



# E

# CONOMÍA DEL AGUA

## ESCASEZ DEL AGUA Y SU DEMANDA DOMÉSTICA E INDUSTRIAL EN ÁREAS URBANAS

Jorge A. Morales Novelo  
y Lilia Rodríguez Tapia  
*Coordinadores*

Miguel Ángel  
  
Porrúa

Las ciencias sociales  
SEGUNDA DÉCADA



CONOCER  
PARA DECIDIR  
EN APOYO A LA  
INVESTIGACIÓN  
ACADÉMICA



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

H. CÁMARA DE DIPUTADOS  
LX LEGISLATURA



**CONOCER PARA DECIDIR** se denomina la serie que en apoyo a la investigación académica en ciencias sociales, la Cámara de Diputados, LX Legislatura, ha acordado participar en coedición refrendando el histórico y constante interés del H. Congreso de la Unión por publicar obras trascendentes que impulsen y contribuyan a la adopción de las mejores decisiones en políticas públicas e institucionales para México, en su contexto internacional, a efecto de atender oportunamente las diversas materias sobre las que versa el quehacer legislativo.

La H. Cámara de Diputados, LX Legislatura, establece el acuerdo de coeditar con diferentes instituciones académicas, organismos federales y estatales, así como con autores y asociaciones independientes, investigaciones académicas y expresiones culturales de interés nacional, que coadyuven a las tareas propias del legislador mexicano.



**ECONOMÍA DEL AGUA**  
ESCASEZ DEL AGUA  
Y SU DEMANDA DOMÉSTICA E  
INDUSTRIAL EN ÁREAS URBANAS



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Dr. José Lema Labadie  
*Rector general*

Mtro. Luis Javier Melgoza Valdivia  
*Secretario general*



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
Unidad Azcapotzalco Casa abierta al tiempo

Dr. Adrián Gerardo de Garay Sánchez  
*Rector*

Dra. Sylvie Jeanne Turpin Marion  
*Secretaria*



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
UNIDAD XOCHIMILCO

Dr. Cuauhtémoc V. Pérez Llanas  
*Rector*

Lic. Hilda Rosario Dávila Ibáñez  
*Secretaria*



# ECONOMÍA DEL AGUA

## ESCASEZ DEL AGUA Y SU DEMANDA DOMÉSTICA E INDUSTRIAL EN ÁREAS URBANAS

---

Jorge A. Morales Novelo  
y Lilia Rodríguez Tapia  
*Coordinadores*



CÁMARA DE DIPUTADOS  
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS  
LX LEGISLATURA

**CONOCER  
PARA DECIDIR**  
EN APOYO A LA  
INVESTIGACIÓN  
ACADÉMICA



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Miguel Ángel  
  
**Porrúa**

---

MÉXICO • 2007

Esta investigación, arbitrada por pares académicos,  
se privilegia con el aval de la institución coeditora.

La H. CÁMARA DE DIPUTADOS, LX LEGISLATURA,  
participa en la coedición de esta obra al  
incorporarla a su serie CONOCER PARA DECIDIR

Coeditores de la presente edición

H. CÁMARA DE DIPUTADOS, LX LEGISLATURA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
MIGUEL ÁNGEL PORRÚA, librero-editor

La investigación académica de esta obra fue realizada  
gracias al apoyo de la Cátedra Raúl Anguiano de Recursos  
Naturales y Desarrollo Sustentable (Semarnat)

Primera edición, agosto del año 2007

© 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

© 2007

Por características tipográficas y de diseño editorial  
MIGUEL ÁNGEL PORRÚA, librero-editor

Derechos reservados conforme a la ley  
ISBN 978-970-701-958-4

Queda prohibida la reproducción parcial o total, directa o indi-  
recta del contenido de la presente obra, sin contar previamente  
con la autorización expresa y por escrito de los editores, en  
términos de lo así previsto por la Ley Federal del Derecho de  
Autor y, en su caso, por los tratados internacionales aplicables.

IMPRESO EN MÉXICO



PRINTED IN MEXICO

[www.maporrúa.com.mx](http://www.maporrúa.com.mx)

Amargura 4, San Ángel, Álvaro Obregón, 01000 México, D.F.

LILIA RODRÍGUEZ TAPIA  
Y JORGE A. MORALES NOVELO

## *Prefacio*

EL AGUA es uno de los recursos naturales renovables más importantes que se vincula directamente con la calidad de vida de la población y es determinante para el funcionamiento del sistema económico. México atraviesa en la actualidad por una fase de escasez relativa de recursos hídricos, luego de haber transitado por una fase prolongada de disponibilidad de agua y otra más de sobreexplotación que aún se traslapa hoy con la escasez, acentuada por una progresiva contaminación de los cuerpos de agua, superficiales y subterráneos, que han derivado en un rezago y en algunos casos decline de la disponibilidad natural del agua. El grado de escasez varía entre regiones dependiendo de su configuración hídrica, el desarrollo económico y su proceso de urbanización.

Conviene subrayar que la escasez del agua no es más que el resultado de un desequilibrio entre las necesidades hídricas derivadas del propio crecimiento económico y demográfico y las capacidades decrecientes de aumento de la oferta, determinadas por la naturaleza, la política pública y privada de sobreexplotación, y de las condiciones ineficientes de la distribución –principalmente debido a las fugas y a la falta de mantenimiento del sistema. Hasta hace poco tiempo, el desarrollo de los recursos hídricos había desempeñado bien su papel como soporte de un espectro demográfico creciente y de un conjunto de actividades económicas en expansión. Sin embargo, la relación positiva entre recursos hídricos y desarrollo económico ha comenzado a deteriorarse, al paso que se complica la disponibilidad y con ella su oferta total; en ese

horizonte, los indicadores económicos y ambientales apuntan hacia el hecho de que el agua representa ya para ciertas regiones una restricción para diferentes aspectos del desarrollo económico.

En general, se observa una tendencia a aumentar el rezago en la contribución de los recursos hídricos al desarrollo económico que ha surgido de las formas de uso ineficiente, de una pobre dirección gubernamental, una productividad decreciente del recurso y crecientes costos ambientales y financieros derivados de la extracción, distribución, tratamiento y la existencia de estructuras tarifarias que no permiten una aproximación a la recuperación de los costos económicos, sociales y ambientales. En este sentido, los retos que enfrenta hoy el sector hidráulico en México son diversos: garantizar el suministro y la distribución al conjunto de usuarios en constante crecimiento, evitar la creciente contaminación de los cuerpos de agua, así como garantizar el suministro de agua con calidad a la población, ampliar la cobertura del servicio de agua potable en zonas rurales y en áreas urbanas, evitando en estas últimas la distribución bajo el sistema de “tandeo” en las zonas de más bajos ingresos que conlleva en consecuencia precios altos y distribución de agua de muy baja calidad, así como evitar la generación de conflictos sociales entre diferentes actores y en diferentes planos –incluido el institucional– que se enfrentan en disputa por el agua.

La respuesta general de la política hidráulica a dichos retos con frecuencia pareciera corresponder más a la inercia de la fase de relativa abundancia de agua que a la actual escasez; la solución se busca por el lado de aumentos en la oferta, lo que resulta ser menos conflictivo para los gobiernos en turno, pero que ha generado graves problemas de sobreexplotación y un suministro no sustentable del recurso en diversas regiones y localidades del país. El paradigma de la oferta de la fase previa, demuestra las limitaciones de un esquema estrictamente ingenieril y evidencia la ausencia de enfoques económicos y políticos que juntos –ingeniería, economía y política– reorienten el desarrollo de los recursos hídricos en México. En tales condiciones, la escasez sugiere la presencia de una crisis del agua, que revela las limitaciones inherentes a las instituciones para tratar eficaz y efectivamente los nuevos problemas

relacionados con la asignación y manejo, así como de la gestión administrativa y política del recurso, en vista de que ya no se trata simplemente del desarrollo de los recursos hídricos –como lo es la infraestructura y el aumento de la oferta– sino de formas de asignación equitativa y racional entre sectores económicos y segmentos sociales desiguales en un escenario de escasez que tiende rápidamente a aumentar acentuado por fenómenos globales –el calentamiento global del planeta– que alteran el ciclo hidrológico en México y en el mundo. Sin embargo, esto no significa que en unas pocas regiones hidrológico-administrativas no se hayan desarrollado buenos intentos por modificar la añeja política hidráulica, a menudo presionadas por la fuerza de las circunstancias, de una escasez sin opciones de importación de agua.

La gravedad de la problemática del agua obliga a los gobiernos a adoptar la visión de que su política hídrica debe ir de administrar la oferta hacia resolver correctamente la demanda del recurso, lo que incluye medidas que dirigen y orientan a los usuarios a un uso eficiente del agua, no sólo con aumentos en las tarifas y en los derechos que deben pagar por el recurso, sino incluyendo políticas para el desarrollo e importación de nuevas tecnologías, equipo ahorrador de agua, así como medidas para aumentar la capacidad de bombeo y la reducción de fugas en la conducción del recurso, ello reforzado con políticas que inciden sobre la educación y la cultura de la población respecto de los riesgos que corre la sociedad por un uso ineficiente del agua.

Vale acotar que a menudo no pocos de los procesos referidos suceden simultáneamente en diferentes lugares del mundo, en vista de que el tema del agua es un problema global que debe resolverse de diferentes maneras a escala local, de acuerdo con el grado de organización comunitaria de la sociedad, la influencia relativa de los grupos de poder y la capacidad misma de los gobiernos locales de transitar y convocar hacia soluciones viables y estables. Hasta hoy, los temas vinculados con la escasez de agua y con su contaminación han sido objeto de debate en diferentes foros internacionales, estableciéndose mecanismos económicos e institucionales destinados a revertir los problemas planteados por la escasez y la degradación de los recursos hídricos que la acompañan.

En el IV Foro Mundial del Agua México 2006, si bien sus objetivos no fueron muy diferentes de los de otras cumbres mundiales, se trató de encontrar soluciones que pudieran extenderse y reproducirse en contextos diferentes, es decir, se sugirió desarrollar “acciones locales para un reto global”, máxima evocada como premisa analítica y fáctica para esta reunión cimera. En esa perspectiva, el catalizador de los temas lo constituyó la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) con la cual se destaca el apoyo de los tomadores de decisiones a diseños institucionales deliberativos y participativos de todo tipo, así como esfuerzos orientados a apuntalar una amplia gama de acciones específicas denominadas “transversales” que comprenden desde el monitoreo de las acciones gubernamentales hasta el desarrollo de tecnologías e intercambio de conocimientos y experiencias entre diferentes regiones de un mismo país y aun entre países cercanos o distantes.

La GIRH comprende planes y acciones que buscan ir más allá de resolver problemas actuales o lograr objetivos inmediatos, proponiéndose la institucionalización de cambios que promoverán una toma de decisiones más estratégica y coordinada en forma permanente. La GIRH busca la sustentabilidad de ecosistemas vitales, de tal forma que la gestión del agua debe hacerse coordinando el agua, la tierra y otros recursos asociados con el fin de diseñar e instrumentar soluciones sustentables para los problemas del agua y del desarrollo. El manejo del agua por cuenca hidrológica es una de las cuestiones de mayor importancia en esta forma de gestión. En suma, la GIRH ofrece un enfoque para resolver problemas y abordar los retos hídricos clave de maneras que son a la vez económicamente eficientes, socialmente equitativas y ambientalmente sustentables.

Los temas abordados por los autores de este volumen comprenden diferentes aspectos con ópticas diversas de la problemática del agua –la mayoría sobre México–, sin embargo comparten la preocupación por lograr una GIRH en México y en cualquier otra parte del mundo, tanto los que abordan específicamente el tema de gestión como quienes efectúan análisis sobre límites al abastecimiento, disponibilidad, demanda doméstica e industrial del agua, organis-

mos operadores y tarifas. Respecto de esto último destaca la política de tarifas que se ha seguido en gran parte del país, que ha configurado una tendencia financiera negativa que tiene como resultado más inmediato una muy baja recuperación de costos que ponen en riesgo el mantenimiento eficiente de la totalidad de la infraestructura y naturalmente debilita la necesaria ampliación de la red de distribución y el desarrollo adecuado de proyectos hidráulicos. Un ejemplo que traduce bien esa debilidad lo constituye el espacio urbano del Área Metropolitana del Valle de México (AMVM) en donde la ampliación de la oferta de recursos hídricos ha contribuido más a elevar los costos que a traducirse en verdaderos beneficios para todos los usuarios en vista de graves pérdidas explicadas por fugas de agua cercanas al 40 por ciento, magnitud que debe restarse de la oferta total, por las tasas de agua disponible más bajas y por la magra recuperación de los costos implicados en el esfuerzo de trasladar agua desde 200 kilómetros de distancia y de elevarla a más de 2,000 metros de altura.

También se sugieren nuevas formas de análisis integral del recurso agua en ciudades, particularmente en el AMVM, con el propósito de conocer los problemas que inciden sobre los procesos de abastecimiento, drenaje y saneamiento, así como para plantear alternativas viables para estabilizar niveles de cobertura y funcionamiento total del sistema.

Además, se analizan tanto los problemas que subyacen a la demanda de agua por la industria manufacturera en el país y en particular en el AMVM –en donde se destacan los límites que impone el sistema natural de abastecimiento al existir una disponibilidad natural decreciente– como los efectos que una restricción de esta naturaleza pueden tener sobre el crecimiento económico.

Otro aspecto tratado en el libro se refiere a la importancia de que el agua sea valorada por la sociedad en concordancia con los servicios que aporta; es decir, considerar su valor social, ambiental y económico, lo que debería llevar a los usuarios del agua a un uso más eficiente y a presentar una disposición a pagar más por la obtención del recurso, y a los gobiernos a reconsiderar la política hídrica para impedir la pérdida de capital natural que implica el

desgaste y desaparición de acuíferos y ecosistemas completos. El problema de los precios del agua como instrumentos de regulación de su demanda es un tema económicamente complejo y políticamente delicado. En el libro se presentan diversas perspectivas metodológicas que se centran en los efectos sobre la equidad de las políticas de tarifas a los usuarios domésticos a partir del análisis de diferentes funciones de demanda y de la exploración de distintas opciones tarifarias como parte de la estrategia de las políticas públicas.

No obstante el enfoque eminentemente académico de los trabajos, a partir de los diagnósticos presentados se sugieren nuevas formas de manejo y gestión del agua. En esa perspectiva, el diagnóstico integral de los recursos hídricos es de enorme importancia en vista de que proporciona la medida de cobertura que tienen los habitantes del AMVM en relación con el abastecimiento de agua, el drenaje urbano y el saneamiento del agua residual. Al mismo tiempo, el diagnóstico permite cuestionar el manejo no sustentable del agua y la importancia de aplicar una política hídrica distinta.

Desde otro punto de vista, se sugiere la revisión de la política hidráulica orientada hacia la industria con el objeto de aplicar medidas que conduzcan a un uso eficiente del agua mediante el aumento de los niveles de tratamiento y de reuso. En esas condiciones, se sugiere que la industria en su conjunto internalice las externalidades que produce y de ese modo se detenga un proceso que en el futuro inmediato derivará en elevados costos unitarios sociales y ambientales, que significaría la restitución del medio ambiente, en el supuesto caso de que los daños producidos sean abatibles. En general, los autores no sólo cuestionan las formas tradicionales de abastecimiento de la demanda y la gestión desintegrada de los procesos hidrológicos (abastecimiento, drenaje y saneamiento); en adición, sugieren la aplicación de instrumentos económicos adecuados sobre la demanda, sin demérito de los niveles de ingreso de los diferentes usuarios.

Quienes han hecho posible este libro participaron en el seminario internacional denominado Agua, Economía y Políticas de

Sustentabilidad, organizado por profesores de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Azcapotzalco. El evento ha contado con las contribuciones de los profesores de las unidades Iztapalapa y Xochimilco de la misma universidad, así como con investigadores de la Universidad de Wageningen de los Países Bajos. Los coordinadores expresan su agradecimiento por su generosidad a todos los autores, sin cuya colaboración esta contribución al diálogo no hubiese sido posible.

Un reconocimiento especial amerita la Cátedra Raúl Anguiano de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) coordinada con el Instituto Nacional de Ecología, y entregada en custodia de la UAM bajo la responsabilidad del investigador Roberto Constantino Toto, sin cuyo respaldo este libro no hubiese podido llevarse a buen término. Finalmente, los coordinadores confían en que el material contenido aquí contribuya al debate así como a la consecución de una política hidráulica económicamente eficiente, socialmente equitativa y ambientalmente sustentable.

