de largo plazo para pagar el precio real del agua.

Los medidores también presentan dificultades de instalación. Por ejemplo, no es aconsejable ponerlos en todas las áreas de la ZMVM. Además del costo básico del medidor, el costo de medir es alto, pues abarca inversiones en instalación, así como el gasto de la lectura regular, mantenimiento, cobros y contabilidad (Bahl y Linn, 1992; Buenfil, 1993). Los beneficios de medir deben ser considerados junto con estos costos. Para los grandes consumidores y empresarios, medir siempre será efectivo en términos de costos. Para los pequeños consumidores de las áreas poco desarrolladas y de bajos ingresos, medir probablemente no es apropiado a corto plazo, porque muchos de los usuarios no tienen tubería en casa y usan muy poca agua.

### **Usuarios Industriales**

La experiencia, tanto en países industrializados como en países en desarrollo, muestra por igual que las industrias tienden a utilizar el agua con una mejor relación costo-beneficio que otros sectores de la sociedad. Mientras que la industria no es un gran usuario de agua, comparada con otros sectores, sus instalaciones con frecuencia están ubicadas en las áreas urbanas, donde el consumo de agua aumenta más rápido. El precio por unidad de agua normalmente se coloca más alto para la industria que para los usuarios domésticos, por razones que por lo general tienen que ver con el financiamiento de capital-costos de infraestructura y los altos costos del tratamiento de aguas residuales industriales. Además, las industrias tienden a ser actores racionales que responden de manera expedita a los incentivos económicos y reguladores. El potencial para un uso del agua en forma más racional y con mayor efectividad la relación costo-beneficio en el sector industrial ha sido demostrado en los hechos, tanto en los países industrializados como en aquellos que se encuentran en vías de desarrollo. En muchos casos, el costo adicional por el tratamiento de aguas residuales industriales, o la necesidad para la industria de tratar su agua residual antes

de desecharla al drenaje público, es una motivación suficiente para iniciar un programa de conservación de agua.

### **Obstáculos Institucionales y Administrativos**

Los gobiernos tienen dificultades al tratar el tema de la conservación del agua, porque se trata de un asunto que en casi todas partes tiene una fuerte carga política. La gente ve al agua como un bien esencial para la vida y muchos consideran que por esta razón las autoridades están obligadas a ofrecerla a la población sin costo, o a muy bajo costo. Por lo tanto, hace falta una gran decisión para elevar las tarifas, reforzar el sistema de distribución, instalar medidores y establecer las sanciones que permitan reducir la demanda (Banco Mundial, 1991; Bahl y Linn, 1992). Además, cuando el abastecimiento es irregular y la gente no recibe agua, o cuando la presión en el sistema es demasiado baja la mayor parte del tiempo, se generaliza una negativa a pagar los precios fijados; al no pagarse estos precios, las instalaciones carecen de los recursos necesarios para su reparación (véase, por ejemplo, Ingram et al., 1995). En consecuencia, el servicio empeora y la situación sufre un deterioro en espiral descendente.

El agua juega un papel importante en la política regional. Las regiones y las ciudades que en ellas se encuentran dependen unas de otras para crecer e invertir, por lo que se resisten a la limitación de cualquier recurso fundamental para el crecimiento, como lo es el agua. Las cifras del crecimiento de la población se exageran a menudo, con el objeto de que determinadas regiones obtengan una mayor participación del presupuesto nacional, así como mayores subsidios para el desarrollo de infraestructura-como sistemas de abastecimiento de agua, drenajes y carreteras. Dado que las inversiones fluyen a determinadas regiones a expensas de otras, lo lógico es que esta emigración ocurra hacia las regiones con mejores servicios. Ciertas regiones y ciudades se convierten en centros de poder e influencia, mientras que la importancia de otras se debilita. A pesar de estas dificultades, México lucha por revertir tendencias del pasado. El presupuesto nacional de 1992 en materia de inversiones para el sector, muestra un descenso del presupuesto federal en la ZMVM, mientras que otras ciudades y otras áreas rurales obtienen mayor atención.

En todo el mundo, las empresas municipales de agua se han dedicado a impulsar proyectos de construcción más que a la administración de la demanda (Ward, 1990; Ostrom et al., 1993). Por tradición y algunas veces por ley, a estas empresas se les pide que ofrezcan un servicio de agua lo más barato posible. Cuando las tarifas están altamente subsidiadas y el acceso a nuevas fuentes de abastecimiento se basa en otras fuentes económicas distintas a las tarifas, el argumento de la conservación para ahorrar costos tiene poca fuerza. En México, al igual que en muchos países en desarrollo, las instancias de apoyo externo han tendido a centrarse en otorgar dinero para la construcción en la capital, pero no para la operación, el mantenimiento o la administración. La posibilidad de adoptar un programa de administración de la demanda depende de la capacidad de las instituciones responsables del abastecimiento de agua.

En la ZMVM ha existido un alto nivel de centralización de las funciones operativas y, al mismo tiempo, una separación entre las funciones operativas y las responsables de establecer las tarifas y recolectar los pagos. Por lo tanto, la eficiencia con la que la entidad

encargada del agua opera no es congruente con los fines municipales. La creación en 1992 de la Comisión de Aguas del Distrito Federal tiene entre sus objetivos cambiar esos esquemas de organización (Comisión Nacional de Agua, 1992; véase el capítulo 7 de este reporte).

### **Crecimiento de la Capacidad Instalada**

Históricamente, las oficinas municipales de agua en todo el mundo han mostrado una preferencia por el desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, en lugar de procurar una modificación en los patrones de la demanda entre los usuarios. Para cambiar estos patrones se requiere de la participación a fondo de los economistas y otros científicos sociales especializados en el diseño de incentivos económicos y otros instrumentos de persuasión. A pesar de la evidente importancia de la formación en ciencias sociales para establecer estrategias de demanda de agua, muchas oficinas emplean preferentemente ingenieros. Los economistas y otros científicos sociales se emplean a menudo en los niveles medio y bajo en la jerarquía de estas dependencias por lo que tiene poca influencia en la toma de decisiones. Además, a las oficinas encargadas de la conservación se les otorgan recursos insuficientes para sostener la administración de la demanda y un nivel bajo en la organización.

La ejecución de los planes de conservación es un asunto complejo y requiere capacidad para considerar cuestiones como, por ejemplo, costos administrativos y de organización, políticas, temas ambientales, de desarrollo institucional, desarrollo de recursos humanos, organización de la comunidad, gravámenes del sector del agua, asuntos legales, manejo de la información y contratación (Okun y Lauria, 1991). Los programas de administración de la demanda afectarán a muchos grupos distintos, desde las oficinas administrativas hasta los consumidores. Los incentivos y la falta de ellos que enfrenta cada autoridad municipal del agua deben ser evaluados. Los incentivos incluyen el aumento de la capacidad de abastecimiento y, por lo tanto, la reducción de la inversión y los costos de operación. La posible falta de incentivos se debe a la disminución de las ganancias, la necesidad de ajustes más frecuentes a la tarifa y a la creciente dificultad para prever la demanda futura. Los efectos que cualquier estrategia de conservación pudieran tener en las dependencias locales encargadas del agua, especialmente las formuladas en los niveles más altos del gobierno, deben estar correctamente orientadas si se espera que estas dependencias acepten el concepto y la práctica de una mayor eficiencia en el uso del agua.

Una adecuada relación costo-beneficio, también requiere de capacidad técnica y administrativa para operar un sistema de tarifas en forma eficiente (Bahl y Linn, 1992; Ostrom, et al., 1993). Esto requiere de una medición razonablemente exacta del abastecimiento de agua para cada consumidor. Entonces, la instalación inicial de los medidores debe estar respaldada por un sistema adecuado de mantenimiento y reparación (incluyendo la recalibración de los medidores a intervalos apropiados). La lectura de los medidores debe también realizarse a intervalos claramente definidos. La administración de las cuentas y el envío de recibos deben realizarse con el menor retraso posible después de la lectura del medidor. Por último, es necesario obligar a que el pago de las cuentas se lleve a cabo en un tiempo razonable, estableciendo sanciones definidas para quien pague con

retraso. El desarrollo de la capacidad administrativa y técnica debe acompañarse de innovaciones políticas, como la revisión de las tarifas, para obtener los resultados deseados.

Aquí vale la pena insistir en dos puntos. Primero, en que las oficinas de conservación deben recibir los recursos necesarios para que operen en forma efectiva, incluyendo los fondos para atraer personal calificado, especialmente de quienes están titulados en áreas pertenecientes a las ciencias sociales. Los científicos sociales tenderán a orientar las políticas relativas al agua menos hacia el control y más hacia la administración de la demanda, puesto que se les asignará un nivel jerárquico adecuado dentro de la organización. Segundo, para poder llevar a cabo los programas de administración de la demanda por encima de otros intereses creados, las oficinas de conservación del agua deben tener asignado un alto nivel dentro del departamento de aguas y otras oficinas municipales de la ZMVM. Este nivel jerárquico dependerá, en parte, de la capacidad y profesionalismo del personal de la oficina de conservación.

Se ha demostrado repetidas veces que, incluso con los programas más simples de conservación del agua, el uso de la misma se puede reducir de 20 a 30 por ciento sin afectar sustancialmente el bienestar de los habitantes o de los negocios, introduciendo incentivos de conservación o tecnología que genere los mismos servicios de agua con menores costos (Martin et al., 1980; Shaw et al., 1992). Simplemente, el hecho de medir el uso del agua de manera más amplia los reducirá de manera efectiva, particularmente si esta medida se acompaña de una adecuada estructura de precios-por ejemplo, una tarifa en bloque que aumente en forma paulatina. Sin embargo, la capacidad institucional adecuada es un prerrequisito para el éxito. La Ciudad de México puede obtener ahorros como los señalados si se pone suficiente atención en el establecimiento adecuado de estrategias para la administración de la demanda. Por supuesto, las políticas de conservación del agua deben ser diseñadas para un contexto específico y los programas que tuvieron éxito en otras partes pueden no resultar apropiados para la ZMVM.