[*Verano de 2007*]

Primera parte

*El problema del agua  
en las grandes ciudades,  
el caso del Área Metropolitana  
del Valle de México*

## CAPÍTULO I

JORGE A. MORALES NOVELO  
Y LILIA RODRÍGUEZ TAPIA\*

# *Retos y perspectivas de una gestión no sustentable del agua en el Área Metropolitana del Valle de México*

## INTRODUCCIÓN

EL OBJETIVO de este trabajo es contrastar la dinámica del sistema económico del Área Metropolitana del Valle de México (AMVM) –en la variable relacionada con su demanda de agua o extracción total– con los límites que le impone el sistema natural, al existir una disponibilidad natural del agua en la cuenca del Valle de México relativamente fija, y en donde también la importación de agua de cuencas aledañas presenta importantes límites naturales y económicos.

A partir de la interacción de ambos sistemas, se derivan los límites que la dotación de agua impone al crecimiento del AMVM, región clave en el desarrollo económico nacional. Esta situación sugiere las siguientes preguntas: ¿hasta dónde se puede seguir con una política hídrica basada en la sobreexplotación de los recursos para abastecer a la demanda de agua que exige el crecimiento económico y poblacional, a cualquier costo?, ¿qué tan riesgoso es que el sistema hidrológico se colapse y se provoquen efectos que planteen obstáculos al sistema económico y social debido a una crisis en el sistema natural del Valle de México?

Frente a dicha problemática se sugiere construir y aplicar una nueva política hídrica en la región, que fomente y enfatice la admi-

\* Profesores-investigadores en el Departamento de Economía de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco [jamn@correo.azc.uam.mx y lrt@correo.azc.uam.mx].

Los autores agradecen la valiosa colaboración de la IBQ Patricia Zavala Vargas en la organización de la información estadística.

nistración de la demanda de agua, más que la oferta. El problema así considerado nos remite al tema de que los desajustes entre oferta y demanda de agua son grandes, y que no se han adoptado las medidas necesarias que ajusten su déficit de abastecimiento en el AMVM.

El artículo se compone de tres apartados. En el primero se ubica geográficamente el AMVM y se describe cómo su abastecimiento natural de agua depende del ciclo hidrológico de la cuenca del Valle de México. Asimismo, se describe cómo la disponibilidad natural de agua es insuficiente para cubrir la extracción total que realizan los diversos usuarios en el AMVM —y en general de toda la cuenca— que son, uso público urbano, industrial y agrícola. En este mismo apartado se determina el grado de presión a que han sido sometidos los cuerpos de agua superficial y subterráneo en el AMVM y se registra cómo ha sido necesario recurrir al traslado de agua para superar la escasez que presenta su abastecimiento, entre otras medidas de menor impacto.

En el segundo apartado, se especifican los usos del agua más vulnerables por los límites que conlleva la sobreexplotación de los cuerpos de agua subterráneos y superficiales en la cuenca del Valle de México, lo que puede significar en el mediano plazo un freno al crecimiento económico del AMVM. Por ejemplo, el crecimiento de la construcción de viviendas en algunas zonas del Distrito Federal y el estado de México resulta contraproducente, en tanto que no existe agua para abastecer su demanda. Por otra parte, los derechos de uso agrícola están siendo adquiridos por las inmobiliarias para abastecer la demanda doméstica, con graves consecuencias tanto para el sector agrícola como para el abastecimiento del agua en toda la cuenca, ya que ello afecta el bienestar de la población en el mediano plazo. El establecimiento de nuevas industrias y servicios usuarios intensivos de agua de primer uso, tales como la industria refresquera y los servicios de hotelería traería externalidades negativas para la población del AMVM, en tanto que el abastecimiento de agua que requieren se daría en el marco de una disputa del recurso entre usuarios diversos dentro de la región.

En el último apartado se realiza el ejercicio de proyectar la extracción total de agua en el AMVM a partir de 2004 hacia 2025 y 2030. Este escenario muestra la ampliación de la brecha entre el abastecimiento y la extracción, de tal forma que dimensiona los límites a los que se enfrentará esta región en el caso de continuar con las mismas políticas de aumentos en el abastecimiento de agua –aumentos de la oferta– y no cambiar hacia una política clara y eficaz en la administración de la demanda.

Por último, se presentan consideraciones finales que dan cuenta de la importancia de que los usuarios conozcan los límites que enfrenta el suministro de agua, y se enumeran algunas ideas para mejorar su manejo, que permitan caminar sobre una senda diferente al estancamiento y crisis del agua en el AMVM.

#### LA BRECHA ENTRE LA DISPONIBILIDAD NATURAL Y LA EXTRACCIÓN TOTAL DE AGUA EN LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO, FUENTES ALTERNAS PARA SU ABASTECIMIENTO

EL AMVM es el centro económico de México, lo que ha dado por resultado una concentración urbana, con una población de 18'620,763 habitantes para 2005, en un área de 4,979 kilómetros cuadrados, lo que explica una densidad de población de 3,740 personas por kilómetro cuadrado, misma que se encuentra entre las más altas del mundo.

Los recursos hídricos que abastecen de manera natural al AMVM se ubican en la Región Hidrológico Administrativa (RHA) XIII, Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala, ubicada en el centro del país (véase figura 1) que abarca a todo el Distrito Federal y a 100 municipios de los estados de México, Hidalgo y Tlaxcala. Esta RHA es la de menor extensión territorial y la más poblada del país, de tal forma que su densidad de población es 26 veces mayor a la media de México.

Las grandes cuencas hidrográficas se reconocen como los territorios más apropiados para conducir el manejo, aprovechamiento, planeación y administración del agua y, en su acepción más amplia,

como los territorios más idóneos para llevar a cabo la gestión integral de los recursos hídricos. La cuenca<sup>1</sup> es un concepto geográfico e hidrológico que se define como la superficie terrestre por donde el agua de lluvia escurre y transita o drena a través de una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal, y por ésta hacia un punto común de salida que puede ser un almacenamiento de agua interior, como un lago, una laguna o el embalse de una presa, en cuyo caso se llama cuenca endorreica. Cuando sus descargas llegan hasta el mar, se les denomina cuencas exorreicas.

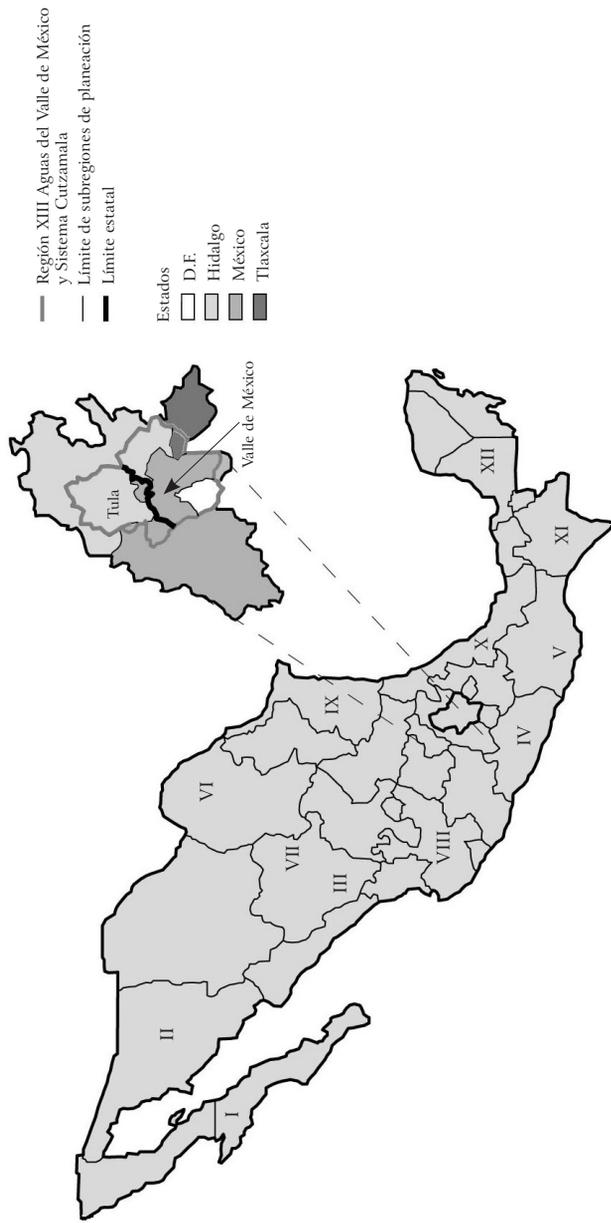
La RHA XIII, Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala está integrada por dos cuencas hidrológicas, la cuenca del Valle de México y la del Valle de Tula, cada una ubicada en la subregión denominada con el mismo nombre. Dentro de la primera se ubica el asentamiento poblacional más importante del territorio mexicano, conocido como AMVM, delimitado por el Distrito Federal (D.F.) y 35 municipios del estado de México aledaños al D.F. (véase apéndice). México posee 320 cuencas hidrológicas que no siempre reconocen límites políticos o administrativos, de tal forma que son compartidas por varios estados. Varias de estas cuencas sufren serios problemas de sobreexplotación y contaminación, pero sin duda la que se encuentra a la cabeza es la cuenca del Valle de México.

La presión demográfica y el crecimiento económico han conducido al uso dispendioso del agua en la cuenca del Valle de México, de tal forma que a la fecha sus propios recursos hídricos son insuficientes para sus necesidades y se ha tenido que recurrir a la interacción con las cuencas aledañas para proveer agua y para descargar los cuantiosos volúmenes de agua residual, de tal suerte que su sistema de abastecimiento de agua de primer uso y sus descargas de aguas residuales son altamente complejas, tanto desde

<sup>1</sup> Las cuencas, además de ser los territorios donde se verifica el ciclo hidrológico, son espacios geográficos donde los grupos y comunidades comparten identidades, tradiciones y cultura, y en donde socializan y trabajan los seres humanos en función de su disponibilidad de recursos renovables y no renovables. En las cuencas la naturaleza obliga a reconocer necesidades, problemas, situaciones y riesgos hídricos comunes, por lo que en este espacio se definen las prioridades, objetivos y metas también comunes, y en la práctica de principios básicos que permiten la supervivencia de la especie, como el de corresponsabilidad y el de solidaridad en el cuidado y preservación de los recursos naturales.

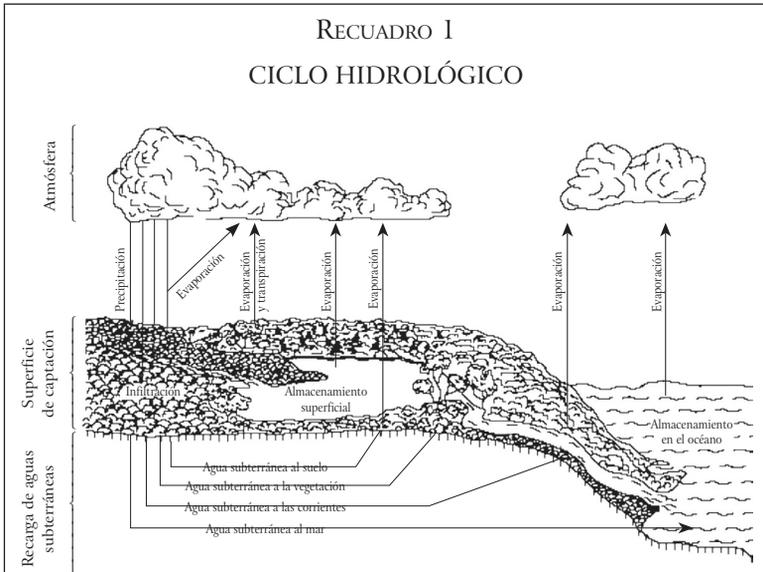
FIGURA 1

UBICACIÓN DE LA REGIÓN XIII AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO Y SISTEMA CUTZAMALA



Fuente: Estadísticas del Agua 2005, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala, Región XIII*, Semarnat, Conagua, México, 2005, p. 10.

el punto de vista técnico, administrativo, como de funcionalidad. Estos problemas definen a la cuenca del Valle de México como la más compleja del país, tanto por las características de su territorio como porque alberga el cuarto asentamiento humano más grande del mundo.



Fuente: R.L.E. Maderey, *Principios de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico*, Instituto de Geografía, *Serie Textos Universitarios*, núm. 1, Universidad Nacional Autónoma de México, 2005.

El ciclo hidrológico es un ciclo natural que se repite intermitentemente año con año. En el recuadro I se indica cómo el sol provoca la evaporación constante del agua, que pasa a la atmósfera para volver a la tierra en forma de lluvia, nieve o granizo. Parte de esa precipitación se evapora rápidamente y vuelve otra vez a la atmósfera. Otra porción del agua fluye a través de la superficie de las cuencas formando arroyos y ríos para iniciar su viaje de retorno al mar. En su tránsito forma lagos y lagunas o se deposita en almacenamientos artificiales constituidos por represas y diques, que componen los *cuerpos*

*de agua superficiales*. Otra parte del agua que llega a la superficie terrestre en forma de lluvia, se deposita en el suelo donde se convierte en humedad o en almacenamientos subterráneos denominados *acuíferos* o *cuerpos de agua subterráneos*. En condiciones normales, las aguas subterráneas se abren camino gradualmente hacia la superficie y brotan en forma de manantiales para volver a unirse a las aguas superficiales y engrosar los caudales de los ríos. Las plantas y la vegetación incorporan en sus tejidos parte de la humedad del suelo y de las aguas subterráneas y luego, un fragmento se desprende de ellas por transpiración para integrarse nuevamente a la atmósfera.

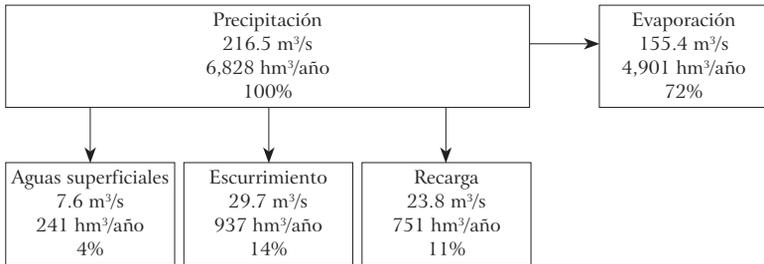
La variabilidad y aleatoriedad del ciclo hidrológico son determinantes de la disponibilidad de las aguas superficiales y la recarga de los acuíferos. Sin embargo, el volumen promedio o lo que se registra en un año constituye lo que se conoce como *disponibilidad natural* de una cuenca o región específica.

### *Disponibilidad natural del agua en la cuenca del Valle de México*

El ciclo hidrológico del agua (véase recuadro 1) en la cuenca del Valle de México explica que para 2004 se hayan presentado los siguientes volúmenes de agua: las lluvias proporcionan una precipitación anual de 6,828 hectómetros cúbicos de los cuales casi las tres cuartas partes retornan a la atmósfera mediante el proceso de evaporación (4,901 hm<sup>3</sup>), la otra cuarta parte del agua de las lluvias se distribuye entre los cuerpos de agua superficiales, equivalentes a 241 hectómetros cúbicos; los cuerpos de agua subterráneos que representa una recarga de 751 hectómetros cúbicos, y 937 hectómetros cúbicos como escurrimientos (véase figura 2).

La disponibilidad natural es la medida de la cantidad de agua que el sistema natural en cada cuenca o espacio geográfico puede almacenar cada año y se acepta internacionalmente. Conviene remarcar el que la disponibilidad natural media considera únicamente el agua renovable, es decir el agua de lluvia que escurre y

FIGURA 2  
CICLO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA  
DEL VALLE DE MÉXICO EN CIFRAS



Fuente: *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Conagua, México, 2004.

se acumula en cuerpos de agua superficial y en la recarga de los acuíferos.

En la cuenca del Valle de México, la disponibilidad natural media del agua al año alcanza un volumen de 1,688 hectómetros cúbicos y se integra por los volúmenes de escurrimiento y recarga subterránea (véase cuadro 1). Esta magnitud constituye el agua renovable que proporciona el ciclo hidrológico, que puede usarse potencialmente para abastecer las demandas de los usuarios de la región, y que en el límite el uso de este volumen permite un uso sustentable del recurso.