El DDF ha puesto en marcha un ambicioso programa para reducir la demanda de agua en una comunidad, a través de la instalación de implementos para ahorrar agua, como retretes y regaderas de bajo flujo. En los años recientes, las autoridades del agua de la ZMVM han establecido metas para una mejor administración de la demanda y han dado pasos importantes hacia la consecución de las mismas. Se llevó a cabo una reorganización para descentralizar e integrar mejor las funciones, fueron modificadas las estructuras de las tarifas y, lo que es tal vez más importante, se intentó enfrentar el crecimiento urbano, problema que ha originado muchos de los problemas relativos al agua. En el documento titulado *Agua 2000*, el jefe del Departamento del Distrito Federal dio reconocimiento oficial a la necesidad de controlar el crecimiento y llevar a la población fuera de las áreas de recarga y hacia las áreas donde existe infraestructura (Departamento del Distrito Federal, 1991a). Además, se ha reconocido la necesidad de modificar algunos conceptos muy difundidos entre la población relacionados con el agua.

Estos son pasos que apuntan en la dirección correcta, pero la importancia de una reforma posterior es clara. Los costos de utilizar agua en la ZMVM se han elevado agudamente en los años recientes y continuarán en aumento, ya que la demanda promete sobrepasar las reservas en poco tiempo.



---

[Volver](#) a la pagina principal de "El Suministro de Agua..."

Copyright © 1995 by the National Academy of Sciences. All Rights Reserved.

## Capítulo 7

### Aspectos Institucionales

En México, el uso del agua ha estado unido históricamente a la idea de que, por ser propiedad del Estado, se trata de un recurso cuyo aprovechamiento debe ser un derecho constitucional gratuito para cada ciudadano. Este concepto proviene de las reformas a la tenencia de la tierra establecidas en el artículo 27 de la Constitución Política Mexicana de 1917. Desde 1988, México ha pasado por un proceso intenso de modificaciones a las leyes que norman la distribución del agua y que regulan su calidad. Hoy, las reformas recientes promueven el establecimiento de derechos privados sobre el uso del agua que permitan que se privatice la administración de los servicios de abastecimiento y drenaje, incorporando algunos principios nuevos, como la necesidad de conducir un análisis de costo-beneficio en la aplicación de las normas regulatorias. Se ha establecido un nuevo cargo, el de Procurador Federal del Medio Ambiente, hecho que apoya bien la idea de que el cuidado del medio ambiente también merece representación en el gobierno. Asimismo, se ha puesto mayor énfasis en varias medidas para la conservación del agua, incluidas las relativas a su reuso. Estos cambios han creado una atmósfera que hoy permite que las leyes y reglamentos relativos al agua puedan ser reformados de manera más ágil y más racional que en el pasado.

En este capítulo se aborda el tema de las instituciones encargadas de administrar la distribución del agua en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), así como el de las instituciones responsables de la calidad del agua. La información sobre el desarrollo de estas instituciones en la ZMVM no ha sido publicada. Para obtenerla, el Comité ha establecido comunicación directa con las autoridades responsables y se ha basado en el material que le proporcionaron la Comisión Nacional del Agua, la Secretaría de Salud, la Suprema Corte de Justicia de la Nación, la Secretaría de Desarrollo Social (antes Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología), el Departamento del Distrito Federal y la Comisión de Aguas del Distrito Federal.

#### **INSTITUCIONES RESPONSABLES DE LA CANTIDAD DE AGUA**

En México, el poder institucional está depositado, con una carga mayor que en otros países, en el presidente de la República y en las Secretarías de Estado. De acuerdo con el artículo 27 de la Constitución, el Presidente tiene el poder de regular la extracción y el uso de las aguas nacionales, de establecer áreas en las que el agua no puede ser extraída y, a través de sus representantes designados, el de establecer reglas para la expedición de permisos de uso del agua bajo los términos dictados por las leyes que autoriza el Congreso.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SAHR) es la dependencia más importante relacionada con la distribución del agua. La Comisión Nacional del Agua fue creada por el Congreso para llevar a cabo las tareas de distribución. La Comisión, que integra consejeros de otras secretarías, está dividida en cinco subdirecciones: 1) Planeación y Finanzas; 2) Infraestructura Hidroagrícola; 3) Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial; 4) Investigación (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA) y 5)

Administración del Agua. Esta última subdirección es la responsable de elaborar y ordenar los registros, otorgar permisos y, en general, de todo el proceso de distribución del agua desde el punto de vista administrativo.

La Comisión mantiene seis oficinas regionales, cada una representada por un administrador regional nombrado por el director de la propia Comisión. La Cuenca de México es una región de la que forman parte el Distrito Federal, y en forma parcial el Estado de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Morelos (figura 2.1). Cada uno de estos estados tiene un director regional estatal; sin embargo, estos directores estatales regionales, aunque no dejan de ser importantes, no tienen la capacidad de decisión necesaria, debido al tremendo poder financiero e institucional que el Distrito Federal ejerce al amparo de una ley especial para la distribución del agua en el DF. En la Zona Metropolitana del Valle de México, las instituciones gubernamentales clave son el Departamento del Distrito Federal (DDF), la Comisión Nacional del Agua (CNA)-debido al número de pozos en el área y a las importaciones de agua desde otras cuencas-y la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento (CEAS) del Estado de México. El Distrito Federal no es un estado, sino una entidad del gobierno federal, regulado a través de una legislación especial. De acuerdo con esta legislación, el regente del Distrito Federal es nombrado por el Presidente. Institucional y políticamente, el Distrito Federal tiene mayor influencia que el Estado de México en la ZMVM.

En el Distrito Federal, tanto la distribución de agua como la infraestructura que para este fin se requiere están bajo el control de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH). La recolección de pagos, medidores y servicio está a cargo, en forma independiente, de la Tesorería del Distrito Federal.

En la porción de la Cuenca de México que está bajo la jurisdicción del Estado de México, la Comisión Nacional del Agua envía el agua en bloque a la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento. Esta dependencia estatal es la responsable de recibir el agua, tratarla y distribuirla a varios municipios del estado. Los estados y municipalidades deben solicitar a la Comisión Nacional del Agua los permisos necesarios para extraer agua subterránea. Al igual que las oficinas públicas, las compañías privadas están reguladas y autorizadas por la Comisión Nacional del Agua para la distribución, extracción o comercialización del agua.

Las acciones compartidas entre el Estado de México y el Distrito Federal en la ZMVM son, sorprendentemente, muy pocas. Aunque guardan relaciones cordiales, tienen dos infraestructuras del todo separadas y distintas. Así, pudiera llegar a suceder que en dos banquetas opuestas de una misma calle se encuentren dos líneas de agua independientes, una estatal y otra federal.

A diferencia de la entidades estatales, las instancias federales reciben muy escasos fondos directos y deben apoyarse en las tarifas para sustentar su operación. Cuando los usuarios no pagan sus cuentas, lo que sucede a menudo, debido a las razones expuestas en el capítulo 6, es que los estados no pueden pagar a la Comisión Nacional del Agua su participación en la infraestructura general. Así, cada año se discute ampliamente a cuánto ascenderá el subsidio que debe otorgar la Comisión Nacional del Agua, ya que las entidades del estado por lo general no han podido pagar sus cuentas. En respuesta a este problema, un gran

número de medidas (las cuales se discutirán más abajo) se llevan a cabo para proteger el acuífero y conservar el agua con un sistema más eficiente. Los arreglos institucionales para la distribución del agua en los estados de Hidalgo, Puebla, y Tlaxcala (fuera de la ZMVM) son similares a los que rigen para el Estado de México

### **Nueva Estrategia Para el Distrito Federal**

Mediante decreto de privatización expedido en julio de 1992, se creó la nueva Comisión de Aguas del Distrito Federal, con el fin de mejorar administrativamente la distribución pública de agua potable y los servicios de drenaje, tratamiento y reuso de aguas residuales. En un esfuerzo orientado a la modernización, el decreto otorga a esta Comisión facultades para privatizar la administración y la operación del servicio de agua en el Distrito Federal. El gobierno espera que este proceso promueva una nueva perspectiva cultural, que ilustre a la ciudadanía respecto al hecho de que el agua del Distrito Federal es un recurso limitado por cuyo servicio los habitantes del área deben pagar.

Bajo el nuevo decreto, la oficina de aguas existente mantiene el control de las obras principales, como el canal de transmisión construido alrededor de la Ciudad de México, pero la nueva comisión se encargará de las áreas de abastecimiento, tratamiento, drenaje y tratamiento de aguas residuales.

En octubre de 1992, el Departamento del Distrito Federal solicitó cotizaciones de compañías privadas para la administración de la distribución y el cobro de pagos en el DF. Se firmaron contratos con las compañías ganadoras, los cuales fueron planteados en tres etapas. La primera es una actualización de los registros de los usuarios y la instalación de medidores. La segunda consistirá en el cobro a los consumidores, bajo el sistema de uso medido. La tercera etapa consistirá en el mantenimiento y reparación del sistema de distribución por parte de las propias empresas privadas. En las dos primeras etapas el contratista será remunerado por tareas específicas, como instalar medidores o expedir cobros. Sin embargo, en la etapa final la ciudad venderá el agua en bloque a los contratistas, mientras que las compañías, a su vez, venderán el agua a los consumidores finales. El gobierno establecerá un esquema preliminar de tarifas de agua, que puede variar para cada una de las cuatro zonas de servicio, de acuerdo a sus características demográficas. Eventualmente, la ciudad basará el establecimiento de las tarifas de agua en el promedio total por unidad de volumen de agua proporcionada a los contratistas. En este punto, las compañías privadas se encargarán de operar y mantener el sistema de distribución de agua bajo dos premisas naturales: (1) perderán ganancias si no cobran las cuotas; (2) incurrirán en costos por fugas. El precio en que se venda el agua a los contratistas será determinado tras un periodo de operación, bajo un sistema de "cuota por tarea", cuyo objetivo es reducir la incertidumbre tanto para los ciudadanos como para los contratistas.