CUADRO 1  
DISPONIBILIDAD NATURAL MEDIA DEL AGUA  
EN LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO, 2004

Origen	m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup> /año
Escurrimiento superficial virgen medio	29.7	937
Recarga subterránea	23.8	751
Disponibilidad natural media	53.5	1,688

Fuente: *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Conagua, México, 2004.

*La cuenca del Valle de México  
y su área metropolitana:  
delimitación geográfica y poblacional*

La población del AMVM contempla 93.72 por ciento de la población de la cuenca del Valle de México que para 2005 contaba con 19'868,279 habitantes (véase cuadro 2), lo que deja ver que el comportamiento poblacional del AMVM expresa prácticamente lo que pasa con respecto a la extracción de agua en toda la cuenca. La importancia que tiene actualmente la población del AMVM en la cuenca se ha venido debilitando. En 1990 su participación era de 95.12 por ciento, para 2000 fue de 94.53 por ciento y en 2005 resultó aún menor, como lo indica el porcentaje de 93.72 por ciento. La pérdida en la participación fue transferida a los municipios de Tlaxcala e Hidalgo que se encuentran fuera del área metropolitana pero que a la vez pertenecen a la cuenca.

CUADRO 2  
POBLACIÓN DEL VALLE DE MÉXICO  
Y SU ÁREA METROPOLITANA, 1990-2005

Zona	1990	2000	2005
Subregión Valle de México	15'993,758	18'876,377	19'868,279
Distrito Federal	8'235,744	8'605,239	8'720,916
Estado de México	7'225,426	9'658,794	10'453,726
Hidalgo	426,847	548,904	624,465
Tlaxcala	51,741	63,440	69,172
Área Metropolitana del Valle de México*	15'162,488	17'844,649	18'620,763
Participación del Área Metropolitana del Valle de México en la subregión	95.12%	94.53%	93.72%

\* Incluye las 16 delegaciones del Distrito Federal y 35 municipios del estado de México considerados parte del AMVM.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI, *XI Censo General de Población y Vivienda, 1990*; INEGI, *XII Censo General de Población y Vivienda, 2000* y de INEGI, *II Censo de Población y Vivienda 2005*.

De acuerdo con el cuadro 2, prácticamente toda la extracción de agua es para el área metropolitana; la población asentada fuera del área alcanzó una cifra de 1'020,872 personas en 2005 y gran parte de su demanda de agua se destinó a la agricultura. En adelante, el análisis de los agregados del agua para el área metropolitana se hace considerando como unidad geográfica básica de abastecimiento a la cuenca del Valle de México.

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) define al área metropolitana como aquella constituida por 16 delegaciones del Distrito Federal y 35 municipios del estado de México (véase figura 3). En esta superficie, el Distrito Federal se funde con un conjunto de localidades de 2,500 habitantes –o más– del estado de México; 46 por ciento de la población se ubica en el Distrito Federal, y 54 por ciento en el área aledaña del estado de México (véase apéndice).

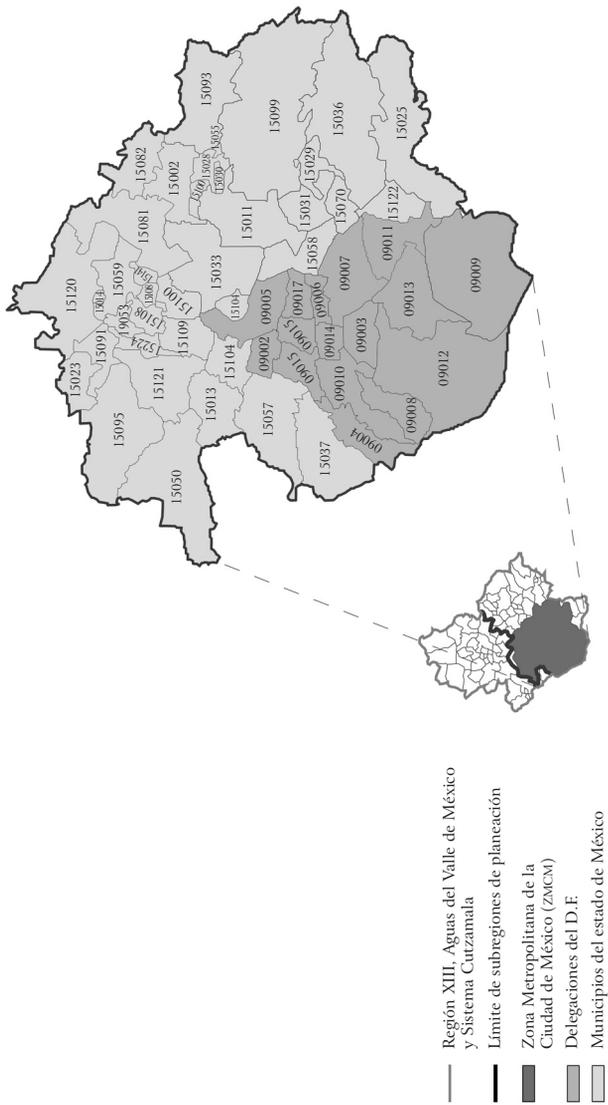
#### *Extracción total de agua en la cuenca del Valle de México*

Los requerimientos de agua en la cuenca del Valle de México, que reflejan básicamente las necesidades del AMVM, se abastecen en primera instancia de los cuerpos de agua de la propia cuenca. Sin embargo, por el crecimiento urbano y poblacional del AMVM se ha tenido que recurrir al recurso de las cuencas aledañas, así como al uso del agua residual reciclada. Estas tres fuentes de abastecimiento explican el volumen de agua denominado extracción total de agua y se describen a continuación.

La extracción total de agua en la cuenca del Valle de México alcanza la cifra de 2,922 hectómetros cúbicos en promedio al año; las fuentes de suministro se presentan en el cuadro 3.

La extracción de los cuerpos de agua de la misma cuenca hidrológica del Valle de México alcanzó en 2004 un nivel de 1,943 hectómetros cúbicos y representó dos terceras partes de su abastecimiento total (67 por ciento), el agua de reuso en la misma cuenca alcanzó un volumen de 359 hectómetros cúbicos, lo

FIGURA 3  
 DELIMITACIÓN MUNICIPAL DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO



Fuente: Estadísticas del Agua 2005, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Región XIII, Semarnat, Conagua, 2005, p. 31.

que representa 12 por ciento de la extracción total. Es decir, cuatro quintas partes del agua que se extrae en la cuenca del Valle de México provienen de la misma cuenca.

CUADRO 3  
EXTRACCIÓN TOTAL PROMEDIO DE AGUA  
EN LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO, 2004

<i>Fuentes de suministro</i>	<i>hm<sup>3</sup>/año</i>	<i>%</i>
Extracción en la cuenca del Valle de México	1,943	67
Importación total	622	21
Reuso	359	12
Extracción total	2,922	100

Fuente: *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Conagua, México, 2004.

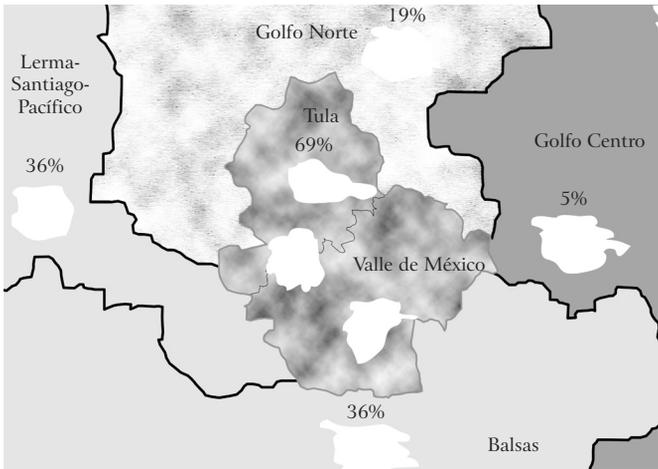
Una quinta parte (21 por ciento) del agua que se usa en la cuenca del Valle de México tiene como fuente de abastecimiento la importación que para 2004 alcanzó un volumen de 622 hectómetros cúbicos (véase cuadro 3). Los datos anteriores permiten dimensionar claramente que la extracción de agua en la cuenca es insuficiente para satisfacer los requerimientos de los usuarios del AMVM, y que para satisfacer su demanda ha sido necesario recurrir a fuentes alternas de abastecimiento, como el suministro de agua de las cuencas aledañas.

*Grado de presión en los recursos hídricos  
y manejo no sustentable dentro  
de la cuenca del Valle de México*

La extracción total de agua en la cuenca del Valle de México representa 1.73 veces la disponibilidad natural media de la cuenca que es de 1,688 hectómetros cúbicos. Esta relación, multiplicada por 100, da un valor de 173 por ciento y se le conoce como grado de presión sobre los cuerpos de agua de la cuenca.

De acuerdo con la clasificación internacional de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), un índice de presión mayor al 40 por ciento indica una presión fuerte a los acuíferos; en este caso, el índice de 173 por ciento muestra una presión extrema sobre los acuíferos del Valle de México (véase figura 4).

FIGURA 4  
GRADO DE PRESIÓN EN EL VALLE DE MÉXICO, 2004



Clasificación de la ONU:

- Presión fuerte: Grado de presión > 40 por ciento
- Presión media-fuerte: 20 por ciento < Grado de presión < 40 por ciento
- Presión moderada: 10 por ciento < Grado de presión < 20 por ciento
- Escasa presión: Grado de presión < 10 por ciento

Fuente: Elaboración propia con base en Estadísticas del Agua 2005, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala. Región XIII*, Semarnat, Conagua, México, 2005, p. 37.

De acuerdo con la figura 4, el grado de presión de 173 por ciento sobre los recursos hídricos de la cuenca del Valle de México es extremadamente alto, en comparación con los índices de las cuencas aledañas; la cuenca de Tula, ubicada al norte de la del Valle de México, presenta un grado de presión de 69 por ciento que se clasifica como presión fuerte, mientras la cuenca de Lerma Santiago Pacífico ubicada al noroeste de la del Valle de México pre-

senta un índice de 36 por ciento que es igual al de la cuenca del Balsas ubicada al sur, clasificadas como grado de presión media-fuerte. Los elevados índices de presión ubican a esta región, y en especial a la cuenca del Valle de México, con una problemática del agua calificada como de extrema gravedad –aun a escala mundial–, ya que esta región está clasificada dentro del grupo de zonas con mayores problemas en la explotación del recurso.

*Extracción de los cuerpos de agua  
en la cuenca del Valle de México*

La extracción en los cuerpos de agua ubicados dentro de la cuenca del Valle de México alcanzó una cifra de 1,943 hectómetros cúbicos en promedio al año, suma total de la extracción de cuerpos de agua superficial y subterránea (véase cuadro 4).

CUADRO 4  
EXTRACCIÓN PROMEDIO DE AGUA DENTRO  
DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO, 2004

<i>Fuentes de suministro</i>	<i>hm<sup>3</sup>/año</i>	<i>%</i>
Superficial	241	12
Subterránea	1,702	88
Extracción en la cuenca del Valle de México	1,943	100

Fuente: *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Conagua, México, 2004.

De acuerdo con los datos anteriores, la fuente que abastece de forma central a los usuarios de la cuenca son los cuerpos de agua subterráneos, mismos que representan 88 por ciento de la extracción total de agua en la cuenca del Valle de México, contrasta la extracción de los cuerpos de agua superficiales que sólo representa 12 por ciento.

*Sobreexplotación de los cuerpos  
de agua subterráneos en la cuenca  
del Valle de México*

El abastecimiento de agua en la cuenca del Valle de México depende en gran medida de la extracción de este recurso del subsuelo. Para cubrir los 1,702 hectómetros cúbicos que anualmente se extraen de agua de primer uso del acuífero del Valle de México ubicado debajo de los asentamientos urbanos de esta área, la extracción rebasa el volumen que proporciona la recarga natural anual, que es de 751 hectómetros cúbicos, ello muestra que los cuerpos de agua subterráneos de la cuenca están sobreexplotados en 951 hectómetros cúbicos (véase cuadro 5).

CUADRO 5  
SOBREEXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO DE LA CUENCA  
DEL VALLE DE MÉXICO, 2004

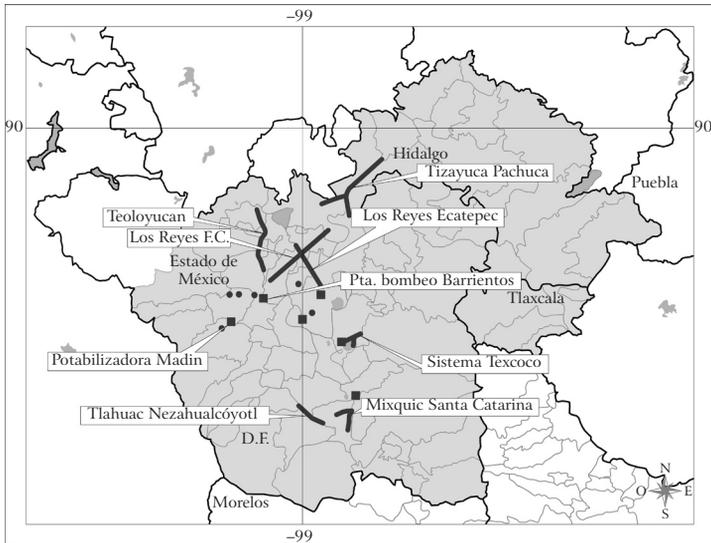
<i>Origen</i>	<i>m<sup>3</sup>/s</i>	<i>hm<sup>3</sup>/año</i>
Recarga natural	23.8	751
Extracción de aguas subterráneas	53.9	1,702
Déficit (sobreexplotación)	30.1	951

Fuente: *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Conagua, México, 2004.

La sobreexplotación de los acuíferos del Valle de México indica que cada año se extrae más agua de la que es repuesta por la recarga natural, y esto último sólo se puede hacer bajando la reserva ancestral que se tiene en los acuíferos en un volumen igual a los 951 hectómetros cúbicos al año. Los acuíferos van bajando su nivel, a medida que continúa la extracción anual en los volúmenes antes señalados, por lo que se extrae agua cada vez de mayor profundidad. Esta sobreexplotación, además, causa el hundimiento del suelo en zonas urbanas del Área Metropolitana de la Ciudad de México al provocar la baja del nivel del acuífero, la formación de *grandes cavernas en los acuíferos*.

## RECUADRO 2 PLAN DE ACCIÓN INMEDIATA

Un ejemplo de la extracción de agua subterránea lo constituye el Sistema de Pozos denominado Plan de Acción Inmediata (PAI), administrado por la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala (Gravamexsc). En 2004 se extrajeron 253 hectómetros cúbicos con el PAI, para abastecer a los habitantes del AMVM, mientras el resto del agua subterránea se extrajo de pozos administrados por los dueños de los derechos de explotación, entre los que se cuentan los de uso por los servicios, el comercio y la industria.



Fuente: Estadísticas del Agua 2005, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala. Región XIII*, Semarnat y Conagua, México, 2005, p. 76.

La sobreexplotación de los cuerpos subterráneos de agua es uno de los problemas más graves para el desempeño futuro de esta región; el abastecimiento de agua desde otras regiones y el

reuso no han sido medidas suficientes para detener el proceso de agotamiento.

### *Importación de agua de la cuenca del Lerma y del Cutzamala*

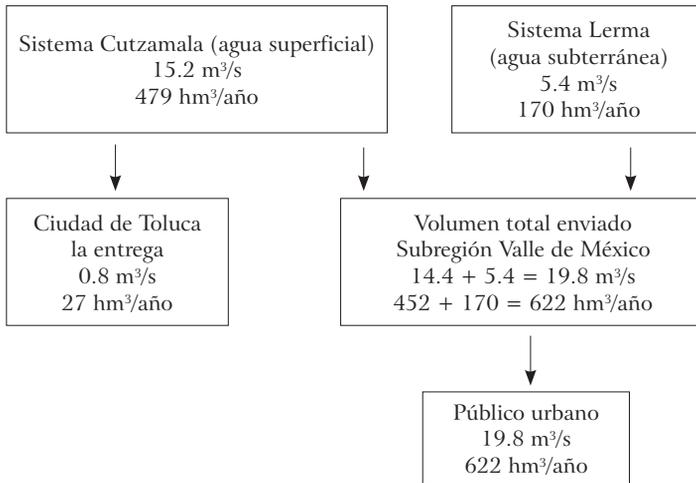
Como se comentó anteriormente, una quinta parte de la extracción total de agua para abastecer los requerimientos de toda la cuenca del Valle de México se traslada desde otras regiones, y representa un volumen de 622 hectómetros cúbicos al año (véase figura 5). La cuenca del Valle de México se encuentra rodeada de cinco cuencas, de las cuales, las más cercanas son las del Lerma<sup>2</sup> y la del Cutzamala,<sup>3</sup> las otras tres son las de Amacuzac, la de Libres Oriental y la del río Tecolutla, que a la fecha se están evaluando como fuentes potenciales para aumentar el abastecimiento de la ciudad.

La cercanía de las dos primeras determinó que se eligieran para abastecer de agua a la ciudad de México; para proveerla, se requirió la construcción de dos grandes obras de infraestructura hidráulica, una es conocida como Sistema Cutzamala de la RHA XII Lerma Santiago que trae el recurso de cuerpos de agua superficial (véase recuadro 3), y la otra es el Sistema Lerma de la RHA VIII del Balsas que suministra agua subterránea (véase recuadro 4).

<sup>2</sup> Desde 1929 se vislumbró la posibilidad de conducir el agua desde el río Lerma y sus manantiales y a finales de 1940 se iniciaron los estudios correspondientes. En 1951 entraron por primera vez a la ciudad de México las aguas de la región del Lerma cuyas lagunas se encontraban 300 metros arriba respecto al nivel de la ciudad. En esta etapa se efectuaron las primeras captaciones de aguas subterráneas al perforarse cinco pozos de entre 50 y 308 metros de profundidad. En la segunda etapa del Sistema Lerma, entre 1965 y 1975, se extrajo agua por medio de la construcción de 230 pozos. La cuenca del Lerma es alimentada por su río con caudales provenientes de la sierra del Pacífico, luego son introducidos a la ciudad para, finalmente, ser desalojados a las cuencas que alimentan los ríos Tula, Moctezuma y Pánuco y desembocar finalmente en el golfo de México.

<sup>3</sup> En 1976 se inició la obra de abastecimiento hidráulico más importante del país, el Sistema Cutzamala. El objetivo era traer agua a la ciudad de México del río Cutzamala que antes sólo se usaba para crear energía eléctrica. El problema de traer agua de este río no era la distancia, 130 km, como que las presas se localizaban en cotas muy por debajo de la ciudad y por lo tanto se trataba de elevar el líquido por bombeo. La primera etapa de la obra consistió en tomar agua de la presa Victoria y conducirla por un acueducto, la segunda y tercera etapa iniciaron con la construcción de la planta potabilizadora y el acueducto central, lo que dio pie al abastecimiento a partir de las presas restantes, obra que concluye en 1992. Está en proyecto una cuarta fase que consiste en ampliar la capacidad de abastecimiento mediante la derivación de una parte del agua del río Temascaltepec para conducirla hasta la presa Valle de Bravo.

FIGURA 5  
IMPORTACIÓN DE AGUA EN EL VALLE DE MÉXICO



Fuente: *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Conagua, México, 2004.

### RECUADRO 3 SISTEMA CUTZAMALA

El Sistema Cutzamala suministra agua en bloque a la cuenca del Valle de México, su primera derivación es hacia la ciudad de Toluca y entrega en promedio 27 hectómetros cúbicos al año, los restantes 452 hectómetros cúbicos se envían al AMVM, lo que beneficia a 16 delegaciones del Distrito Federal y a cinco municipios del estado de México. El abastecimiento de agua por esta vía resulta muy oneroso debido al elevado costo de su transportación. El Sistema Cutzamala se integra por siete presas; seis macroplantas de bombeo, que en conjunto vencen un desnivel que supera los 1,100 msnm; un acueducto de 205.78 kilómetros con tuberías de acero y concreto, con diámetros entre 1.52 y 3.50 metros; 43.99 kilómetros de túnel;

83.35 kilómetros de canal abierto y la planta potabilizadora “Los Berros” integrada por cinco módulos de 4,000 litros por segundo cada uno.

### IMPORTACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL DEL SISTEMA CUTZAMALA REGIÓN HIDROLÓGICA VIII DEL BALSAS



Fuente: Estadísticas del Agua 2005, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Región XIII, Semarnat, Conagua, México, 2005, p. 70.

El Sistema Cutzamala aprovecha las aguas de la cuenca alta del río Cutzamala, provenientes de las presas Tuxpan y El Bosque, en el estado de Michoacán; Colorines, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo y Villa Victoria en el estado de México, que anteriormente formaban parte de Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, así como de la presa Chilesdo, que fue necesario construir para aprovechar las aguas del río Malacatepec.

## RECUADRO 4

## LA CUENCA DEL LERMA

En las décadas de 1930 y 1940, el hundimiento del terreno en la ciudad de México se incrementó notablemente debido a la excesiva extracción de aguas subterráneas por medio de pozos y norias, situación por la cual a principios de 1950 se puso en operación el Sistema Lerma, que llegó a aportar en los setenta hasta 13,700 litros por segundo de agua potable al AMVM. Ésta contaba en aquel entonces con 11 municipios del estado de México aledaños a la ciudad, y para no continuar incrementando la sobreexplotación de los Valles de México y Toluca-Ixtlahuaca, se hizo necesario captar el agua de otras cuencas externas, puesto que la del Alto Lerma, por esas fechas, ya presentaba signos de sobreexplotación.

En 1942 se inició la obra hidráulica para transferir el agua de una cuenca a otra a través de la ciudad de México. La cuenca del Lerma es alimentada por su río con caudales provenientes de la sierra del Pacífico, éstos son introducidos a la ciudad para ser desalojados a las cuencas que alimentan los ríos Tula, Moctezuma y Pánuco y desembocar finalmente en el golfo de México.

Durante 10 años se realizó la primera etapa, que consistió en captar las aguas superficiales de Almoloya del Río, Texcalteango y Alta Empresa, en el estado de México. En esta etapa también se efectuaron las primeras captaciones de aguas subterráneas al perforarse cinco pozos de entre 50 y 308 metros de profundidad.

En 1951 entraron por primera vez a la ciudad de México las aguas de la región del Lerma, cuyas lagunas se encontraban 300 metros arriba respecto al nivel de la ciudad. Esto fue posible a través de un tubo de 62 kilómetros de largo y 2.5 metros de diámetro. El acueducto atravesó la sierra de Las Cruces por un túnel de 14 kilómetros llamado Atarasquillo-Dos Ríos. Se construyó un sistema de distribución y almacenamiento en la segunda sección del Bosque de Chapultepec, un depósito

decorado por un mural de Diego Rivera que canalizaba el agua hacia cuatro grandes depósitos de 100 metros de diámetro y 10 de profundidad, para ser distribuida por gravedad a la ciudad. Al integrarse la cuenca del Lerma al sistema hidrológico del Valle de México, se aportaron inicialmente 4 metros cúbicos por segundo. Los beneficios por el aumento en el suministro fueron notables.

Una crisis de agua en la capital del país a mediados de la década de 1960, obligó a extraer cantidades mayores del recurso desde el Lerma, agravando así la situación regional. En aquel entonces, la Secretaría de Recursos Hidráulicos y el Departamento del Distrito Federal iniciaron los estudios para aumentar el caudal. Esta segunda etapa del sistema Lerma se llevó a cabo entre 1965 y 1975 por medio de la construcción de 230 pozos; el área de extracción se extendió hacia la región de Ixtlahuaca y Jocotitlán. En tales condiciones, el suministro a la ciudad se elevó a 14 metros cúbicos por segundo. Este caudal se ha reducido a 6 metros cúbicos por segundo por el grave deterioro que la severa explotación de los mantos acuíferos ha ocasionado en la zona.

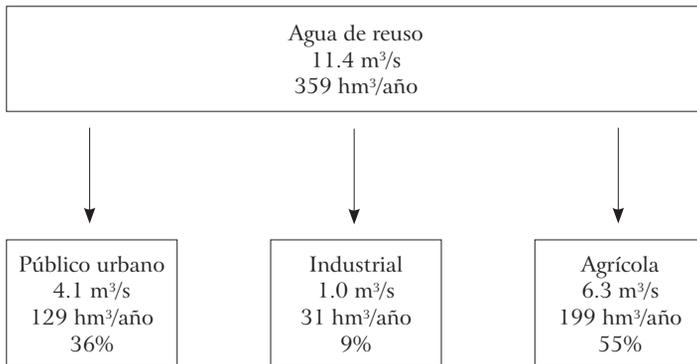
Es innegable el papel fundamental que ha tenido la sobreexplotación de los acuíferos del Lerma en las severas alteraciones ecológicas de la cuenca. Entre otras, la pérdida de la fertilidad de los suelos y la transformación de los cultivos de riego en temporales. Todo ello ha modificado las formas de vida, el paisaje y la economía de los habitantes de la zona.

### *Reuso del agua*

La otra fuente de abastecimiento para el AMVM es el agua de reuso, que alcanza un volumen de 359 hectómetros cúbicos y representa 12 por ciento de la extracción total de agua. Esta fuente de suministro puede aumentar si se aplica una política que fomente la instalación de infraestructura para el tratamiento de agua y la creación de un mercado de agua tratada. El crecimiento de este último es clave, ya que disminuye la presión sobre los cuerpos de agua de primer uso. El reuso debe aumentarse en primer lugar, para la

industria; sin embargo, es preciso también que se fomente en todos los usos, incluyendo el doméstico. En el caso de la agricultura el reuso debe ser únicamente con agua tratada, en vista de que el uso de aguas negras crea problemas de salud y contaminación a la población usuaria del recurso.

FIGURA 6  
REUSO DEL AGUA EN EL VALLE DE MÉXICO POR SECTOR



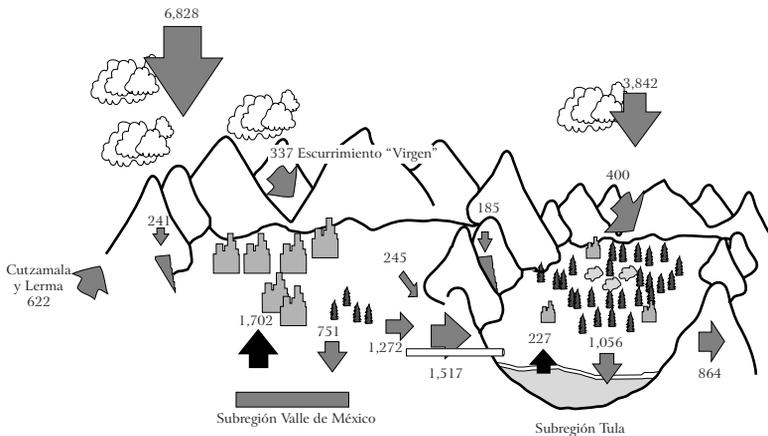
Fuente: *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Conagua, México, 2004.

Como se presenta en la figura 6, el reuso es significativo en las actividades agrícolas y en el público urbano, mientras la industria reusa 31 hectómetros cúbicos al año. En esa perspectiva, existe un muy importante mercado potencial para desarrollar el reuso de agua en ciertas actividades económicas, y parece ser un camino adecuado a seguir ante los límites en el abastecimiento de agua de primer uso en el AMVM.

#### *Exportación del agua de la cuenca del Valle de México a la cuenca del Tula*

Originalmente, la cuenca del Valle de México (véase figura 7) no tenía salida natural de sus aguas, ni superficial ni subterránea-

FIGURA 7  
BALANCE HÍDRICO DE LA REGIÓN HIDROLÓGICA XIII  
( $\text{hm}^3$ )



Fuente: *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Conagua, México, 2004.

mente, por la forma cóncava que presenta.<sup>4</sup> Sin embargo, dicho estado natural ha sido modificado por medios artificiales para convertirla en una cuenca que trasfiere parte de sus aguas residuales y pluviales a la cuenca aledaña, la de Tula, en un largo proceso que se inició con las grandes obras de drenaje en la época colonial y que a la fecha continúan ampliándose. En la figura 7, se señala con flechas el flujo de 1,517 hectómetros cúbicos de agua que se exportan de la cuenca del Valle de México hacia la cuenca del Valle de Tula; son aguas residuales de origen urbano e industrial, así como volúmenes excedentes de agua de lluvia generados durante la época de lluvias. El agua residual se transfiere mediante la infraestructura de drenaje, primero al río Tula y posteriormente al río Moctezuma, para atravesar la cuenca del golfo centro y de ahí terminar finalmente su recorrido en el mar.

<sup>4</sup>Por lo que se clasifica como de tipo endorreico.

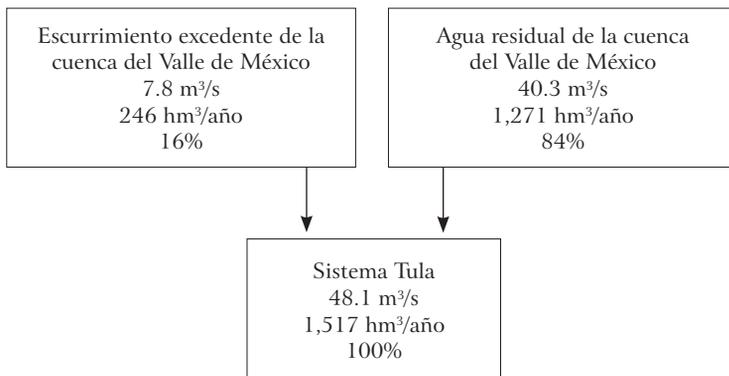
La mayoría del agua que se exporta (véase figura 8) a la cuenca de Tula<sup>5</sup> es agua residual (84 por ciento) y alcanza la cifra de 1,271 hectómetros cúbicos la que prácticamente no tiene ningún tratamiento, es usada para riego en el Valle de Tula y los contaminantes que arrastra intoxican los cultivos y causan enfermedades en la población que de alguna manera se encuentra en contacto con ella. El tratamiento del agua residual exportada es una obligación de los gobiernos que administran las ciudades y municipios que conforman el AMVM y deben cumplir con las normas ecológicas que existen para este fin. El Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Comisión Nacional del Agua (Conagua) han expedido en forma coordinada tres normas oficiales mexicanas (NOM) para la prevención y control de la contaminación del agua, de carácter obligatorio y aplicables en todo el país: la NOM-001-ECOL-1996, la NOM-002-ECOL-1996 y la NOM-003-ECOL-1996.<sup>6</sup> La administración adecuada del recurso podría ser fuente de soluciones a varios problemas, tales como la creación de un mercado de agua tratada, que disminuiría la presión sobre el agua de primer uso en el AMVM.

Los 246 hectómetros cúbicos de agua de escurrimiento excedente se exportan por la vía del drenaje junto con el agua residual, y sería conveniente evaluar cómo captarla y usarla dentro de la cuenca del Valle de México. Sobre esta posibilidad se están realizando propuestas. El problema es captar el agua del escurrimiento puesto que ésta, al combinarse con el agua residual en los sistemas de drenaje, complica su utilización.

<sup>5</sup>La cuenca del río Tula se ubica geográficamente en el estado de México (porción oriental) e Hidalgo (porción sureste) y sus aguas siguen una dirección sur-norte, las aguas residuales de la cuenca del Valle de México siguen esta dirección a través del emisor central y de los túneles de Tequisquiác, que confluyen directamente sobre los ríos El Salto y El Salado, respectivamente.

<sup>6</sup>La NOM-ECOL-001-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en bienes nacionales; la NOM-ECOL-002-1996, se refiere a los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, y la NOM-ECOL-003-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

FIGURA 8  
EXPORTACIÓN DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO  
A LA CUENCA DE TULA



Fuente: *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Conagua, México, 2004.

RIESGOS PARA CUBRIR EL ABASTECIMIENTO DE AGUA  
A LOS USUARIOS EN EL AMVM

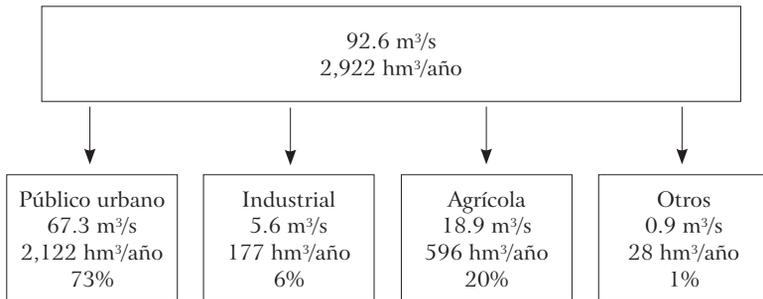
DE ACUERDO con el Registro Público de Derechos del Agua (Repda)<sup>7</sup> el Valle de México extrae 2,922 hectómetros cúbicos de agua de todas las fuentes de abastecimiento a su alcance –este monto también se contabiliza como agua suministrada. El principal organismo encargado del suministro es la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala (Gravamexsc).