Una característica distintiva de este esquema es la división del DF en cuatro "zonas" con diferente número de usuarios; cuatro compañías distintas ganaron el contrato de servicio para cada zona. Existen, pues, cuatro empresas en operación para esta etapa de acuerdos iniciales. Hasta el momento, se ha otorgado contrato a un consorcio de compañías mexicanas y a tres transnacionales: una francesa, una estadounidense y una británica.

El Departamento del Distrito Federal (DDF) calcula ahora que este sistema de cobro y medida reducirá las necesidades de agua en la ciudad entre el 30 y el 40 por ciento, en parte a través de la reparación de fugas y en parte como consecuencia del menor consumo que se espera resulte del incremento en las tarifas. Este desplazamiento hacia la privatización tiene algunos precedentes. El gobierno mexicano ha privatizado más de 1000 empresas públicas y de servicios, incluyendo al menos dos plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal. La participación de la industria privada ha alcanzado ya a las aerolíneas y las telecomunicaciones, así como la construcción de carreteras y bancos.

Mientras avanza la iniciativa de privatización para el envío de agua en el Distrito Federal, la Comisión Nacional del Agua, la Comisión de Aguas de la Ciudad de México, el Departamento del Distrito Federal y las nuevas compañías privadas que se encarguen de administrar la distribución, tendrán que coordinarse y cooperar. Es a nivel nacional como los permisos y el agua en bloque se reparten a los distribuidores locales. Surgirán cuestiones difíciles, como las relativas a quién asumirá el costo de construcción de la infraestructura, o a la manera como se establecerán las tarifas y las medidas prácticas para lograr una mayor eficiencia en el uso y la distribución del agua.

### **Nueva Ley Federal de Derechos de Agua**

El 1° de diciembre de 1992 se publicó en México una nueva ley que cambió por completo el método de distribución del agua subterránea en México. La nueva ley establece que, en términos hidrológicos, una cuenca puede ser privatizada en su totalidad. Privatizar en su totalidad una cuenca no significa que alguien pueda llegar, hacer un pozo y conseguir un nuevo derecho de agua. Más bien, representa la posibilidad que alguien intercambie los derechos de un usuario existente, para crear así un mercado de derechos del agua. La efectividad de esta ley depende de que se conozca la cantidad de agua que empleaba el usuario anterior, asunto que se enfrenta con el problema de las carencias existentes en materia de medición. Aun así, se puede establecer una cantidad permitida de agua, con base en investigaciones hidrológicas y otros métodos. Esta ley también se aplica a los abastecimientos de agua potable. Antes de diciembre de 1992, cualquier proveedor de agua potable no tenía más que hacer una solicitud para obtener un permiso de pozo. Ahora, el aspirante debe comprar los permisos de otros usuarios. Esta nueva ley deberá ser útil para controlar las extracciones de agua subterránea en áreas altamente explotadas, pues limita la disponibilidad de los permisos.

La ley aborda de una manera muy vaga el tema de los daños a terceros, aunque no existen reglamentos que le den sentido a esta situación. En cuanto a la interferencia de pozos, la vieja ley prohibía que se colocara un pozo a menos de 500 metros de otro. Con la nueva ley, los cálculos variarán dependiendo de los coeficientes del acuífero. También serán importantes las medidas relativas al registro de permisos, verificación y monitoreo.

### **Consejos Regionales de Planeación del Agua**

Un cambio significativo en la nueva ley nacional del agua es el relacionado a la creación de consejos regionales en las cuencas, que tienen la función de ayudar a definir el abastecimiento general de agua y a proporcionar la infraestructura para el manejo del agua

superficial y subterránea, a la administración local. Los consejos son designados para trabajar con la Comisión Nacional del Agua y las comisiones estatales de agua para establecer prioridades de uso, promover la conservación y representar a los distintos grupos de usuarios en la región. La Cuenca de México es considerada como una región independiente y en el futuro se establecerá un consejo especial para ella.

Los distritos de riego locales y las cooperativas agrarias representan un rico precedente histórico para el desarrollo de estos consejos regionales de las cuencas. Los grupos locales de planeación han empezado ya a dar frutos en la cuenca Lerma-Chapala, donde distintos grupos públicos y privados trabajan para desarrollar planes más eficientes y un uso equitativo de este recurso finito.

El DDF, a través de estrategias de educación y promoción, intenta hacer conscientes a los usuarios de que para obtener un mejor servicio es necesario el pago por agua medida, a precios que reflejen su verdadero costo. Al pagar un precio mayor, el público demandará mayor participación en las decisiones relacionadas con la justa distribución del agua y podrá obtener la seguridad de que los costos se distribuyan de manera justa. Los nuevos Consejos Regionales de Agua representan un importante avance institucional, ya que los usuarios tendrán voz en estos foros. Los consejos serán un espacio de debate abierto sobre diversos temas, como el precio del agua, los derechos de uso, las medidas de conservación y el desarrollo de infraestructura.

## **INSTITUCIONES RESPONSABLES DE LA CALIDAD DEL AGUA**

La institución nacional para la protección del medio ambiente, la Secretaría de Desarrollo Social, tiene amplias facultades. La Comisión Nacional del Agua y la Secretaría de Salud han visto ampliadas también sus facultades gracias a las nuevas reformas legales. Debido al predominio de estas instituciones federales, las oficinas de salud locales o estatales tienen poca responsabilidad en la vigilancia de la calidad del agua en la Zona Metropolitana del Valle de México. Desafortunadamente, estas oficinas federales de salud tienen una jurisdicción poco definida y reglamentos inconsistentes que hacen difícil desarrollar una legislación más completa con respecto al agua, como lo manda la Ley General de Equilibrio Ecológico de 1988. Aunque la ley de 1988 anunciaba un plan muy extenso para proteger el ambiente, este plan sólo se ha llevado a cabo en áreas donde las crisis han obligado a actuar (véase U.S. Government Accounting Office, 1991, y U.S. Mexico trade, Information on Environmental Regulation and Enforcement, mayo 1991). Hoy se aplican, mientras se promulgan nuevos reglamentos, los establecidos por la ley de Protección de los Recursos del Agua de 1971.

La nueva Ley Federal Sobre Metrología y Normalización del 1º de julio de 1992 y la nueva posición del Procurador Federal del Medio Ambiente representan reformas significativas. El Procurador Federal del Medio Ambiente tiene facultades para obligar a las empresas privadas y paraestatales a cumplir las normas gubernamentales de protección ambiental. El procurador federal opera al margen del aparato burocrático, hecho que podría servirle para atraer la atención a nivel nacional hacia a los problemas relacionados con la seria degradación ambiental, incluyendo el tema de la calidad del agua en la ZMVM. Esto podría

propiciar que se establecieran en todo el país reglamentos más amplios para enfrentar los problemas actuales y futuros.

La Ley Federal Sobre Metrología y Normalización obliga a emplear análisis de costo-beneficio para establecer nuevos reglamentos; asimismo, requiere que se investiguen las soluciones no reglamentadas dictadas por el mercado. Esta ley es significativa porque atrae a epidemiólogos y a todos aquellos que se arriesgan a hacer el análisis y a debatirlo con las instituciones que alientan el desarrollo económico. El análisis de costo-beneficio también podría influir en las futuras decisiones sobre normas y reglamentos relacionados con la vida del acuífero a largo plazo.

La Ley General de Salud del 7 de febrero de 1984 (enmendada en 1988) da a la Secretaría de Salud jurisdicción sobre distintos temas relativos a la calidad del agua potable. La ley impone normas para el agua potable, que incluyen niveles máximos de contaminantes y la eliminación de bacterias. La ley también enfrenta los problemas de la distribución del agua y autoriza a la Secretaría de Salud a que regule la calidad del agua en toda la infraestructura pública y privada de distribución. Asimismo, se ocupa del tratamiento de aguas residuales y prohíbe su descarga en áreas donde se extrae agua potable. Virtualmente todos los estados acatan las normas y requerimientos de la ley de 1984, al igual que los sistemas municipales. Aunque la Secretaría de Salud impone estas normas, los reglamentos son puestos en práctica por la Secretaría de Desarrollo Social y la Comisión Nacional del Agua.

Otra medida importante para mejorar la calidad del agua es la aplicación de un nuevo impuesto para el uso y el desecho de este recurso. Aunque se le llama impuesto, funciona como una cuota de permiso para generar ingresos que protejan los recursos del agua. Un impuesto paralelo por desecho de aguas residuales se ha establecido para sancionar a quienes contaminan, con una severa multa a quienes regresan aguas residuales sin tratar al sistema de drenaje. Así el impuesto propiciará un uso más eficiente del agua y generará fondos para el gobierno. El impuesto por aguas residuales afectará claramente a los usuarios industriales que obtienen su propia agua. No se ha definido con claridad el método que emplearán los municipios o el DDF para cobrar a los usuarios este impuesto. La aplicación de este impuesto influirá también en las decisiones comerciales para el desarrollo de proyectos, especialmente si se aplica de manera diferenciada, dentro y fuera de las áreas de servicio municipal.

---

[Volver a la pagina principal de "El Suministro de Agua..."](#)

Copyright © 1995 by the National Academy of Sciences. All Rights Reserved.

# EL SUMINISTRO DE AGUA DE LA CIUDAD DE MEXICO

## Mejorando la Sustentabilidad

Comité de Academias para el Estudio de Suministro de Agua

de la Ciudad de México

Water Science and Technology Board

Commission on Geosciences, Environment, and Resources

National Research Council

y

Academia de la Investigación Científica, A.C.

Academia Nacional de Ingeniería, A.C.

NATIONAL ACADEMY PRESS

Washington, D.C. 1995

---

**NOTA:** El proyecto contenido en este reporte fue aprobado por la Junta Directiva del Consejo Nacional de Investigación, cuyos miembros provienen de los consejos de la Academia Nacional de Ciencias, la Academia Nacional de Ingeniería y el Instituto de Medicina; los miembros de la junta responsables de su elaboración fueron escogidos en base a su especial capacidad, procurando establecer una participación equilibrada.

Además, el reporte fue revisado por otro grupo de distinguidos especialistas, en cumplimiento de los procedimientos aprobados por el Comité de Revisión de Reportes, el cual agrupa a miembros de la Academia Nacional de Ciencias, la Academia Nacional de Ingeniería y el Instituto de Medicina.

El proyecto se ha llevado a cabo gracias al apoyo de la Fundación Ford (acuerdo No. 910-1413), la Fundación Tinker, el Fondo del Consejo Nacional de Investigación, la Agencia Norteamericana de Protección Ambiental (bajo el acuerdo No. CX-820728-01-0), el CONACYT, la Fundación Rockefeller, la Fundación MacArthur, la UNDP (en base al acuerdo MEX/93/001/A/01/99) y la Secretaría de Salud.



Portada: *Paisaje* por Emilio Rosenblueth, óleo sobre tela, 1938; colección de la Familia Rosenblueth. El presentar esta pintura se hace en memoria de Emilio Rosenblueth D. (1926-1994), hijo del artista, quien llevó a cabo una gran labor para el avance de la ciencia en México y fue un eslabón muy importante para el intercambio de conocimientos con la comunidad científica de los Estados Unidos. Dr. Rosenblueth D. fue director del Instituto de Ingeniería de UNAM, coordinador de Investigaciones Científicas de UNAM, presidente de la Academia de Investigación Científica, A.C., sub-secretaria de la Secretaría de Educación, y miembro extranjero asociado de U.S. National Academy of Science y U.S. National Academy of Engineering. Agredecimiento especial se le da a la Sra. Alicia Laguette de Rosenblueth, esposa y compañera de Emilio y a su familia por su autorización para reproducir la pintura.

Library of Congress Catalog Card No. 95-67404

International Standard Book Number 0-309-05245-9

Additional copies of this report are available from:

National Academy Press  
2101 Constitution Ave., NW  
Box 285  
Washington, DC 20055  
800-624-6242  
202-334-3313 (in the Washington Metropolitan Area)  
B-533

Copyright 1995 by the National Academy of Sciences. All rights reserved.

---

Printed in the United States of America La Academia Nacional de Ciencias es una sociedad privada, sin fines de lucro y autosostenible, formada por distinguidos académicos al servicio de la investigación en ciencias e ingeniería, del fomento a las actividades científicas y tecnológicas, así como de su empleo en beneficio de la comunidad. En base a la facultad que le otorgara el Congreso en 1863, la Academia tiene también la obligación de asesorar al gobierno federal en asuntos relativos a los campos de la ciencia y la tecnología. El presidente de la Academia Nacional de Ciencias es el Dr. Bruce Alberts.

La Academia Nacional de Ingeniería, fundada en 1964 como parte de la Academia Nacional de Ciencias, es una organización paralela integrada por destacados ingenieros. Posee autonomía administrativa y para la elección de sus miembros; asimismo, comparte con la Academia Nacional de Ciencias la responsabilidad de asesorar al gobierno federal. La Academia Nacional de Ingeniería también patrocina programas destinados a subsanar necesidades nacionales en áreas de su competencia, fomenta la educación y la investigación y otorga reconocimientos a la excelencia entre los ingenieros. El Dr. Robert M. White es el presidente de la Academia Nacional de Ingeniería.

En 1970 la Academia Nacional de Ciencias creó el Instituto de Medicina, con el objeto de consolidar la participación de profesionistas destacados en el examen de las políticas relativas a la salud pública. Para asesorar al gobierno federal, el Instituto de Medicina actúa bajo la responsabilidad que le confiere la Academia Nacional de Ciencias a través del mandato que otorgara el congreso; para identificar problemas de atención médica, investigación y educación, actúa bajo iniciativa propia. Su presidente es el Dr. Kenneth I. Shine.

El Consejo Nacional de Investigación fue organizado por la Academia Nacional de Ciencias en 1916, para involucrar a la gran comunidad científica y tecnológica en los principales fines de la Academia: promover el conocimiento y asesorar al gobierno federal. Al funcionar en concordancia con las políticas generales determinadas por la Academia, el Consejo se ha convertido en la principal organización operativa de la propia Academia Nacional de Ciencias y de la Academia Nacional de Ingeniería, para cumplir con la función de prestar servicios al gobierno, al público y a las comunidades relacionadas con la ciencia y la ingeniería. El Consejo funciona bajo la administración conjunta de ambas academias y del Instituto de Medicina. El Dr. Bruce Albert y el Dr. Robert M. White son, respectivamente, el presidente y el vicepresidente del Consejo Nacional de Investigación.

La Academia de Investigación Científica fue creada en agosto de 1959 y tiene como meta, entre otras, la de organizar y promover la investigación científica en todas las áreas de la ciencia. El Dr. Mauricio Fortes es su presidente.

La Academia Nacional de Ingeniería fue creada en agosto de 1974, con el fin de promover la investigación en ingeniería, fomentar la educación y el desarrollo, así como estimular las investigaciones de alto nivel y la enseñanza de calidad. Su presidente es el Dr. Héctor Nava.

---

## **COMITÉ PARA EL SUMINISTRO DE AGUA DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

CHARLES T. DuMARS, *co-Presidente*, University of New Mexico, Albuquerque

ISMAEL HERRERA-REVILLA, *co-Presidente*, Academia Nacional de Ingeniería, A.C., and Instituto de Geofísica, UNAM, México. D.F.

IRINA CECH, University of Texas, Houston

RANDALL CRANE, University of California, Irvine

CRISTINA CORTINAS-DE NAVA, Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de Desarrollo Social, México, D.F.

JOSE RAMÓN COSSÍO-DÍAZ, Suprema Corte de Justicia de la Nación, México, D.F.

RICHARD S. ENGELBRECHT, University of Illinois at Urbana-Champaign

ROBERT N. FARVOLDEN, University of Waterloo, Canada, and National Ground Water Association, Dublin, Ohio

HELEN INGRAM, University of Arizona, Tucson

JESUS KUMATE-RODRÍGUEZ, Secretaría de Salud, México, D.F.

LUCRECIA LOZANO-GARCÍA, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Nuevo León, México

JUAN MANUEL MARTINEZ-GARCÍA, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal, México, D.F.

RUBÉN MARTÍNEZ-GUERRA, Comisión Nacional del Agua, México, D.F.

CARLOS VÉLEZ-OCÓN, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, México, D.F.

DAVID WILK-GRABER, Consultor en desarrollo urbano y medio ambiente, México, D.F.

#### **WSTB LIAISON**

KENNETH D. FREDERICK, Resources for the Future, Washington, D.C.

#### **PERSONAL DE APOYO DEL COMITÉ**

GARY D. KRAUSS, Director de Estudios, Water Science and Technology Board, National Research Council

JULIA MELCHOR-SÁNCHEZ, Director de Estudios, Fundación Ricardo Monges López, A.C.

ALEJANDRO LOZANO-GUZMÁN., Director de Estudios, Academia Nacional de Ingeniería, A.C.

GREGORY NYCE, Asistente del Proyecto, Water Science and Technology Board, National Research Council

---

#### **WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY BOARD**

DAVID L. FREYBERG, *Chair*, Stanford University, California

BRUCE E. RITTMANN, *Vice Chair*, Northwestern University, Evanston, Illinois

LINDA M. ABRIOLA, University of Michigan, Ann Arbor

J. DAN ALLEN, Chevron USA, Inc., New Orleans, Louisiana

PATRICK L. BREZONIK, University of Minnesota, St. Paul

WILLIAM M. EICHBAUM, The World Wildlife Fund, Washington, D.C.

WILFORD R. GARDNER, University of California, Berkeley

WILLIAM L. GRAF, Arizona State University, Tempe

THOMAS M. HELLMAN, Bristol-Myers Squibb Company, New York, New York

CHARLES C. JOHNSON, U.S. Public Health Service (Retired), Washington, D.C.

CAROL A. JOHNSTON, University of Minnesota, Duluth

WILLIAM M. LEWIS, JR., University of Colorado, Boulder

CAROLYN H. OLSEN, Brown and Caldwell, Pleasant Hill, California

CHARLES R. O'MELIA, John Hopkins University, Baltimore, Maryland

IGNACIO RODRIGUEZ-ITURBE, Texas A&M University, College Station

HENRY VAUX, JR., University of California, Riverside

*Staff*

STEPHEN D. PARKER, Director

SHEILA D. DAVID, Senior Staff Officer

CHRIS ELFRING, Senior Staff Officer

JACQUELINE MACDONALD, Senior Staff Officer

GARY D. KRAUSS, Staff Officer

ETAN GUMERMAN, Research Associate

JEANNE AQUILINO, Administrative Associate

ANITA A. HALL, Administrative Assistant

ANGELA BRUBAKER, Senior Project Assistant

MARY BETH MORRIS, Senior Project Assistant

GREGORY NYCE, Senior Project Assistant

---

**COMMISSION ON GEOSCIENCES, ENVIRONMENT, AND RESOURCES**

M. GORDON WOLMAN (*Chairman*), The Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland

PATRICK R. ATKINS, Aluminum Company of America, Pittsburgh, Pennsylvania

EDITH BROWN WEISS, Georgetown University Law Center, Washington, D.C.

JAMES P. BRUCE, Canadian Climate Program Board, Ottawa, Ontario, Canada

WILLIAM L. FISHER, University of Texas, Austin

EDWARD A. FRIEMAN, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California

GEORGE M. HORNBERGER, University of Virginia, Charlottesville

W. BARCLAY KAMB, California Institute of Technology, Pasadena

PERRY L. MCCARTY, Stanford University, California

S. GEORGE PHILANDER, Princeton University, New Jersey

RAYMOND A. PRICE, Queen's University at Kingston, Ontario, Canada

THOMAS A. SCHELLING, University of Maryland, College Park

ELLEN SILBERGELD, Environmental Defense Fund, Washington, D.C.