Los derechos de explotación del agua se otorgan para usos específicos, con la idea de cubrir los requerimientos de las diversas actividades económicas y de las necesidades de la población asentada en el AMVM (véase figura 9). Los usos del agua corresponden al abastecimiento público urbano, que tiene un suministro de 2,122 hectómetros cúbicos, e incluye los usos doméstico y públi-

<sup>7</sup> En el Registro Público de Derechos del Agua (Repda) quedan asentados los volúmenes del recurso concesionados o asignados a los usuarios de aguas nacionales, además se registran los derechos especificando el volumen de agua a que se tiene derecho y el uso para el que se otorga.

co urbano, ligados al crecimiento de la población; al uso industrial corresponden 177 hectómetros cúbicos y otros usos con 28 hectómetros cúbicos. El uso agrícola del agua representa 596 hectómetros cúbicos y se realiza básicamente fuera del AMVM por lo que no se enfatiza en él.

FIGURA 9  
USOS DEL AGUA EN EL VALLE DE MÉXICO  
POR TIPO DE USUARIO



Fuente: *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Conagua, México, 2004.

Todos los usuarios de agua están más o menos amenazados, por los límites que enfrenta el suministro en el AMVM; sin embargo, el uso público urbano es el más vulnerable puesto que requiere de la mayor cantidad: tres cuartas partes de la extracción total (73 por ciento).<sup>8</sup>

Otro uso importante de agua es el industrial, que demanda 6 por ciento de la extracción total, y en el que la amenaza de escasez se concentra en las actividades manufactureras que son grandes usuarias de agua, como las empresas de bebidas alcohólicas y no alcohólicas, y las productoras de alimentos, entre otras. El sector agrícola se ubica fuera del AMVM y no parece enfrentar

<sup>8</sup>La Ley de Aguas Nacionales (LAN) define muy claramente el orden de prelación en el caso de enfrentar situaciones de emergencia, escasez extrema, sobreexplotación o reserva, en cuyo caso tendrá prioridad el uso doméstico (capítulo IV, artículo 13). La LAN también contempla cambios en el orden de prelación cuando todas las partes involucradas lo aprueben incluyendo a la Conagua.

las fuertes restricciones de agua que padece el área urbana, la cual participa con una quinta parte de la extracción de la cuenca del Valle de México (20 por ciento).

En el cuadro 6 se presentan las fuentes de abastecimiento para los dos usos importantes en el AMVM. Para el uso público urbano, el abastecimiento más importante recae en los cuerpos subterráneos de agua, ya que de esta fuente dependen tres quintas partes (62 por ciento); en segundo lugar, obedece a la importación de agua de otras cuencas (29.3 por ciento), y por último, se encuentra el agua de reuso que representa 6 por ciento de su abastecimiento. Esta última fuente parece ser una opción de abastecimiento en el futuro, aunque es claro que a la fecha ha sido poco explorada.

Aun cuando parece una solución viable, la vía para aumentar el suministro con la importación de agua se enfrenta a los límites propios de los cuerpos de agua de las cuencas aledañas y al elevado costo de transportación. El traslado de agua de nuevas cuencas supone costos exorbitantes al tiempo que implica negociar con los usuarios de esos cuerpos de agua, lo que siempre significa enfrentar conflictos en los derechos de explotación. Las fuentes superficiales de agua tienen una presencia muy baja, y representan sólo 2.5 por ciento del suministro total del uso público urbano.

CUADRO 6  
FUENTES DE ABASTECIMIENTO POR SECTOR USUARIO

Fuente	Sector destino					
	Público urbano			Industrial		
	m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup> /año	%	m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup> /año	%
Aguas subterráneas	41.8	1,318.0	62.1	3.9	123.0	69.5
Aguas superficiales	1.7	54.0	2.5	0.7	22.0	12.4
Reuso	4.1	129.0	6.1	1.0	31.0	17.5
Importación otras cuencas	19.7	622.0	29.3	—	—	0.0
Total	67.3	2,122.0	100	5.6	177.0	100

Fuente: *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Conagua, México, 2004.

El suministro de agua para el sector industrial depende en 70 por ciento del agua subterránea; 17.5 por ciento del agua de reuso; 12.4 por ciento de aguas superficiales, y prácticamente no utiliza agua importada (véase cuadro 6). En el AMVM existen diversas actividades industriales que pueden incorporar sin problema agua de reuso en sus procesos, y otros sectores como el de alimentos y bebidas que requieren agua de primer uso como materia prima para la elaboración de sus productos, por lo que los límites a su abastecimiento dependen de fuentes internas de suministro en la cuenca.

Es claro, los usuarios de agua en el AMVM dependen fundamentalmente de los cuerpos de agua subterráneos que son los que se encuentran sobreexplotados. Los hogares y la actividad comercial enfrentan un alto riesgo ante la eventual suspensión o caída en los volúmenes de agua suministrada; de hecho estos problemas se enfrentan ya para regiones específicas. ¿Qué se puede hacer para asegurar el abastecimiento de estas actividades sustantivas en el futuro? El traslado de agua ha sido una alternativa momentánea, pero no es una solución permanente y en el largo plazo, dados los bajos volúmenes que se pueden desplazar respecto a los elevados volúmenes que se demandan.

En el AMVM y de manera más evidente en el estado de México existen regiones con un crecimiento inmobiliario muy dinámico, su demanda de agua la resuelven comprando los derechos de explotación de pozos a los agricultores que tienen los derechos de su uso para riego agrícola, que con el cambio de uso de suelo, son acaparados por empresas inmobiliarias. Éstas, posteriormente, cambian los derechos de uso agrícola a uso doméstico ya que la explotación de pozos requiere que la Conagua extienda un permiso, pues la extracción ilegal es sancionada y debe ser vigilada para que su uso sea racionalizado. Las unidades habitacionales sobreexplotan el recurso por lo que en el mediano plazo enfrentarán problemas en el suministro de agua afectando a las familias que compraron sus departamentos y casas, poniendo en alto riesgo su inversión.

El abastecimiento que ofrecen las aguas superficiales para el AMVM tiene poca importancia, puesto que el uso público de esta fuente constituye sólo 2.5 por ciento y el de la industria 12.5 por ciento. Actualmente, el Valle de México cuenta con más de 100 almacenamientos entre lagos, lagunas y embalses, entre los más importantes están la laguna de Zumpango, y los lagos de Guadalupe, Texcoco, Nabor Carrillo y Xochimilco.

#### ESCENARIO LÍMITE PARA LA EXTRACCIÓN TOTAL DE AGUA EN LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO PARA 2025 Y 2030

EL CRECIMIENTO de la población en el Valle de México y en particular en el AMVM, implica mayor presión sobre los cuerpos de agua que abastecen esta región. A continuación se presenta un escenario para evaluar los niveles de extracción de agua. Suponiendo que se mantuviera el mismo patrón de consumo de la población que se presentó en 2004, se extrapola el nivel de extracción del AMVM para 2025 y 2030. Lo que resulta de este ejercicio es que llevar la extracción más allá de la que hoy se realiza es prácticamente insostenible. Es preciso, en cambio, hacer ajustes importantes por el lado de la demanda de agua entre los usuarios.

El Valle de México vive un proceso de estabilización en su ritmo de crecimiento poblacional (véase cuadro 7) puesto que pasó de una tasa de 1.71 por ciento en la década de 1990 a una de 1.03 por ciento de 2000 a 2005. Este freno se explica en lo fundamental por el comportamiento poblacional de su área metropolitana, que en la década de 1990 creció al 1.64 por ciento promedio anual y de 2000 a 2005 frenó su crecimiento a la mitad, al pasar a una tasa de 0.86 por ciento promedio anual. En particular, el comportamiento del Distrito Federal explica buena parte del freno en el crecimiento al presentar una tasa de 0.27 por ciento en el último quinquenio. Este resultado ha sido determinante en el proceso de estabilización de la población del área metropolitana.

El freno al crecimiento ha sido contrarrestado por un proceso opuesto en los municipios de los estados que se ubican fuera

## CUADRO 7

## TASAS DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN EN EL VALLE DE MÉXICO Y SU ÁREA METROPOLITANA

Zona	<i>Tasa de crecimiento (1990-2000)</i> %	<i>Tasa de crecimiento (2000-2005)</i> %
Subregión Valle de México	1.71	1.03
Distrito Federal	0.44	0.27
Estado de México	2.95	1.59
Hidalgo	2.55	2.61
Tlaxcala	2.06	1.75
Área Metropolitana del Valle de México*	1.64	0.86
Distrito Federal	0.44	0.27
Estado de México	2.92	1.39

\* Incluye las 16 delegaciones del Distrito Federal y 35 municipios del estado de México considerados parte del AMVM.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI, *XI Censo General de Población y Vivienda, 1990*; INEGI, *XII Censo General de Población y Vivienda, 2000* y de INEGI, *II Censo de Población y Vivienda 2005*.

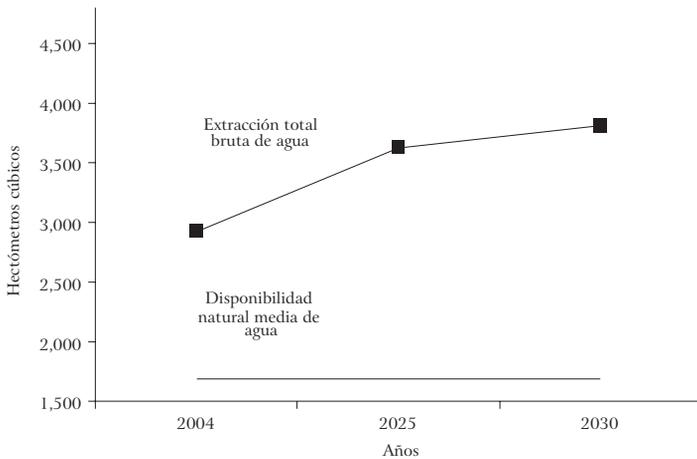
del AMVM, pero que forman parte de la región del Valle de México. En el último quinquenio, en estos municipios se presentaron elevadas tasas de crecimiento de la población: en Hidalgo 2.61 por ciento; en Tlaxcala 1.75 por ciento, y en los municipios del estado de México 1.59 por ciento.

La proyección de la extracción total de agua para 2025 y 2030 en la cuenca del Valle de México se realiza aplicando la tasa de crecimiento de la población del último quinquenio, la que podría estar sobrevalorada si es que continúa disminuyendo su ritmo de crecimiento. El supuesto es que esta tasa se mantendrá constante hasta 2025 y 2030. Este escenario supone que no cambiarán las condiciones económicas ni naturales en el tiempo, que la tecnología se mantendrá al nivel actual, así como la política hidráulica, las tarifas en términos reales y todos los demás aspectos que se relacionan con el manejo del agua.

La disponibilidad natural del agua se supone constante –ya que es difícil considerar que esta magnitud pueda aumentar–,

y es el indicador de la oferta de agua. Asimismo, su magnitud se mantendrá constante en 1,688 hectómetros cúbicos anuales. Los volúmenes de la extracción total de agua para 2004 y los volúmenes estimados para 2025 y 2030, así como la disponibilidad natural en la cuenca del Valle de México se presentan en la gráfica 1.

GRÁFICA 1  
EXTRACCIÓN TOTAL BRUTA DE AGUA Y DISPONIBILIDAD NATURAL MEDIA EN EL VALLE DE MÉXICO, 2004-2030

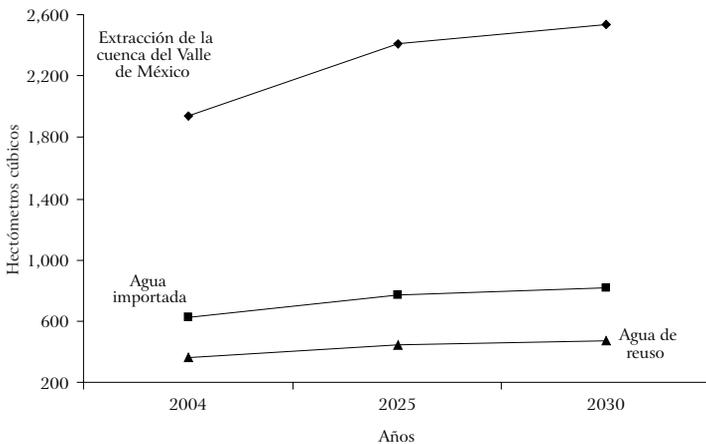


Fuente: Elaboración propia con base en Estadísticas del Agua 2005, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Región XIII, Semarnat, Conagua, México, 2005.

En la gráfica 1 se observa cómo aumenta en forma alarmante la brecha entre la extracción total bruta del agua y la disponibilidad natural. Con la actual sobreexplotación del acuífero del Valle de México, la importación de agua y el reuso no podrían aumentar al ritmo requerido para completar los niveles de extracción estimados para 2025 y 2030. Para cubrirlas, se debe recurrir a otras fuentes de abastecimiento que hasta ahora no se vislumbran. En este escenario, el límite que se enfrenta es por el lado de la oferta, en vista de que no se podría garantizar el suministro de

agua para abastecer la demanda creciente de la población del AMVM, y menos aún si se considera que la importación de agua sería muy costosa, y que en 2004 ya existía una elevada sobreexplotación de los cuerpos de agua en la cuenca. El escenario elaborado y descrito en la gráfica 1 es insostenible; la extracción total de agua de 2,924 hectómetros cúbicos para 2004 aumentaría a 3,817 hectómetros cúbicos para 2030.

GRÁFICA 2  
TRAYECTORIA DE LOS COMPONENTES  
DE LA EXTRACCIÓN TOTAL DE AGUA  
EN EL VALLE DE MÉXICO, 2004-2030



Fuente: Elaboración propia con base en Estadísticas del Agua 2005, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala, Región XIII*, Semarnat, Conagua, México, 2005.

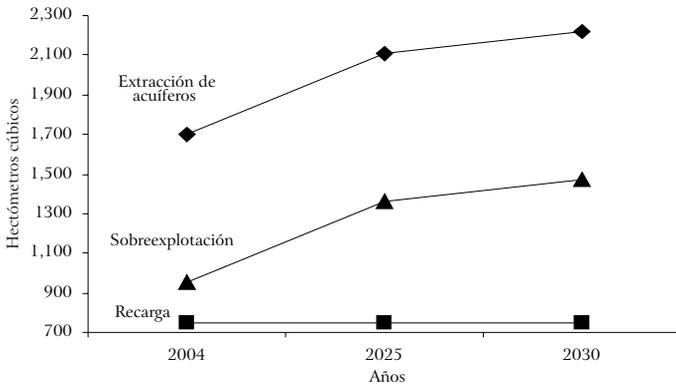
En la gráfica 2, se presenta la evolución de cada componente de la extracción total de agua en la región del Valle de México a partir de la situación de 2004, proyectándolos a 2025 y 2030. En la gráfica 2 destaca el elevado volumen de extracción de la cuenca del Valle de México. En particular, para 2030 alcanzaría volúmenes del orden de 2,536 hectómetros cúbicos que obviamente no se podrían extraer de los cuerpos de agua superficial, y menos aún del abastecimiento subterráneo.

La segunda fuente de extracción es el agua importada, que para 2004 registró un volumen de 622 hectómetros cúbicos y, de acuerdo con la extrapolación para 2025 sería de 771 hectómetros cúbicos y para 2030 de 830 hectómetros cúbicos. La interrogante es si en la factibilidad de importar tales magnitudes de agua en el futuro mediato, inciden factores como el aumento de los costos por metros cúbicos de agua importada –por transportación, entre otras cosas–, además de que existe un límite físico evidente en los cuerpos de agua de las cuencas aledañas. Sin embargo, debemos decir que esta opción es la salida que las autoridades están considerando para superar la crisis del agua en el AMVM.