STEVEN M. STANLEY, The Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland

VICTORIA J. TSCHINKEL, Landers and Parsons, Tallahassee, Florida

*Staff*

STEPHEN RATTIEN, Executive Director

STEPHEN D. PARKER, Associate Executive Director

MORGAN GOPNIK, Assistant Executive Director

JAMES MALLORY, Administrative Officer

SANDI FITZPATRICK, Administrative Associate

---

**ACADEMIA DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA, A.C.**

MAURICIO FORTES-BESPROSVANI, Presidente

JUAN RAMON DE LA FUENTE-RAMIREZ, Vicepresidente

LINDA MANZANILLA-NAIM, Secretaria Electa

RUBEN BARRERA-PEREZ, Secretario Designado

SAUL VILLA-TREVIÑO, Tesorero

**ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERIA, A.C.**

HECTOR NAVA-JAIMES, Presidente

LUIS ESTEVA-MARABOTO, Vicepresidente

CRISTINA VERDE-RODARTE, Secretario

OCTAVIO MANERO-BRITO, Tesorero

---

[Volver](#) a la pagina principal de "El Suministro de Agua..."

Copyright © 1995 by the National Academy of Sciences. All Rights Reserved.

## Referencias

- AIC-ANIAC. 1995. El Agua y la Ciudad de Mexico. Mexico, D.F.: Academia de la Investigación Científica, A.C. y Academia Nacional de Ingeniería, A.C.
- Alberro, J. 1993. Algunos efectos de las filtraciones en la estabilidad de las masas rocosas. Primera Conferencia Magistral, 22-24 de septiembre. J. Marsal (ed.), Sociedad Mexicana de Mecánica de Rocas, A.C. Texcoco, Gro., México.
- Albert, L., P. Mendez, and M. Cebrian. 1980. Organochlorine Pesticide Residue in Human Adipose Tissue in Mexico: Results of a preliminary study in three Mexican cities. *Archives of Environmental Health* 35(5):262-269.
- Bahl, R.W., and J. F. Linn. 1992. *Urban Public Finance in Developing Countries*. New York: Oxford University Press. Published for The World Bank.
- Bellia, S., G. Cusimano, M.T. González, R.C. Rodríguez, and G. Giunta. 1992. El Valle de México; consideraciones preliminares sobre los riesgos geológicos y análisis hidrogeológico de la cuenca de Chalco. *Quadernilla (Serie Scienza 4)*, Instituto Italo-Latino Americano, Roma.
- Boland, J.J. 1983. *Water/Wastewater pricing and financial practices in the United States*. Washington, D.C.: Metametrics, Inc.
- Bredehoeft, J.D. and G.F. Pinder. 1970. Digital Analysis of Areal Flow in Multiaquifer Groundwater Systems: A Quasi Three-Dimensional Model. *Water Resources Research*, 3(6):883-888.
- Buenfil, M. 1993. Household water metering and tariffs. Mexico D.F. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- Carrillo, N. 1948. Influence of artesian wells on the sinking of México City. In *Proceedings of the 11th International Conference on Soils Mechanics*. Holland.
- Castro, J.F. 1991. El cholera, una plaga rediviva. *Gaceta Medica de Mexico* 127(5): 395-398.
- Cech, I., and A. Essman. 1992. Water sanitation practices along the U.S.-Mexico border; implication for physicians on both sides. *Southern Medical Journal* 85(11):1053-1064.
- Comisión de Aguas de Distrito Federal. 1993. *Licitacion para la prestacion de servicios relaciones con el servicio publico de agua potable y drenaje en el Distrito Federal*. Mexico, D.F.
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento. 1993. *Plan Maestro de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Mexico 1994-2000 Tomo 2*.

Comisión Nacional del Agua. 1992. Situación Actual del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Gerencia de Información y Participación Ciudadana.

Crane, R. 1994. Water markets, market reform, and the urban poor: Results from Jakarta, Indonesia. World Development 22. World Bank Technical Report 22 (?).

Craun, G.F., R.J. Bull, R.M. Clark, J. Doull, W. Grabow, G.M. Marsh, D.A. Okun, S. Regli, M.D. Sobsey, and J.M. Symons. 1994a. Balancing chemical and microbial risks of drinking water disinfection, Part I. Benefits and potential risks. J. Water SRT-Aqua 43(4):192-199.

Craun, G.F., S. Regli, R.M. Clark, R.J. Bull, J. Doull, W. Grabow, G.M. Marsh, D.A. Okun, M.D. Sobsey, and J.M. Symons. 1994b. Balancing chemical and microbial risks of drinking water disinfection, Part II. Managing the risks. J. Water SRT-Aqua 43(5):207-218.

Cutter Information Corp. 1992. Technology transfer in practice: the Mexico example. Business and the Environment 3(4):3-5.

Departamento del Distrito Federal. 1969. Interceptores Profundos y el Emisor Central. Un Nuevo Sistema para el Distrito Federal. Secretaría General de Obras Publicas. Mexico, D.F.

Departamento del Distrito Federal. 1982. El Sistema Hidráulico del Distrito Federal, un servicio publico en transición. Mexico, D.F.

Departamento del Distrito Federal. 1990a. El Sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. México, D.F.: Secretaria General de Obras.

Departamento del Distrito Federal. 1990b. Memoria, Programa de Use Eficiente del Agua. Mexico, D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidraulica.

Departamento del Distrito Federal. 1991a. AGUA 2000: Estrategia para la Cuidad de México. México, D.F.

Departamento del Distrito Federal. 1991b. Memoria: Programa de Uso Eficiente del Agua, 3rd edition. Mexico, D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Secretaría General de Obras.

Departamento del Distrito Federal. 1992a. Memoria: Programa de Uso Eficiente del Agua, 4th edition. Mexico D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Secretaría General de Obras.

Departamento del Distrito Federal. 1992b. 1992 Compendio DCGOH. Mexico D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidraulica. Secretaria General de Obras Publicas.



- Durazo, J., and R.N. Farvolden. 1989. The ground water regime of the Valley of Mexico from historic evidence and field observations. *Journal of Hydrology* 112:1-190.
- Espino, E., M. Vázquez, and F. Flores. 1987. Pilot Studies of Wastewater Potabilization in México City. P. 693-703 in *Proceedings, Water Reuse Symposium IV*, August 1987, Denver, Colorado: American Water Works Association.
- Falkenmark, M. and R.A. Suprpto. 1992. Population-landscape interactions in development: a water perspective to environmental sustainability. *Ambio* 21(1):31-36.
- Fox, K.R. 1993. Engineering aspects of waterborne disease outbreak investigations. Cincinnati, Ohio: U.S. Environmental Protection Agency.
- Garza, G., ed. 1987. *Atlas de la Ciudad de México*. Departamento del Distrito Federal y El Colegio de México. México, D.F.
- Garza, G., ed. 1989. *Una Década de Planeación Urbano-Regional en México, 1978-1988*. El Colegio de México. México, D.F.
- Frederick, K.D. 1993. *Balancing Water Demands with Supplies: The Role of Management in a World of Increasing Scarcity*, World Bank Technical Paper No. 189. Washington, D.C.: The World Bank.
- Herrera, I. 1970. Theory of multiple leaky aquifers. *Water Resources Research*, 6(1):185-193.
- Herrera, I., and G.E. Figueroa. 1969. A correspondence principle for the theory of leaky aquifers. *Water Resources Research* 5(4):900-904.
- Herrera, I., R. Martínez G., and G. Hernández. 1989. contribución para la administración científica del agua subterránea de la Cuenca de México. In *El sistema acuífero de la Cuenca de México*. Special volume, I. Herrera (ed.), *Geofísica Internacional*, 28 (23):297-234. Unión Geofísica Mexicana.
- Herrera-Revilla, I., R. Medina-Bañuelos, J. Carrillo-Rivera, and E. Vazquez-Sánchez. 1994. Diagnóstico del Estado Presente de las Aguas Subterráneas de la Ciudad de México y Determinación de sus Condiciones Futuras. Contrato No. 3-33-1-6684. México, D.F.: DGCOH, DDF, Instituto de Geofísica, UNAM.
- Hiriat, F., and R.J. Marsal. 1969. El Hundimiento de la Ciudad de México. Pp. 109-147 in *VII Congreso Internacional de Mecánica de Suelos y Ingeniería de Cimentaciones*, N. Carrillo (ed.). Mexico D.F.
- Ingram, H., N. Laney, and D. Gilliland. 1995 (in press). *Divided Waters: Bridging the U.S.-Mexico Border*. University of Arizona Press, Tucson, AZ.

INEGI (Instituto Nacional Estadística Geografía y Informática). 1991a. Area Metropolitana del la Ciudad de Mexico - Sintesis de Resultados - X Censo General de Población y Vivienda 1990. Mexico, D.F.: INEGI.

INEGI. 1991b. Resultados Definitivos, XI Censo General de Poblacion y Vivienda 1990. Mexico, D.F.: INEGI.

International Life Sciences Institute. 1992. The Safety of Water Disinfection: Balancing Chemical and Microbial Risks. Proceedings of The First International Conference on the Safety of Water Distribution. Washington, DC.

Juarez, J., G. Martinez, and J. Diaz. 1992. Installation of a water disinfection system in a Mexico City hospital. Bulletin of the Pan American Health Organization 26(2):121-127.

Kindler, J., and C.S. Russell, et al., eds. 1984. Modeling Water Demands. London: Academic Press.

Lessor y Asociados, S.A. de C.V. 1993. Perfiles de suelo para determinar el movimiento de contaminantes al agua subterránea. Mexico, D.F.: Dirección General de Construcción y Operación. Departamento del Distrito Federal.

Lesser-Illades, J. M., F. Sánchez-Díaz, y D. González- Posadas. 1990. Aspectos geohidrológicos de la ciudad de México. Ingeniería Hidráulica en México I(5):52-60, Mexico, D.F.

Marrow, A.L, R.R. Reewes, and M.S. West. 1992. Protection against infection with *Giardia lamblia* by breast-feeding in a cohort of Mexican infants. Mexico, D.F.: J. Pediatrics 121(3):363-370.

Marsal, R.J. 1974. El hundimiento de la Ciudad de Mexico. El Colegio Nacional.

Martin, W., H. Ingram, N. Laney, and A. Griffin. 1980. Saving Water in a Desert City. Johns Hopkins Press, Baltimore, MD.

Mazari, M., and M.D. Mackay. 1993. Potential groundwater contamination by organic compounds in the Mexico City Metropolitan Area. Environ. Sci. Technol. 27(5):794-802

McFadzean, J.A., and I.M. Pugh. 1976. Amoebiasis. In Epidemiology and Community Health in Warm Climate Countries.. R. Cruickshank, K. Standard, H. Russell (eds.). Churchill Livingstone, New York NY, 482 pp.

Metcalf and Eddy, Inc. 1991. Wastewater Engineering; Treatment, Disposal, and Reuse. 3rd edition, revised by G. Tchobanoglous and F.T. Burton. McGraw-Hill, Inc., New York, NY, 1334 pp.

Mooser, F. 1990. Estratigrafía y estructura del Valle de México en el subseulo de la cuenca del Valle de México y su relación con la Ingeniería de cimentaciones, a cinco años del sismo, México, en Revista de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. Mexico, D.F.

Mooser, F., and C. Molina. 1993. Nuevo Modelo Hidrogeológica para la Cuenca de México. Boletín del Centro de Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra, 3(1):68-84. México D.F.

Munasinghe, M. 1992. Water Supply and Environmental Management: Developing World Applications. Westview Press, Boulder, Colorado.

National Research Council. 1993. Ground Water Vulnerability Assessment: Contamination Potential Under Conditions of Uncertainty. National Academy Press, Washington D.C.

National Research Council. 1994. Ground Water Recharge Using Waters of Impaired Quality. National Academy Press, Washington, D.C.

Odendaal, P.E., and W.H. Hattingh. 1987. Status of Potable Reuse Research in South Africa. Proceeding of Water Reuse Symposium IV. American Water Works Association, Denver, CO, pp. 1339-1348.

Okun, D.A. 1991. A water and sanitation strategy for the developing world. Environment 33(8):16-43.

Okun, D.A., and D.T. Lauria. 1991. Capacity building for water resources management: An international initiative for the 1990s. Division for Global and Interregional Programmes, United Nations Development Programme. United Nations, New York, New York.

Organization Panamericana de la Salud. 1990a. *Health Statistics in the Americas*. PAHO Scientific Publication No 524, Volume II, Washington, D.C.

Organization Panamericana de la Salud. 1990b. *Health Conditions in the Americas*. PAHO Scientific Publication No 524, Volume I, Washington, D.C.

Orozco, and Berra. 1864. Memoria para la Carta Hidrográfica del Valle de México. Imprenta de A. Boix, Mexico, D.F. 185 p.

Ortega, A., J.A. Cherry, and D.L. Rudolph. 1993. Large-scale aquitard consolidation near Mexico City. Ground Water 31(5):708-718.

Ostrom, E., L. Schroeder, and S. Wynne. 1993. Institutional Incentives and Sustainable Development: Infrastructure Policies in Perspective. Boulder, Colorado: Westview Press.

Piña, R., R. Vilehis and M. Buenfil. 1993. Water demand parameters for supply systems planning. Mexico, D.F.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Mexico.

- Pitre, C.V. 1994. Analysis of induced recharge from a wastewater canal through fractured clays in Mexico City. M.Sc. Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada.
- Rivera, F., F. Medina, and P. Ramirez. 1984. Pathogenic and free-living protozoa cultured from nasopharyngeal and oral regions of dental patients. *Envir. Research* 33:428-440.
- Rivera, F., M.E. Paz, and E. Lopez-Ochoterena. 1978. Transformacion ameboflagelar espontanea y inducida en especies del genero Naegleria, recollecteadas en piscinas, grifos, y reservourios naturales de igual dulce de al Ciudad de Mexico. *Arch. Mex. Anat.* 15:9-19.
- Rivera, F., P. Ramirez, and G. Vilaclara. 1983. A survey of pathogenic and free-living amoebae inhabiting swimming pool water in Mexico City. *Envir. Research* 32:205-211.
- Rivera, F., F.I. Rosas, and M. Castillo. 1986. Pathogenic and free-living protozoa cultured from nasopharyngeal and oral regions of dental patients. *Envir. Research* 39:364-371.
- Rivera, F., A. Ortega, E. Lopez-Ochoterena, and M.E. Paz. 1979. A quantitative morphological and ecological study of protozoa polluting tap water in Mexico City. *Transactions of the American Microscopic Society* 98(3):465-469.
- Rivera, F., P. Bonilla, E. Ramírez, A. Calderón, E. Gallegos, S. Rodríguez, R. Ortiz, D. Hernández, and V. Rivera. 1994. Seasonal distribution of air-borne pathogenic and free-living amoebae in Mexico City and its suburbs. *Water, Air, and Soil Pollution* 74(1-2):65-87.
- Rodríguez, R. 1987. consideraciones preliminares, basadas en resultados geofisicos, sobre la interfase agua mineralizada-agua dulce in el área de Sta. Catarina Yecahuitzol, Distrito Federal, México. *Geofisica Internacional*, 26(4):573-583. México, D.F.
- Rose, J.B., C.H.P. Gerba, and W. Jakubowski. 1991. Survey of potable water supplies for *Cryptosporidium* and *Giardia*. *Environmental Science and Technology* 25(6):1303-1310.
- Rose, J.B. 1993. Enteric waterborne protozoa: hazard and exposure assessment. In: Craun, G. F. (ed.) *Safety of Water Disinfection*. Washington: Internation Life Science Institute Press.
- Roth, G. 1985. The role of the private sector in providing water in developing countries. *Natural Resources Forum* 9:167-177.
- Rowen, J., and D. Behm. 1993. Fatal Neglect. *Milwaukee Journal*, August. pp. 19-26.
- Rudolph, D.L., J.A. Cherry, R.N. Farvolden. 1991. Ground water flow and solute transport in fractured lacustrine clay near Mexico City. *Water Resources Research* 27(9):2187-2201.

SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicas). 1953-1969. Boletines de Mecánica de Suelos, Comisión Hidrológica de la Cenca del Valley de México, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulica. Mexico, D.F.: SARH.

SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicas). 1988. Estudio para evitar la contaminación del acuífero del Valle de México. Contrato CAVM 85-406. Mexico, D.F.: Instituto Geofísica de la UNAM, Comisión de Aguas del Valle de México de SARH.

Sarti-Gutierrez, E.J., Q.F.R. Parrilla-Cerrillo, and S. Vazquez-Barojas. 1989. Control sanitario de alimentos en las ciudad de Mexico. *Salud Publico de Mexico* 31(1):82-90.

Schteingart, M. 1993. Interview, El Colegio de México, February 23 and 25.

Sepulveda, A.J., W. Willett, and A. Munoz. 1978. Malnutrition and diarrhea: A longitudinal study among urban children. *Am. J. Epidemiology* 127:365-376.

Simonian, L. 1988. Pesticide use in Mexico: decades of abuse. *Ecologist* 18(2-3):82-87.

Shaw, D., R. Henderson, and M. Cardona. 1992. Urban drought response in Southern California: 1990-91, *Journal of the AWWA* 84(10):34-41.

Shuval, H.I. 1986. Wastewater irrigation in developing countries; health effects and technical solutions. World Bank Technical Report No. 51. Washington, DC.

Soave, R. 1990. Treatment strategies for cryptosporidiosis. *Ann. NY Acad. Sci.* 616:442-451.

Tchobanoglous, G., and E.D. Schroeder. 1985. *Water Quality*. Reading, MA: Addison-Wesley.

U.S. Environmental Protection Agency and U. S. Agency for International Development. 1992. *Manual-Guidelines for Water Reuse*. EPA/625/R-92/004. Washington, DC.

U.S. Environmental Protection Agency. 1993. *Evaluation of Mexico Environmental Laws, Regulations, and Standards*. Washington, D.C.: EPA Office of General Council.

U.S. General Accounting Office. 1991. *U.S.-Mexico Trade; Information of Environmental Regulations and Enforcement*. GAO/NSIAD-91-227. Washington, DC.

Ward, P. 1990. *Mexico City: The Production and Reproduction of an Urban Environment*. London: Belhaven Press.

Whittington, D. and K. Choe. 1992. Economic benefits available from the provision of improved potable water supplies. *WASH Technical Report No. 77*. Washington, D.C.: USAID.

World Bank. 1991. Water: Save now or pay later. The Urban Edge: Issues and Innovations 15(3)1-6.

World Bank. 1992. World Development Report 1992: Development and the Environment. New York: Oxford University Press.

---

[Volver](#) a la pagina principal de "El Suministro de Agua..."

Copyright © 1995 by the National Academy of Sciences. All Rights Reserved.

## Apéndice A

### RESUMEN BIOGRAFICO DE LOS MIEMBROS DEL COMITÉ

CHARLES T. DUMARS, *co-presidente*, es profesor en la Universidad de Nuevo México, en donde imparte cursos de derecho del agua, derecho minero, derecho constitucional y derecho comparativo internacional privado. El obtuvo su licenciatura en psicología en la Universidad de Oregon y su doctorado en Derecho en la Universidad de Arizona. Es miembro de la barra de abogados de los estados de Nuevo México y Arizona. Ha trabajado en el "Western States Water Council" y en el "Bureau of Land Management Advisory Board" del estado de Nuevo México. El Dr. DuMars también fue miembro del "Committee on Irrigation-Induced Water Quality Problems" del "National Research Council".