El tercer componente de extracción y abastecimiento de agua en el Valle de México es el agua de reuso que constituye una vía factible además de ser barata y sustentable. El reuso del agua para 2004 sólo representa 12 por ciento de la extracción total en el Valle de México, y de acuerdo con los resultados de la extrapolación si el agua reusada crece al mismo ritmo que la población para 2025, el volumen de abastecimiento sería de 445 hectómetros cúbicos y para 2030 de 469 hectómetros cúbicos. Sin embargo, es imprescindible que el aumento en el reuso del agua siga un ritmo mayor al crecimiento de la población para que mitigue la presión sobre la extracción de agua de primer uso. Aumentar la disponibilidad del agua de reuso es una necesidad inmediata e impostergable, dada la astringencia generalizada de este recurso; para lograr tal objetivo se requiere de la participación del gobierno, del sector privado y de los usuarios de todo tipo, con la finalidad de no enfrentar una crisis en el futuro próximo, cuya afectación recaería sobre la población y los sectores económicos.

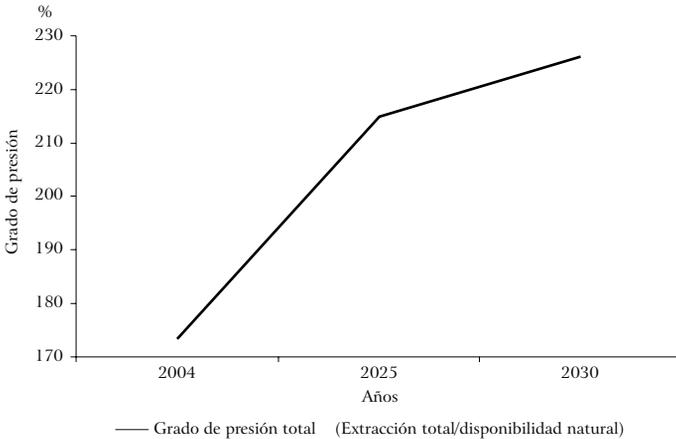
En lo que se refiere al agua subterránea (véase gráfica 3), para 2004 ya existía una sobreexplotación anual de los acuíferos del orden de 751 hectómetros cúbicos anuales; de continuar con esta dinámica, para 2025 la sobreexplotación anual sería de 1,360 hectómetros cúbicos y para 2030 de 1,471 hectómetros cúbicos, magnitudes prácticamente imposibles de extraer. Este escenario muestra que es imposible continuar operando con una política basada en la sobreextracción de los recursos hídricos de los acuíferos subterráneos.

GRÁFICA 3  
 PROYECCIÓN DE SOBREENPLOTAÇÃO DEL ACUÍFERO  
 EN LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO



Fuente: Elaboración propia con base en Estadísticas del Agua 2005, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Región XIII, Semarnat, Conagua, México, 2005.

GRÁFICA 4  
 GRADO DE PRESIÓN TOTAL SOBRE EL RECURSO HÍDRICO  
 EN LA SUBREGIÓN VALLE DE MÉXICO

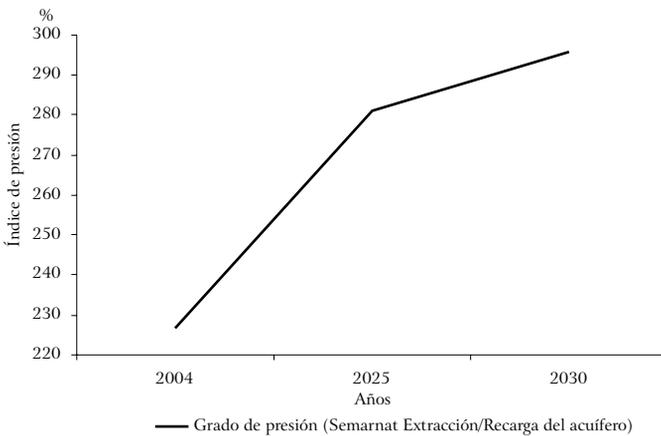


Fuente: Elaboración propia con base en Estadísticas del Agua 2005, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Región XIII, Semarnat, Conagua, México, 2005.

*Evolución del grado de presión  
en los recursos hídricos y manejo  
no sustentable en la cuenca del Valle de México*

En la gráfica 4, se presentan los grados de presión total sobre los recursos hídricos en los años del escenario planteado, su crecimiento acelerado muestra la gravedad de la problemática del agua en la región del Valle de México, pues de un grado de presión de 173 por ciento para 2004 asciende a uno de 226 por ciento para 2030 que, para efectos prácticos, significa pasar de una situación que va más allá de una presión fuerte a otra que implica acercarse al agotamiento de los recursos hídricos de la región.

GRÁFICA 5  
GRADO DE PRESIÓN EN EL ACUÍFERO  
DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO



Fuente: Elaboración propia con base en Estadísticas del Agua 2005, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Región XIII, Semarnat, Conagua, México, 2005.

El manejo no sustentable de los cuerpos de agua subterráneos preocupa aún más por los efectos colaterales que causa su sobreexplotación, como es el problema del hundimiento de los asentamientos en áreas urbanas, entre otros. El grado de presión

específicamente sobre estos cuerpos de agua de 227 por ciento para 2004 pasaría a 281 por ciento para 2025 y para 2030 sería de 296 por ciento, lo cual muestra que no es posible llegar a esos niveles de deterioro de los acuíferos. Antes de ello se enfrentarían graves costos del sistema natural en formas impredecibles (véase gráfica 5).

## CONCLUSIONES

LA CONCLUSIÓN general es que el actual modelo hidráulico del AMVM es insostenible en el largo plazo. El sistema económico es el factor que determina la extracción de agua hasta que el sistema natural muestra sus límites y amenaza con desestabilizar esta situación, lo que pone en riesgo la continuidad del sistema económico y urbano más importante del país. El espacio urbano es demasiado grande para el sistema natural hídrico en el que se apoya, la sobreexplotación de sus cuerpos de agua frenan su recarga, los ecosistemas locales han sido destruidos o dañados críticamente y los suelos se han degradado debido a la presión de la urbanización indiscriminada. Para controlar este proceso de destrucción de los recursos, es necesario enfrentar cambios radicales en las políticas hídricas. La oportunidad para salvar a la ciudad y permitir su crecimiento económico se está cerrando rápidamente y se hace necesario tomar las medidas apropiadas con urgencia.

La desaceleración del crecimiento poblacional en la cuenca del Valle de México ayuda a la búsqueda de una política hídrica sustentable, puesto que representa un freno en el ritmo de crecimiento de la presión sobre la demanda de agua; sin embargo, de acuerdo con los escenarios analizados, esto no es una fuerza suficiente para lograr resultados razonables. La política hidráulica en la cuenca del Valle de México se ha basado en la sobreexplotación del recurso para cubrir la demanda creciente de agua que exige su crecimiento económico y poblacional; las cifras reportadas muestran que los límites de una extracción sustentable han sido rebasados, que los daños por sobreexplotación al sistema hídrico son graves, y en numerosos casos irreversibles, las descargas de aguas residuales a los

cuerpos de agua se hacen en su mayoría sin tratamiento y por lo tanto, la contaminación de los acuíferos llega a niveles extremos. Es urgente que la política frene la pérdida del sistema hídrico y del ecosistema natural en su conjunto; es preciso encontrar nuevos esquemas para la administración de la demanda de agua.

El AMVM es hoy la región de mayor importancia económica, política y social del país. Su crecimiento ha llevado a concentrar una población de 18.6 millones de habitantes en una región de casi 5,000 kilómetros cuadrados, con una densidad de población de 3,740 personas por kilómetros cuadrados, que es la más alta de México, y que ubica a esta ciudad entre las regiones de mayor densidad demográfica en el mundo. Para 2004, una ciudad de estas dimensiones requirió de una extracción de agua del orden de los 2,922 hectómetros cúbicos, lo que explica una extracción per cápita media anual de 157.1 metros cúbicos. Para cubrir este nivel de abastecimiento, los acuíferos del AMVM han sido sometidos a una presión que ha llegado a la sobreexplotación y al aumento de la importación de agua de cuencas aledañas como la del Lerma y Cutzamala.

La gestión por cuenca reconoce la unidad geográfica natural que capta las aguas precipitadas de la atmósfera y, como tal, se constituye en eslabón prominente del ciclo hidrológico, además de ser el marco más apropiado para la determinación de balances de agua y por tanto de la planeación hídrica. Si se considera la extracción de los cuerpos de agua de la cuenca del Valle de México, es claro que prácticamente toda es para abastecer el AMVM (98 por ciento), cuatro quintas partes de este volumen se extraen de cuerpos de agua ubicados dentro de la misma cuenca y la otra quinta parte se trae de las cuencas antes mencionadas.

La extracción total de agua en la cuenca del Valle de México supera 1.73 veces la disponibilidad natural media de la cuenca, que indica una presión extrema sobre los acuíferos del Valle de México que no está contemplada en ninguna clasificación y que la ubica dentro de las regiones más sobreexplotadas del mundo.

La extracción de agua de primer uso en la cuenca del Valle de México, se obtiene básicamente de los cuerpos de agua subterráneos (88 por ciento) y la extracción de cuerpos de agua superficiales

desempeña un papel secundario (12 por ciento). Específicamente, en 2004 se extrajeron 1,702 hectómetros cúbicos del acuífero del AMVM, lo que rebasa por mucho la recarga natural anual de agua de estos cuerpos, misma que alcanza un volumen de 751 hectómetros cúbicos, y explica un nivel de sobreexplotación de 951 hectómetros cúbicos de los cuerpos de agua subterráneos.

La importación de agua ha representado una solución parcial a la escasez de este recurso en la cuenca. Para 2004 se trasladaban 622 hectómetros cúbicos anuales, de los cuales tres cuartas partes provienen del Sistema Cutzamala y una cuarta parte del Sistema Lerma. El Sistema Cutzamala transporta agua de origen superficial hacia la Ciudad de México en un largo y costoso recorrido. Esta fuente de abastecimiento, que enfrenta problemas como la sobreexplotación, constituye una fuente de abastecimiento cara que a la fecha funciona con elevados subsidios. Además, está latente el riesgo de que tarde o temprano sea reclamado por los propietarios del derecho de explotación para darle un uso local. A la fecha las mujeres mazahuas están decididas a impedir se continúe exportando agua de su cuenca al AMVM, y pretenden que el agua sea destinada al uso en sus comunidades. Y en el caso de no poder cambiar la situación actual, obtener a cambio una compensación que justifique el daño que se le está causando a su ecosistema, al desempeño de sus actividades económicas y a sus condiciones de vida.

El agua importada de la cuenca del Balsas por medio del Sistema Lerma, es extraída de acuíferos y también enfrenta problemas para mantener o aumentar su extracción. Es indudable el papel que ha tenido la sobreexplotación de los acuíferos del Lerma en las severas alteraciones ecológicas de la cuenca, la pérdida de la fertilidad de los suelos y la transformación de los cultivos de riego en temporales. Todo ello ha modificado las formas de vida, el paisaje y la economía de los habitantes de la zona.

El reuso de agua tratada es la tercera fuente de abastecimiento del AMVM y alcanza una participación del 12 por ciento en la extracción total. En la actualidad es poco importante pero parece imprescindible trabajar en esta dirección, dados los límites a que

se ha llegado con las otras fuentes de abastecimiento y los grandes avances tecnológicos para transformar el agua residual en agua tratada de uso industrial, para abastecimiento público e incluso en agua potable. Sin embargo, a la fecha el porcentaje de agua residual tratada y reusada es bastante bajo; la mayoría de sus descargas se exportan a la cuenca de Tula sin previo tratamiento, lo que ocasiona graves problemas en los cuerpos de agua por donde transita antes de llegar al mar.

Ahora bien, la extracción de agua del subsuelo y su importación tienen límites naturales que impiden cubrir los requerimientos futuros; sólo el aumento del agua de reuso resulta ser una vía de abastecimiento que puede ser impulsada en forma importante para cubrir los requerimientos crecientes de los próximos años, así como para encauzar las políticas hacia una administración de la demanda de agua.

Los límites al abastecimiento de agua afectan a todos los usuarios establecidos en el AMVM. Sin embargo, el uso público urbano es el más vulnerable, puesto que requiere de aproximadamente tres cuartas partes de la extracción total (73 por ciento). Esto último impone límites al crecimiento urbano y al desarrollo de viviendas que no pueden abastecer su demanda de agua, salvo en el esquema de la sobreexplotación de los acuíferos. El sector industrial que demanda 6 por ciento de la extracción total, enfrenta límites a su crecimiento en las actividades manufactureras en donde las empresas son grandes usuarias de agua, como las productoras de bebidas no alcohólicas y alimentos, entre otras.

El crecimiento de la industria en giros que usan intensivamente agua de primer uso ya no tiene cabida en el AMVM; estas industrias deben pensar más bien su relocalización en regiones en donde se encuentre agua en abundancia. Los usos del agua que dependen del abastecimiento subterráneo son los más vulnerables; el uso público urbano depende de esta fuente en 62 por ciento, y la industria en 70 por ciento, y son precisamente la población del AMVM y las actividades industriales, comerciales y de servicios las que enfrentan un alto riesgo en la continuidad de sus actividades básicas debido a la dificultad para su futuro abastecimiento.

El uso público urbano depende del agua importada, 30 por ciento de su abastecimiento depende de esta fuente, la otra vía es el reuso del agua que representa 6 por ciento de su abastecimiento. La importación enfrenta límites en su continuidad en el mediano plazo, la opción del reuso sí parece ser viable aunque no ha sido suficientemente explorada.

El sector industrial ha recurrido al agua de reuso como fuente de abastecimiento. Para 2004 representaba 17.5 por ciento de su abastecimiento total, su baja participación indica que queda mucho por hacer para que esta vía de suministro funcione. En el AMVM existen diversas actividades industriales que pueden incorporar agua de reuso en sus procesos, y por lo tanto puede ser considerada como una fuente importante de suministro en el futuro. Sin embargo, otras actividades como el sector de alimentos y bebidas requieren agua de primer uso, los volúmenes de extracción de agua subterránea son muy grandes por lo que existen en el presente límites inmediatos en su abastecimiento, y con mayor razón en el futuro. Este sector no se abastece directamente de agua importada, sin embargo participa de manera indirecta mediante las tomas de agua potable que suministra la red de abastecimiento urbano municipal.

La cuenca del Valle de México no tiene salida natural de sus aguas por la forma cóncava que presenta, sin embargo dicho estado natural ha sido modificado por medios artificiales para convertirle en una cuenca que trasfiere sus aguas residuales y pluviales a la cuenca de Tula. En 2004 se exportaron a esta cuenca 1,517 hectómetros cúbicos de aguas residuales de origen urbano e industrial, así como los volúmenes excedentes de agua de lluvia, generados en el periodo de mayores precipitaciones pluviales. Posteriormente, parte del agua pasa a la cuenca del golfo centro y de ahí al mar. El gran problema de este proceso es que el agua que se exporta contiene elevados niveles de contaminación, por lo que los usos a que se ve sometida han degradado la calidad y eficiencia de las actividades agrícolas. En la actualidad, esto último se ha convertido en uno de los problemas más graves en

términos de salud y deterioro de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, así como de sistemas ecológicos completos. Las zonas de riego funcionan como un gran sistema de tratamiento de más de 100,000 hectáreas, con el grave inconveniente de que ocasionan problemas de salud pública, al presentarse el flujo de las aguas negras a cielo abierto desde las zonas urbanas del Valle de México hasta las zonas de riego en el Valle del Mezquital. En este punto se requiere el cumplimiento de las normas ecológicas existentes, así como de la revisión de la política hídrica intercuenas.

La extracción total de agua reportada en 2004 para la cuenca del Valle de México extrapolada a 2025 y 2030, permite generar un escenario muy simple para evaluar los límites a que se enfrenta el AMVM respecto del abastecimiento futuro en esta región. La disponibilidad natural del agua se supone constante, y es el indicador de la oferta que determina un consumo sustentable. Los resultados de este escenario muestran que la brecha entre la extracción total bruta del agua y la disponibilidad natural aumenta en forma alarmante, la sobreexplotación del acuífero del Valle de México no es suficiente para completar los niveles de extracción estimados y la importación tendría que aumentar a un ritmo tan alto que prácticamente sería imposible de lograr—salvo que se recurra a las nuevas cuencas que sugiere la Conagua. La extracción total de agua de 2,924 hectómetros cúbicos en 2004 aumentaría a 3,817 hectómetros cúbicos para 2030.

La oferta de agua tiene una elasticidad muy pequeña, lo cual representa una barrera infranqueable. La opción que se vislumbra para su aumento es el reuso de agua, misma que tiene antecedentes en otras ciudades del mundo y resulta ser la más barata, al tiempo que permite una gestión sustentable del agua. El aumento en el reuso del agua a un ritmo mayor al crecimiento de la población es imprescindible para que disminuya la presión sobre la extracción de agua de primer uso, principalmente en lo que se refiere a la extrema presión que enfrentan los acuíferos. Esta medida es necesaria e impostergable, dadas las restricciones en la existencia de este recurso; para lograrlo se requiere de la participación del gobierno, el

sector privado y los usuarios de todo tipo en aras de no enfrentar una crisis de agua en el futuro inmediato que tendría un efecto grave para la población y para los mismos sectores económicos.

La nueva política hídrica debe considerar realizar cambios en los factores que determinan el nivel de la demanda del agua, de tal forma que tanto las empresas, como el comercio, los servicios y los hogares hagan un uso eficiente del recurso y que la población modifique sus hábitos en su uso. Simultáneamente, las empresas deberán adoptar nuevas tecnologías para producir con menos agua y se requiere que los servicios de los hogares también se ajusten a los nuevos equipamientos ahorradores de agua. Es necesario, pues, aplicar instrumentos económicos tales como el manejo de tarifas, así como brindar una mayor información y educación a la población de la ciudad de México.

La política hídrica que se aplica hasta la fecha busca disminuir la brecha entre demanda y oferta de agua en el AMVM, aumentando la oferta a partir de la sobreexplotación de los cuerpos de agua y de la importación del recurso y, en menor medida, por la vía del reuso de agua. Estas medidas han sido políticamente convenientes, puesto que no generan conflictos entre las partes involucradas. Sin embargo, posponen el momento de enfrentar los límites absolutos de la oferta como se deduce del escenario proyectado de la extracción de agua en la cuenca del Valle de México para 2030, que alcanza un valor increíblemente alto en su índice de presión de 226 por ciento.

Los aumentos de la oferta de agua no pueden continuar, simplemente porque el agua del subsuelo se encuentra a profundidades que no sería conveniente extraer sin menoscabo de daños ambientales irreparables, o porque no existe más agua que extraer, o porque los costos de extracción de agua son elevados, o los costos de transportación son prohibitivos, o porque los portadores de derechos ya no quieren desviar agua de su jurisdicción hacia el AMVM. Ante esto, los gobiernos parecen presentar una mayor disposición a aplicar una política hídrica que se concentre en una práctica dirigida a la administración de la demanda.

Hoy por hoy, el comportamiento de los usuarios en el AMVM no refleja su conocimiento en torno a la gravedad que supone la escasez del agua; el gobierno y los organismos operadores no han mandado las señales adecuadas a los usuarios que incentive un uso eficiente del agua, tal como un ajuste a las tarifas del recurso que refleje el verdadero nivel de escasez. Una gestión sostenible y sustentable del agua requiere de inversiones urgentes para la promoción de la recolección de agua de lluvia, el desarrollo y mantenimiento de la infraestructura y la rehabilitación del ecosistema. Y de manera central, hace falta una política que ajuste la demanda del agua al abastecimiento que puede proporcionar la cuenca del Valle de México.

La provisión de los servicios de abastecimiento y del saneamiento de agua en forma eficiente, equitativa y oportuna requiere de una extraordinaria mejora en gestión y de inversiones muy cuantiosas, mismas que no se pueden alcanzar con las actuales condiciones. La política hídrica debe cambiar radicalmente, no es posible continuar con una política de inversión tan elevada para transportar agua de fuentes cada vez más distantes y costosas, con serias adversidades económicas, ambientales y sociales, en las regiones de exportación y tasas más altas del hundimiento de la tierra en el AMVM debido a los retiros cada vez mayores del agua subterránea.

La gestión actual del agua debe ser sustentable, integral, eficiente, incluyente y equitativa. La gestión sustentable busca aprovechar el recurso de modo que se logre el crecimiento económico y la equidad social, con respeto al medio ambiente. La gestión integral relaciona los aspectos físicos con los institucionales, con los económicos y de participación social. La gestión eficiente aspira a lograr una mayor productividad del agua. La gestión incluyente y equitativa promueve la participación social en la toma de decisiones y la vía de la negociación entre usuarios en conflicto, de modo que se logre el mayor beneficio para los habitantes de una cuenca.

## APÉNDICE

POBLACIÓN EN LA SUBREGIÓN VALLE DE MÉXICO\*  
Y SU ÁREA METROPOLITANA, 1990-2005

Zona	1990	2000	2005	TCPA***	TCPA***
				(1990-2000)	(2000-2005)
				%	%
Subregión Valle					
de México	15'939,758	18'876,377	19'868,279	1.71	0.51
Distrito Federal	8'235,744	8'605,239	8'720,916	0.44	0.13
Estado de México	7'225,426	9'658,794	10'453,726	2.95	0.79
Hidalgo	426,847	548,904	624,465	2.55	1.30
Tlaxcala	51,741	63,440	69,172	2.06	0.87
Área Metropolitana					
del Valle de México**	15'162,488	17'844,649	18'620,763	1.64	0.43
Distrito Federal	8'235,744	8'605,239	8'720,916	0.44	0.13
Estado de México	6'926,744	9'239,410	9'899,847	2.92	0.69

\* De acuerdo con la clasificación de la Conagua. *Diario Oficial de la Federación*, octubre de 2000.

\*\* Incluye las 16 delegaciones del Distrito Federal y 35 municipios del estado de México considerados parte del Área Metropolitana del Valle de México.

\*\*\* Tasa de crecimiento promedio anual.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del *XI Censo General de Población y Vivienda, 1990*, INEGI; *XII Censo General de Población y Vivienda, 2000*, INEGI y de *II Censo de Población y Vivienda 2005*, INEGI.

En los siguientes cuadros se incluyen todos los municipios que forman parte de la subregión del Valle de México, equivalente a la cuenca del Valle de México. Los municipios señalados con un asterisco conforman el Área Metropolitana del Valle de México.

**POBLACIÓN DE LA SUBREGIÓN VALLE DE MÉXICO  
Y DE SU ÁREA METROPOLITANA POR MUNICIPIO, 1990-2005**

<i>Distrito Federal</i>	<i>Población por año</i>		
<i>Delegaciones</i>	<i>1990</i>	<i>2000</i>	<i>2005</i>
Azcapotzalco*	474,688	441,008	425,298
Coyoacán*	640,066	640,423	628,063
Cuajimalpa de Morelos*	119,669	151,222	173,625
Gustavo A. Madero*	1'268,068	1'235,542	1'193,161
Iztacalco*	448,322	411,321	395,025
Iztapalapa*	1'490,499	1'773,343	1'820,888
Magdalena Contreras*	195,041	222,050	228,927
Milpa Alta*	63,654	96,773	115,895
Álvaro Obregón*	642,753	687,020	706,567
Tláhuac*	206,700	302,790	344,106
Tlalpan*	484,866	581,781	607,545
Xochimilco*	271,151	369,787	404,458
Benito Juárez*	407,811	360,478	355,017
Cuauhtémoc*	595,960	516,255	521,348
Miguel Hidalgo*	406,868	352,640	353,534
Venustiano Carranza*	519,629	462,806	447,459
Total	8'235,744	8'605,239	8'720,916

\*Delegaciones consideradas dentro del Área Metropolitana del Valle de México.

Fuente: *Censos de Población XI y XII y Censo 2005*, INEGI.

<i>Hidalgo</i>	<i>Población por año</i>		
	<i>1990</i>	<i>2000</i>	<i>2005</i>
<i>Municipios</i>			
Almoloya	8,973	10,218	10,638
Apan	35,572	39,329	39,247
Emiliano Zapata	11,567	12,253	12,309
Epazoyucan	9,302	11,014	11,522
Mineral de la Reforma	20,820	41,631	68,704
Mineral del Monte	13,043	12,821	11,944
Pachuca de Soto	180,630	243,932	275,578
Singuilucan	12,201	13,233	13,143
Tepeapulco	47,214	49,327	49,850
Tizayuca	30,293	46,024	56,573
Tlanalapa	9,051	9,779	8,662
Tolcayuca	8,011	11,285	11,746
Villa de Tezontepec	7,394	8,926	10,723
Zapotlán de Juárez	11,481	14,840	16,493
Zempoala	21,295	24,292	27,333
Total	426,847	548,904	624,465

Fuente: *Censos de Población XI y XII y Censo 2005*, INEGI.

<i>Tlaxcala</i>	<i>Población por año</i>		
	<i>1990</i>	<i>2000</i>	<i>2005</i>
<i>Municipios</i>			
Benito Juárez**	–	4,729	5,157
Calpulalpan	29,150	37,169	40,790
Nanacamilpa de Mariano Arista	12,837	14,605	15,672
Sanctórum de Lázaro Cárdenas	9,754	6,937	7,553
Total	51,741	63,440	69,172

\*\* Este municipio pertenecía a Sanctórum de Lázaro Cárdenas. La población total del Valle de México no se altera.

Fuente: *Censos de Población XI y XII y Censo 2005*, INEGI.

<i>Estado de México</i>	<i>Población por año</i>		
	<i>1990</i>	<i>2000</i>	<i>2005</i>
<i>Municipios</i>			
Acolman*	43,276	61,250	77,035
Atenco*	21,219	34,435	42,739
Atizapán de Zaragoza*	315,192	467,886	472,526
Chalco*	282,940	217,972	257,403
Chiautla*	14,764	19,620	22,664
Chicoloapan*	57,306	77,579	170,035
Chiconcuac*	14,179	17,792	19,656
Chimalhuacán*	242,317	490,772	525,389
Coacalco de Berriozábal*	152,082	252,555	285,943
Coyotepec*	24,451	35,358	39,341
Cuautitlán*	48,858	75,836	110,345
Cuautitlán Izcalli*	326,750	453,298	498,021
Ecatepec de Morelos*	1'218,135	1'622,697	1'688,258
Huixquilucan*	131,926	193,468	224,042
Ixtapalaca*	137,357	297,570	429,033
Jaltenco*	22,803	31,629	26,359
La Paz*	134,782	212,694	232,546
Melchor Ocampo*	26,154	37,716	37,706
Naucalpan de Juárez*	786,551	858,711	821,442
Nextlalpan*	10,840	19,532	22,507
Nezahualcóyotl*	1'256,115	1'225,972	1'140,528
Nicolás Romero*	184,134	269,546	306,516
Papalotla*	2,387	3,469	3,766
Tecámac*	123,218	172,813	270,574
Teoloyucán*	41,964	66,556	73,696
Teotihuacán*	30,486	44,653	46,779
Tepetlaoxtoc*	16,120	22,729	25,507
Tepotztlán*	39,647	62,280	67,724
Texcoco*	140,368	204,102	209,308
Tezoyuca*	12,416	18,852	25,372
Tlalnepantla de Baz*	702,807	721,415	683,808
Tultepec*	47,323	93,277	110,145
Tultitlán*	246,464	432,141	472,867
Valle de Chalco Solidaridad**	–	323,461	332,279
Zumpango*	71,413	99,774	127,988
Amecameca	36,321	45,255	48,363
Axapusco	15,803	20,516	21,915
Ayapango	4,239	5,947	6,361
Cocotitlán	8,068	10,205	12,120
Huehuetoca	25,529	38,458	59,721
Isidro Fabela	5,190	8,168	8,788
Jilotzingo	9,011	15,086	13,825

*(Continuación)*

<i>Estado de México</i>	<i>Población por año</i>		
	<i>Municipios</i>	<i>1990</i>	<i>2000</i>
Nopaltepec	5,234	7,512	8,182
Otumba	21,834	29,097	29,889
San Martín de las Pirámides	13,563	19,694	21,511
Tecámac	123,218	172,813	270,574
Temamatla	5,366	8,840	10,135
Temascalapa	19,099	29,307	33,063
Tenango del Aire	6,207	8,486	9,432
Total	7'225,426	9'658,794	10'453,726
Área Metropolitana del Valle de México	6'926,744	9'239,410	9'899,847

\* Municipios considerados dentro del Área Metropolitana del Valle de México, incluyendo Valle de Chalco Solidaridad.

\*\* Este municipio pertenecía a Valle de Chalco. La población total del Valle de México no se altera.

Fuente: *Censos de Población XI y XII y Conteo 2005*, INEGI.

<i>Distrito Federal</i>	<i>Tasa de crecimiento media anual (%)</i>	
	<i>Delegaciones</i>	<i>1990-2000</i>
Azcapotzalco*	-0.73	-0.72
Coyoacán*	0.01	-0.39
Cuajimalpa de Morelos*	2.37	2.80
Gustavo A. Madero*	-0.26	-0.70
Iztacalco*	-0.86	-0.81
Iztapalapa*	1.75	0.53
Magdalena Contreras*	1.31	0.61
Milpa Alta*	4.28	3.67
Álvaro Obregón*	0.67	0.56
Tláhuac*	3.89	2.59
Tlalpan*	1.84	0.87
Xochimilco*	3.15	1.81
Benito Juárez*	-1.23	-0.30
Cuauhtémoc*	-1.43	0.20
Miguel Hidalgo*	-1.42	0.05
Venustiano Carranza*	-1.15	-0.67
Total	0.44	0.27

\*Delegaciones consideradas dentro del Área Metropolitana del Valle de México.

Fuente: *Censos de Población XI y XII y Conteo 2005*, INEGI.

<i>Hidalgo</i>	<i>Tasa de crecimiento media anual (%)</i>	
	<i>1990-2000</i>	<i>2000-2005</i>
<i>Municipios</i>		
Almoleya	1.31	0.81
Apan	1.01	-0.04
Emiliano Zapata	0.58	0.09
Epazoyucan	1.70	0.91
Mineral de la Reforma	7.18	10.54
Mineral del Monte	-0.17	-1.41
Pachuca de Soto	3.05	2.47
Singuilucan	0.82	-0.14
Tepeapulco	0.44	0.21
Tizayuca	4.27	4.21
Tlanalapa	0.78	-2.40
Tolcayuca	3.49	0.80
Villa de Tezontepec	1.90	3.74
Zapotlán de Juárez	2.60	2.13
Zempoala	1.33	2.39
Total	2.55	2.61

Fuente: *Censos de Población XI y XII y Conteo 2005*, INEGI.

<i>Tlaxcala</i>	<i>Tasa de crecimiento media anual (%)</i>	
	<i>1990-2000</i>	<i>2000-2005</i>
<i>Municipios</i>		
Benito Juárez*	-	1.75
Calpulalpan	2.46	1.88
Nanacamilpa de Mariano Arista	1.30	1.42
Sanctórum de Lázaro Cárdenas	-3.35	1.72
Total	2.06	1.75

\*Este municipio pertenecía a Sanctórum de Lázaro Cárdenas. La población total del Valle de México no se altera.

Fuente: *Censos de Población XI y XII y Conteo 2005*, INEGI.

<i>Estado de México</i>	<i>Tasa de crecimiento media anual (%)</i>	
	<i>Municipios</i>	<i>1990-2000</i>
Acolman*	3.53	4.69
Atenco*	4.96	4.42
Atizapán de Zaragoza*	4.03	0.20
Chalco*	-2.57	3.38
Chiautla*	2.88	2.93
Chicoloapan*	3.08	16.99
Chiconcuac*	2.30	2.01
Chimalhuacán*	7.31	1.37
Coacalco de Berriozábal*	5.20	2.51
Coyotepec*	3.76	2.16
Cuautitlán*	4.49	7.79
Cuautitlán Izcalli*	3.33	1.90
Ecatepec de Morelos*	2.91	0.80
Huixquilucan*	3.90	2.98
Ixtapaluca*	8.04	7.59
Jaltenco*	3.33	-3.58
La Paz*	4.67	1.80
Melchor Ocampo*	3.73	-0.01
Naucalpan de Juárez*	0.88	-0.88
Nextlalpan*	6.06	2.88
Nezahualcóyotl*	-0.24	-1.43
Nicolás Romero*	3.88	2.60
Papalotla*	3.81	1.66
Tecámac*	3.44	9.38
Teoloyucán*	4.72	2.06
Teotihuacán *	3.89	0.93
Tepetlaoxtoc*	3.50	2.33
Tepotzotlán*	4.62	1.69
Texcoco*	3.81	0.51
Tezoyuca*	4.26	6.12
Tlalnepantla de Baz*	0.26	-1.07
Tultepec*	7.02	3.38
Tultitlán*	5.78	1.82
Valle de Chalco Solidaridad**	-	0.54
Zumpango*	3.40	5.11
Amecameca	2.22	1.34
Axapusco	2.64	1.33
Ayapango	3.44	1.36
Cocotitlán	2.38	3.50
Huehuetoca	4.18	9.20
Isidro Fabela	4.64	1.47
Jilotzingo	5.29	-1.73

Estado de México	Tasa de crecimiento media anual (%)	
	Municipios	1990-2000
Nopaltepec	3.68	1.72
Otumba	2.91	0.54
San Martín de las Pirámides	3.80	1.78
Tecámac	3.44	9.38
Temamatla	5.12	2.77
Temascalapa	4.37	2.44
Tenango del Aire	3.18	2.14
Total	2.95	1.59
Área Metropolitana del Valle de México	2.92	1.39

\* Municipios considerados dentro del Área Metropolitana del Valle de México, incluyendo Valle de Chalco Solidaridad.