ISMAEL HERRERA REVILLA, *co-presidente*, es catedrático Patrimonial de excelencia (CONACYT) e investigador emérito de la UNAM (Instituto de Geofísica). Es matemático con amplia formación en matemáticas básicas dedicado a las aplicaciones de las matemáticas: ingeniería civil, geofísica y recursos hidráulicos, principalmente. Obtuvo su doctorado en la División de Matemáticas Aplicadas de la Brown University (EUA) después de realizar estudios en química, física y matemáticas en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Su trabajo científico incluye tanto contribuciones metodológicas como aplicaciones específicas. Es editor de "Numerical Methods for Partial Differential Equations: An International Journal" (John Wiley, Nueva York). Ha desempeñado el cargo de director del Instituto de Geofísica de la UNAM, durante tres periodos, y fue organizador y fundador del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Entre las distinciones que ha recibido por sus contribuciones, se encuentran los tres premios científicos más importantes que se ofrecen en México. También, es ex-presidente tanto de la Academia Nacional de la Investigación Científica como de la Academia Nacional de Ingeniería. Su actividad internacional incluye responsabilidades editoriales y puestos consultivos de diversas sociedades y universidades. En la Universidad de Princeton, fue miembro del "Advisory Council" (Ingeniería Civil e Investigación de Operaciones), durante ocho años.

IRINA CECH es profesora de salud ambiental e hidrología en el Centro de Ciencias de la Salud de la Universidad de Texas en Houston, Escuela de Salud Pública, y Visiting Profesor en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México. Recibió su maestría en hidrología en la Universidad de Moscú y obtuvo su doctorado (Ph.D.) en ciencias de salud ambiental en la Universidad de Texas. Sus áreas de interés incluyen: salud ambiental, hidrología y salud internacional. Sus investigaciones se ocupan del estudio de acuíferos y del desarrollo de fuentes de alimentación hidráulica de los acuíferos, geoquímica y efectos sobre la salud del uso de fuentes inadecuadas y contaminadas. Como miembro del Comité de Ciencia e Ingeniería del Congreso ha trabajado como asistente especial en el Subcomité de Planeación e Investigación del Comité de Energía y Comercio. Es Consultora de la Organización Mundial de la Salud y de la Organización Panamericana de la Salud.

CRISTINA CORTINAS DE NAVA es Asesora del Instituto Nacional de Ecología (1992 a la fecha) y investigadora del Instituto de Investigaciones Biomédicas en el Departamento de

Genética y Toxicología Ambiental. Obtuvo su licenciatura en biología en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el doctorado en ciencias naturales en la Facultad de Ciencias de la Universidad de París, Francia. Fue investigadora en la Clínica de Genética Médica del Hospital Infantil de París. En México fue investigadora del IMSS, en donde estuvo a cargo del Departamento de Biología de la Nutrición. En 1971 ingresó al Instituto de Investigaciones Biomédicas en donde actualmente sigue colaborando como investigadora y en donde fundó el Laboratorio de Genética Toxicológica y la Unidad de Investigación en Salud Ambiental. En tres ocasiones ha colaborado con el Gobierno de la República a través de la Comisión de Ecología del DDF, en donde estuvo a cargo de la Subdirección de Impactos del Ambiente en la Salud. Fue directora general de Salud Ambiental en la Secretaría de Salud (1989-1991). Es investigadora nacional. Durante los dos últimos años representó al Instituto de Ecología como observadora en las reuniones de medio ambiente de la OCDE y preparó el ingreso de México a la misma en lo relativo a las cuestiones ambientales. Es coautora de varios libros sobre impacto ambiental, residuos industriales y cuatro monografías sobre residuos peligrosos y problemas relacionados con el medio ambiente. Y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores.

JOSÉ RAMÓN COSSÍO DÍAZ es profesor de derecho constitucional en la licenciatura en derecho del ITAM y profesor en la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO), sede México. Es licenciado en derecho por la UNAM. Obtuvo su maestría en derecho constitucional y administrativo en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Derecho de la UNAM. Realizó su especialidad en derecho constitucional y ciencia política en el Centro de Estudios Constitucionales de Madrid, obteniendo el premio anual al mejor trabajo de derecho constitucional. Su doctorado lo obtuvo en la Facultad de Derecho de la Universidad Complutense de Madrid. Dentro de sus actividades académicas el Dr. Cossío ha ocupado cargos con el Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM, la Comisión de Derechos Humanos de la H. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, la Suprema Corte de Justicia de la Nación, y otros. Dentro de otras de sus actividades y cargos el Dr. Cossío es editor del *Boletín del Instituto Iberoamericano de Derecho Constitucional* de la UNAM; es miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1989; miembro del Comité Organizador del Seminario Internacional de Estados sobre teoría y filosofía del derecho de Eduardo García Maynez, bajo el patrocinio del ITAM y la Escuela Libre de Derecho (1993); miembro del Consejo Consultivo del Instituto de Administración Pública del estado de Colima (1992); miembro regular de la Academia de la Investigación Científica, A. C.

RANDALL CRANE es profesor asistente de análisis y diseño ambiental en el Programa de Ecología Social en la Universidad de Irvine, California. Obtuvo la licenciatura en historia en la Universidad de California, Santa Bárbara. La maestría en planeación urbana, en la Universidad Estatal de Ohio y su doctorado en estudios de planeación urbana del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Sus intereses en investigación y docencia incluyen desarrollo y crecimiento urbano, suministro y demanda de agua en países en vías de desarrollo, administración pública, uso del suelo y análisis costo-beneficio. Ha sido profesor visitante en el Centro de Estudios Económicos y en el Colegio de México, en la Ciudad de México, en donde enseñó y llevó a cabo una investigación sobre crecimiento urbano y desarrollo en la Ciudad de México.



ROBERT N. FARVOLDEN es profesor de hidrología regional en el Departamento de Ciencias de la Tierra en la Universidad de Waterloo, y, desde 1993, es Senior Scientist con el National Ground Water Association. Obtuvo su licenciatura y maestría en la Universidad de Alberta y su doctorado (Ph.D.) en hidrogeología en la Universidad de Illinois. El Dr. Farvolden es fundador del Programa de posgraduados en hidrología subterránea en la Universidad de Waterloo. Su principal interés en investigación está relacionado con los recursos hidráulicos subterráneos, relaciones entre el agua superficial y subterránea y contaminación del agua subterránea, y trabajaba en investigaciones de campo en hidrogeología física, calidad del agua e hidrología isotópica en el Valle de México. Tiene amplio conocimiento sobre los problemas hidrogeológicos del sistema acuífero de la cuenca de México en donde trabajó por siete años en un macro proyecto multidisciplinario, como investigador y co-director.

RICHARD S. ENGELBRECHT es profesor de ingeniería ambiental en la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign y lleva a cabo investigación en el campo de contaminación y control de calidad del agua. Obtuvo su licenciatura en la Universidad de Indiana; su maestría y doctorado (Sc.D.) del Instituto Tecnológico de Massachusetts. El Dr. Engelbrecht es miembro de la Academia Nacional de Ingeniería, ha sido director del Comité de Reciclado, Reúso y Conservación del Agua en Zonas Áridas del National Research Council (1986). Fue director del Comité para la Evaluación Nacional de la Calidad del Agua de 1988 a 1990 y fue miembro fundador del Water Science and Technology Board del NRC.

HELEN INGRAM obtuvo su licenciatura en estudios gubernamentales en el Colegio Oberlin y su doctorado en derecho y gobierno en la Universidad de Columbia. Actualmente es directora del Centro Udall de Estudios de Administración Pública y es profesora del Departamento de Ciencias Políticas. Los campos de interés de la Dra. Ingram son la formación e implementación de políticas de gobierno, políticas de administración de recursos acuíferos, políticas sobre el medio ambiente y el estudio de la relación México-Estados Unidos. Ha llevado a cabo una gran cantidad de investigaciones sobre los aspectos de recursos acuíferos, incluyendo administración del agua, y es autora de libros y artículos sobre la administración de los acuíferos. Trabajó en la National Water Commission y fue Investigadora en el Comité de Recursos para el Futuro. La Dra. Ingram ha participado en varios Comités del NRC y fungió como Miembro del Water Science and Technology Board.

JESÚS KUMATE RODRÍGUEZ es Secretario de Salud de México. Cursó estudios de médico cirujano en la Escuela Médico Militar. Realizó su residencia en el Hospital Central Militar; su doctorado en ciencias, en la Escuela Nacional de Ciencias Biomédicas del Instituto Politécnico Nacional. Ha pertenecido al PRI desde 1983 y desempeñado cargos administrativos en el Gobierno Federal como director del Hospital Infantil de México, SSA, coordinador de los Institutos Nacionales de Salud, subsecretario de Servicios de Salud y secretario de Salud. Entre sus actividades académicas están las de profesor en la Escuela Médico Militar, en la UNAM y en el IPN, investigador en el Hospital Infantil de México, e investigador nacional en la Secretaría de Educación Pública y miembro de El Colegio Nacional desde 1974. Ha fungido como presidente de la Academia Nacional de Medicina, 1975; y de las Sociedades Mexicanas de Bioquímica, de Infectología, de Inmunología y de

Investigación Pediátrica. También ha recibido premios y condecoraciones, es miembro honorario de Academia Mexicana de Cirugía, y presidente del Consejo Ejecutivo de la Organización Mundial de la Salud, 1994-1995.

LUCRECIA LOZANO GARCÍA es directora del Departamento de Relaciones Internacionales del Campus Monterrey del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, en el cual se desempeña como profesora titular. Tiene maestra en historia del arte por la Universidad Iberoamericana, en la Ciudad de México. Obtuvo su doctorado en sociología en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UNAM. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1989.

JUAN MANUEL MARTÍNEZ GARCÍA fue director general de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento de Distrito Federal de 1988 a 1994. Es egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde recibió el título de ingeniero civil, en 1958. Posteriormente, en 1959, obtuvo el posgrado en ingeniería sanitaria y ambiental en la misma facultad. Dentro de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) fue Coordinador del Programa de Colonias Populares entre 1978 y 1980; subdirector y director de operación en 1981-1984; y Director general de la DGCOH de 1984 a 1985. Entre 1986 y 1988 fue subdirector regional de los módulos 5 y 6 del Programa Emergente Renovación Habitacional Popular en el Distrito Federal. Director ejecutivo y delegado fiduciario especial de Vivienda, Desarrollo Social y Urbano del Distrito Federal, de abril a diciembre de 1988. El Ing. Martínez García es fundador de la Ciudad Universitaria de México, habiendo fungido como tesorero y presidente en sus Consejos Directivos, unión Mexicana de Asociaciones de Ingenieros, actualmente preside el Comité de Ecología Water Pollution Control Federation. Fue vicepresidente del Colegio de Ingenieros Civiles de México 1992-1993 y es presidente de la Sociedad Mexicana de Ingenieros del Distrito Federal 1993-1996.

M. EN C. RUBÉN MARTÍNEZ GUERRA colabora con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y es Miembro Técnico Consultivo de la Comisión Nacional del Agua, desde 1988. Obtuvo su licenciatura en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, en 1965. Ha trabajado en la empresa privada en relación a la hidrología de acuíferos en Socorro, Nuevo México. En 1970 obtuvo la maestría en geofísica e hidrología en el Instituto de Minas y Tecnología del Estado de Nuevo México. Desde 1970 a la fecha se ha desempeñado como consultor privado en geohidrología en más de 300 estudios regionales en México. Es profesor de la UNAM desde 1972, e inició estudios de Doctorado en 1986.

CARLOS VÉLEZ OCÓN fue director general del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), hasta el año de 1994. Obtuvo su maestría y doctorado (Ph.D.) en ingeniería nuclear en la Universidad de Michigan. Es miembro de la Sociedad Nuclear Americana, de la Academia Nacional de Ingeniería, de la Academia Mexicana de Ingeniería, de la Academia Mexicana de Física y de la Sociedad Mexicana Nuclear. Ha sido asesor en Ingeniería Nuclear en la Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal; profesor visitante en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales en la Universidad Politécnica de Madrid, director general adjunto de la Agencia Internacional de

Energía Atómica en Viena y jefe del Departamento de Energía Nuclear de la Comisión Federal de Electricidad.

DAVID WILK GRABER es consultor independiente en la Ciudad de México donde coordina varios proyectos incluyendo diversos programas del Banco Mundial para valoraciones medio ambientales rápidas y planeación medio ambiental. Obtuvo el grado profesional de licenciatura en arquitectura en la Universidad Autónoma Metropolitana en la Ciudad de México; su maestría en planeación regional y urbana, y su doctorado en planeación medio ambiental en la Universidad de Berkeley, California. Previamente el Dr. Wilk fue profesor en el Centro de Investigación y Docencia Económicas, A.C., y ha ocupado numerosos cargos como consultor. El Dr. Wilk disfrutó de una beca Fullbright habiendo participado en el México-U.S. Mutual Educational Exchange program at U.C., Berkeley. Sus intereses en investigación incluyen los impactos de las reglamentaciones ambientales y los efectos de los incentivos económicos, el uso de sistemas de información geográfica, y aspectos de crecimiento urbano.

### **RESUMEN BIOGRAFICO DE LOS PERSONALES DE APOYO DEL COMITÉ**

GARY DAVID KRAUSS, program officer en el "National Research Council's Water Science and Technology Board," fue director del estudio del del Comité Sobre el Suministro de Agua de la Ciudad de México. Obtuvo su licenciatura en Zoología en la Drew University, y al Maestra en Ecología de Pennsylvania State University, con estudios avanzados de "Remote Sensing of Earth Resources" y "Geographic Information Systems (GIS)." Trabajo con U.S. Cuerpo de Paz, biólogo de U.S. Servicio Forestal, y como consultor de GIS para aplicaciones ambiental.

JULIA EVA MELCHOR-SANCHEZ, asistente en la Fundacion Ricardo Monges Lopez, A.C., fue directora del estudio del Comité Sobre el Suministro de Agua de la Ciudad de México. Obtuvo su licenciatura en Biología en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autonoma de México en el ano de 1991. Obtuvo una beca para realizar su tesis de Licenciatura, por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnolgha (CONACYT), y trabajo como profesor en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autonoma de Mexico. Ha participado en varios simposia, congresos, y estudios de investigación de CONOCYT y ANIAC como ponente.

ALEJANDRO LOZANO GUZMAN fue director del estudio del Comité Sobre el Suministro de Agua de la Ciudad de México. Actualmente es Coordinador de Equipamiento para el Transporte en el Instituto Mexicano del Transporte y profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autonoma de Querétaro. Obtuvo la especialización en Mantenimiento de radio aeronáutico en el Centro Internacional de Adiestramiento de Aviación Civil de México (1973). La Licenciatura y la Maestría en Ingeniería Mecánica en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y sus estudios de Doctorado en la Universidad de Newcastle Upon Tyne en Inglaterra. Cuenta con numerosas upblicaciones científicas y como consultor industrial ha colaborado en diversos proyectos en las áreas de vibraciones mecánicas, análisis experimental de esfuerzos y diseno de máquinas. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y a la Academia Nacional de Ingeniería (ANIAC).

GREGORY KIM NYCE, asistente en la "National Research Council's Water Science and Technology Board," fue asistente del estudio del del Comité Sobre el Suministro de Agua de la Ciudad de México. Obtuvo su licenciatura en Psicología de Eastern Mennonite University.

[Volver](#) a la pagina principal de "El Suministro de Agua..."

Copyright © 1995 by the National Academy of Sciences. All Rights Reserved.

# Apéndice B

## ASOCIADOS AL PROYECTO

MANUEL AGUILAR ROMO, Dirección de Saneamiento Básico de la Dirección General de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud

SERGIO AJURIA GARZA, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

LÁZARO ALANÍS CABRERA, Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de México

ROCÍO ALATORRE EDÉN, Escuela de Salud Pública de México, del Instituto Nacional de Salud Pública de la Secretaría de Salud

DANIEL JOEL ARCOS HERNÁNDEZ, Gerencia de Aguas del Valle de México, de la Comisión Nacional del Agua

MARIA AURORA ARMIENTA, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

PABLO BARCENAS BEUTELSPACHER, Gerencia de Aguas del Valle de México, de la Comisión Nacional del Agua

JORGE EUGENIO BARRIOS, Comisión Nacional del Agua

ALEJANDRO CANO RUIZ, Instituto Nacional de Ecología, de la Secretaría de Desarrollo Social

CUAUHTÉMOC CARREÑO RANGEL, Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de México

JOEL CARRILLO RIVERA, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

ARTURO CORREA CAMACHO, Subdirección de Desarrollo Tecnológico del Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua de la DGCOH

ALEJANDRA CORTÉS-SILVA, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

MIGUEL ANGEL CORTÉS PEREZ, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal

CARLOS CRUICKSHANK VILLANUEVA, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

GERARDO CRUICKSHANK GARCIA, Gerente del Proyecto del Lago de Texcoco

JOSÉ CUENCA DARDÓN, Dirección de Servicios Urbanos del Departamento del Distrito Federal

RUBEN CHÁVEZ GUILLÉN, Comisión Nacional del Agua

JAIME DURAZO LOZANO, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

TOMÁS GONZÁLEZ MORÁN, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

FERNANDO GONZÁLEZ VILLARREAL, Comisión Nacional del Agua

XAVIER HARO SOLÓRZANO, Gerencia de Aguas del Valle de México, de la Comisión Nacional del Agua

JAN HENDRICKS, Institute of Mining and Technology, Socorro, New México

GUILLERMO HERNÁNDEZ GARCÍA, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

ROSARIO ITURBE ARGUELLES, Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

JUAN MANUEL LESSER ILLADES, Lesser y asociados

FELIPE LÓPEZ SÁNCHEZ, Dirección General de Servicios Urbanos del Departamento del Distrito Federal

GREGORIO MARTÍNEZ RAMÍREZ, Subdirección de Desarrollo Tecnológico del Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua de la DGCOH

MARIZA MAZARI HIRIART, Centro de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México

RODRIGO MEDINA BAÑUELOS, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

ESTELA PATRICIA MEZA, Dirección de Saneamiento Básico de la Dirección General de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud

CLAUDIO MOLINA TORRES, Comisión Nacional del Agua

FEDERICO MOOSER HAWTREE, Geólogo de la Ciudad de México, Dirección General de Obras del Departamento del Distrito Federal

ADRIAN ORTEGA GUERRERO, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

GILDARDO ORTIZ FUENTES, Comisión de Aguas del Departamento del Distrito Federal

MANUEL ORTIZ GARCÍA, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Gobierno del Estado de México

FILIBERTO PÉREZ DUARTE, Dirección de Saneamiento Básico de la Dirección General de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud

ENRIQUE PÉREZ SANGERMAN, Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de México

NELSON PIÑÓN MARTÍNEZ, Gerencia de la Comisión Nacional del Agua en el Estado de México

GENARO RAMÍREZ LÓPEZ, Dirección General de Epidemiología de la Secretaría de Salud

RAMIRO RODRÍGUEZ CASTILLO, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

FERMÍN RIVERA AGUERO, Dirección de Investigación de la ENEPIztacala

JULIA RIVERA JARAMILLO, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal

LEOPOLDO RODARTE RAMON Hidroalegro , S.A.

JOSÉ ANTONIO RODRÍGUEZ TIRADO, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal

ELIAS SAHAB HADDAD, Gerencia Regional de Aguas del Valle de México de la Comisión Nacional del Agua

BEATRIZ SANTAMARÍA RAMÍREZ, Subdirección de Desarrollo Tecnológico del Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua de la DGCOH

CARLOS SANTOS BURGOA, Escuela de Salud Pública de México, del Instituto Nacional de Salud Pública de la Secretaría de Salud

CONRADO SARMIENTO BLEICHER, Dirección General de Servicios Urbanos del Departamento del Distrito Federal

ARTURO SIL PLATA, Dirección de Información y Emergencias Epidemiológicas de la Secretaría de Salud

ROBERTO TAPIA CONYER, Dirección General de Epidemiología de la Secretaría de Salud

OSCAR VELÁZQUEZ MONROY, Dirección de Información y Emergencias Epidemiológicas de la Secretaría de Salud.

---

[Volver](#) a la pagina principal de "El Suministro de Agua..."

Copyright © 1995 by the National Academy of Sciences. All Rights Reserved.