\*\* Este municipio pertenecía a Valle de Chalco. La población total del Valle de México no se altera. Fuente: *Censos de Población XI y XII y Censo 2005*, INEGI.

## BIBLIOGRAFÍA

- BACKHAUS, Jürgen, *The Quest for Ecological Tax Reform; A Schumpeterian Approach to Public Finance*, International J.A. Schumpeter Society Maastricht, 1995.
- BAUMOL, William J., *The Free-Market Innovation Machine*, Princeton and Oxford, Princeton University Press, 2002.
- \_\_\_\_\_ y Wallace E. Oates, *The Theory of Environmental Policy*, segunda edición, Cambridge, Mass., Cambridge University Press, 1995.
- BOWERS, John, *Sustainability and Environmental Economics*, Essex, Addison Wensley Longman Limited, 1977.
- FOSTER, S.S.D., P.J. Chilton, "Downstream of Downtown: Urban Wastewater as Groundwater Recharge", *Hidrogeology Journal* (12), 2004, pp. 115-120.
- FOSTER, Stephen, Adrian Lawrence y Brian Morris, *Las aguas subterráneas en el desarrollo urbano; evaluación de las necesidades de gestión y formulación de estrategias*, Washington, D.C., Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial, Documento Técnico del Banco Mundial, núm. 390, 1988.
- FREDERICK, Kenneth D., Tim VandenBerg y Jean Hanson, *Economic Values of Freshwater in the United States*, Discussion Paper 97-03, Washington, DC, Resources for the Future, 1996.

- FUJITA, Masahisa, Paul Krugman y Anthony J. Venables, *Cities, Regions and International Trade*, Cambridge, Mass., The MIT Press, 2001.
- GARZA, Gustavo, “La megalópolis de la ciudad de México en el ocaso del siglo XXI”, en Cecilia Rabell Romero y José Gómez León Cruces, *La población en México: tendencias y perspectivas sociodemográficas hacia el siglo XXI*, México, Consejo Nacional de Población y Fondo de Cultura Económica, 2001.
- HATTON McDONALD, Darla, *The Economics of Water: Taking Full Account of First Use, Reuse and Return to the Environment*, Australia, Scientific and Industrial Research, CSIRO Land and Water Client Report, A Report for the Australian Water Conservation and Reuse Reserch Program (AWCRPP), folio núm. S/03/1474, 2004.
- JACOBO VILLA, Marco Antonio y Elsa Saborío Fernández, *La gestión del agua en México: los retos para el desarrollo sustentable*, México, UAM, Miguel Ángel Porrúa, 2004.
- MEADOWS, Donella H., Dennis L. Meadows y Jorgen Randers, *Beyon the Limits; Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future*, Vermont, Chelsea Green Publishing Company Post Mills, 1992.
- OECD, “Water: Performance and Challenges in OECD Countries”, *Environmental Performance Reviews*, París, OECD, 2003.
- PEZZEY, John C.V., *Emission Taxes and Tradable Permits A Comparison of Views on Long Run Efficiency*, Camberra, Centre for Resource and Environmental Studies, 2002.
- PIGOU, Arthur Cecil, “The Economics of Welfare”, New Brunswick, EUA y Londres, Reino Unido, 2002.
- y Michael A. Toman, “Progress and Problems in the Economics of Sustainability”, en Tom Tietenberg y Henk Folmer (eds.), *International Yearbook of Environmental and Resource Economics*, Cheltenham, Reino Unido, Edward Elgar, 2002.
- , Michael A. Toman y Jeffrey Krautkraemer, “Neoclassical Economic Growth Theory and «Sustainability»”, en Danil W. Bromley (ed.), *The Handbook of Environmental Economics*, Oxford, Reino Unido, Blackwell, 1995.
- SÁINZ SANTAMARÍA, Jaime y Mariana Becerra Pérez), “Los conflictos por agua en México”, México, Instituto Nacional de Ecología, s/f, <http://ine.gob.mx>
- SAMPAT, Payal, “Deep Trouble: The Hidden Threat of Groundwater Pollution”, Washington, DC, Worldwatch Institute, 2000.

- SANTOS ZAVALA, José, “Acción pública organizada: el caso del servicio de agua potable en la zona conurbada de San Luis Potosí”, El Colegio de San Luis-Miguel Ángel Porrúa-UAM, 2004.
- THE WORLD BANK, “Water Resources Sector Strategy; Strategy Directions for World Bank Engagement”, Washington, DC, The World Bank, 2004.
- THOMPSON, Stephen A., “Water, Use, Management and Planning in the United States”, Nueva York, Academic Press, 1999.
- MORALES, J.A. y L. Rodríguez, “Perspectivas de seguridad nacional: el agua y la estructura industrial en México”, en R. Constantino (ed.), *Agua, seguridad nacional e instituciones. Conflictos y riesgos para el diseño de políticas públicas*, México, IILSEN-UAM, 2006, pp. 205-311.

### *Fuentes estadísticas*

- Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala, Conagua, México, 2004.
- Estadísticas del Agua, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*. Región XIII, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua, IV Foro Mundial del Agua, edición 2005, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, XI Censo General de Población y Vivienda, 1990, México, 1990.
- , *XII Censo General de Población y Vivienda*, 2000, México.
- , *II Conteo de Población y Vivienda 2005*, México.
- Ley de Aguas Nacionales de México*, H. Congreso de la Unión, Cámara de Diputados, Secretaría General, Secretaría de Servicios Parlamentarios Dirección General de Bibliotecas, Subdirección de Documentación Legislativa.
- Programa Hidráulico Regional 2002-2006*, Región XIII, Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala-Comisión Nacional del Agua, México, Conagua, 2003.
- Programa Nacional Hidráulico 2001-2006*/Comisión Nacional del Agua, México, Conagua, 2001.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, *Compendio del Agua 2004*. Gerencia Regional XIII, Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala.

Situación del Subsector Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento a diciembre de 2004. Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua, IV Foro Mundial del Agua, edición 2005, México.

*Fuentes electrónicas*

<http://www.planeta.com/ecotravel/mexico/ecologia/97/0897agua2.html>

## CAPÍTULO 2

AGUSTÍN FELIPE BREÑA PUYOL\*

### *La problemática del agua en zonas urbanas*

#### INTRODUCCIÓN

EN LAS grandes ciudades los servicios urbanos asociados con el abastecimiento del agua, el drenaje y el saneamiento presentan niveles de cobertura muy irregulares, debido al inadecuado manejo del agua. En el análisis, diseño, construcción y operación de las estructuras hidráulicas requeridas para desarrollar estos procesos, se da por sentado que actúan de forma independiente, sin tomar en cuenta que cada una de ellas es pieza clave para conformar un todo. En pequeñas localidades, la independencia entre los tres procesos señalados es aceptable, pero para las grandes ciudades hay que considerar la estrecha conexión que existe entre el abastecimiento, el drenaje y el saneamiento de las aguas residuales.

Por su parte, el esquema independiente se puede aplicar con resultados satisfactorios en localidades con un crecimiento urbano y poblacional equilibrado, pero en aquellas ciudades cuya población y expansión urbana crecen en forma acelerada, resulta ser incongruente e inoperante. En consecuencia, es necesario llevar a cabo un manejo integral del abastecimiento, drenaje y saneamiento, analizando la dependencia y los vínculos existentes entre los tres servicios.

\* Profesor-investigador en el Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa [bpaf@xanum.uam.mx].

Ahora bien, este capítulo sugiere un nuevo esquema que analice en forma integral el recurso agua en ciudades, con el propósito de detectar los problemas que inciden en los procesos de abastecimiento, drenaje y saneamiento, y a partir de sus resultados, plantear alternativas viables para estabilizar sus niveles de cobertura, correspondencia y funcionamiento.

El nuevo esquema, definido a partir de un “sistema hidrourbano”, se ha estructurado con el auxilio de los tres servicios básicos requeridos para llevar a cabo el manejo hidráulico del agua: redes de abastecimiento de agua potable, redes de drenaje urbano y plantas de tratamiento de aguas residuales.

Ahora bien, para aplicar el sistema hidrourbano se ha seleccionado un área de estudio conformada por la ciudad de México y su zona conurbada, denominada Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), que actualmente es considerada como una de las urbes más grandes y complejas en el ámbito mundial.

## URBANIZACIÓN Y POBLACIÓN URBANA

EL CRECIMIENTO acelerado de la urbanización y de la población urbana se ha traducido en el surgimiento de nuevas ciudades, y por consiguiente, en una gran demanda de servicios relacionados con las vías de comunicación, vivienda, drenaje, agua potable, saneamiento y algunos otros más.

En el ámbito mundial, la urbanización se ha incrementado en forma alarmante en los últimos 40 años por el desplazamiento de las personas hacia las ciudades, en particular en las regiones menos desarrolladas. Este proceso ha aumentado la población que vive en áreas urbanas, desde 33 por ciento en 1960 hasta 47 por ciento en 1999, con una población de 2,800 millones de personas para ese año. La población urbana del mundo está aumentando actualmente a razón de 60 millones de personas por año, cantidad tres veces superior al aumento de la población rural (UNFPA, 2003).

La creciente urbanización es resultado del aumento poblacional en las áreas urbanas y del continuo desplazamiento de per-

sonas desde las áreas rurales. Asimismo, esas fuerzas están estimulando la extensión de las áreas urbanas, ya que los asentamientos suburbanos se van incorporando paulatinamente a las ciudades.

En los países en desarrollo, la proporción de personas que viven en ciudades casi se ha duplicado desde 1960 (desde menos del 22 por ciento hasta más del 40 por ciento), mientras que en las regiones menos desarrolladas ha aumentado desde 61 hasta 76 por ciento. Hay una asociación sustancial entre los desplazamientos de la población desde el campo hacia la ciudad y la disminución en el tamaño medio de la familia.

De entre las regiones en desarrollo, Asia y África son las menos urbanizadas, con menos de 38 por ciento cada una. La región de América Latina y el Caribe es urbana en más de 75 por ciento, crecimiento casi igual al de Europa, América del Norte y Japón, cuyas proporciones oscilan entre 75 por ciento y 79 por ciento. De acuerdo con las proyecciones actuales, la urbanización seguirá aumentando hasta 2030 y se estima que vivirán en áreas urbanas aproximadamente 5,000 millones (61 por ciento) de los 8,100 millones de habitantes del mundo.

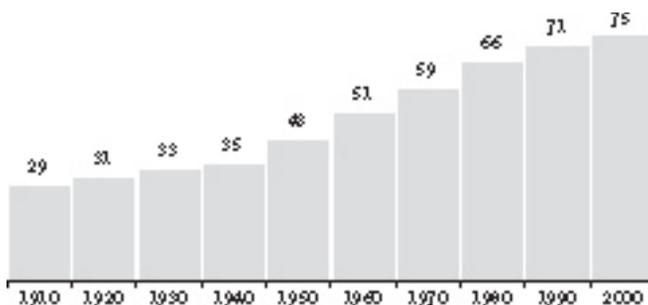
Asimismo, la migración desde las áreas rurales hacia las urbanas no tiene precedentes y conlleva grandes oportunidades y desafíos. Hay una importante relación positiva entre el incremento de la proporción de población urbana en América Latina y el crecimiento del producto interno bruto (PIB) por habitante en el periodo 1975-2000. Más aún, las economías de los países más urbanizados crecieron más rápidamente que las naciones menos urbanizadas. La productividad de las empresas y la mano de obra urbana es considerablemente mayor que la de sus equivalentes rurales.

En general, el estándar de vida de la población urbana es también mejor que el de los habitantes rurales, a consecuencia de las mejores oportunidades de trabajo, mayores ingresos y fácil acceso a servicios sociales y urbanos.

En México, por los problemas económicos en el sector agrícola y por los procesos de la emigración rural y la inmigración, la población urbana ha crecido y seguirá incrementándose en forma vertiginosa, tal como lo atestiguan los análisis realizados al respecto.

La gráfica 1 presenta los porcentajes estimados de población urbana en México para un periodo de 90 años (1910-2000) y de su análisis se deduce que durante este lapso dicha población se ha incrementado 42 por ciento; es decir en 1910 era de 29 por ciento, mientras que para 2000 fue de 75 por ciento (Conagua, 2004).

GRÁFICA 1  
POBLACIÓN URBANA EN MÉXICO, 1910-2000  
(Porcentajes)



Fuente: INEGI, *Censos generales de población y vivienda (1950, 1960, 1970, 1980, 1990 y 2000)*.

Además, estudios recientes llevados a cabo por el Consejo Nacional de Población (Conapo, 2003) sobre el crecimiento futuro de la población urbana y rural en México, han estimado que para 2025 el porcentaje de población urbana será de 80 por ciento.

Por su parte, la dinámica poblacional y los flujos migratorios han propiciado la dispersión y concentración de la población en localidades rurales y urbanas, a lo ancho y largo del territorio mexicano. El cuadro 1 presenta un resumen de las localidades urbanas y rurales en 2000, distribuidas según su tamaño en el país.

Los datos anteriores expresan la problemática que existe en México en relación con la concentración urbana de la población y su creciente dispersión rural en un gran número de localidades. En efecto, los informes indican que en las 3,041 localidades urbanas se concentra 75 por ciento de la población total de México, mientras que en las 196,350 localidades rurales únicamente se aglutina 25 por ciento.

CUADRO 1  
LOCALIDADES EN EL PAÍS SEGÚN SU TAMAÑO, 2000

<i>Tamaño de las localidades</i>	<i>Número de localidades</i>
Localidades con 50,000 o más habitantes	178
Localidades entre 2,500 y 49,999 habitantes	2,863
Total localidades urbanas	3,041
Localidades entre 100 y 2,499 habitantes	47,771
Localidades con menos de 100 habitantes	148,579
Total localidades rurales	196,350

Fuente: INEGI (2000).

En síntesis, se concluye que en 2000 había un total de 199,391 localidades –urbanas y rurales– y que para satisfacer sus necesidades es imprescindible tener acceso a los servicios que requieren los habitantes de una localidad.

Por ello, el sector agua tiene un gran reto para dotar los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento tanto a las localidades urbanas, como a las rurales.

#### SISTEMA HIDROURBANO

TRADICIONALMENTE, los servicios del abastecimiento, drenaje y saneamiento de una localidad urbana se han analizado y diseñado en forma independiente, sin contemplar sus interacciones y asociaciones. Si se analiza el comportamiento de los niveles de cobertura de los servicios básicos del recurso agua en las ciudades, se detectará que la cobertura más alta corresponde al agua potable, posteriormente al drenaje urbano y, finalmente, al saneamiento de las aguas residuales.

Ahora bien, en el manejo integral del agua en áreas urbanas los elementos del sistema hidrourbano están integrados por las redes de abastecimiento de agua potable y de drenaje urbano, por las plantas de tratamiento de las aguas residuales y por las interrelaciones que existen entre los tres componentes.

FIGURA I  
COMPONENTES DEL SISTEMA HIDROURBANO



Fuente: Elaboración propia.

La figura I indica, a partir de un esquema, la interconexión de los componentes del sistema hidrourbano.

El manejo integral del recurso agua para el abastecimiento, drenaje y saneamiento en áreas urbanas puede definirse como un proceso de control que el hombre ejerce sobre el flujo del agua, en cantidad, calidad, lugar y tiempo de ocurrencia durante el ciclo hidrológico.

Además, el manejo integral debe orientarse a maximizar en forma equilibrada los beneficios sociales, económicos y ambientales que se puedan obtener con el aprovechamiento del agua, así como a controlar los fenómenos y efectos adversos asociados con los usos del agua con el fin de proteger al hombre y al ambiente que lo sustenta.

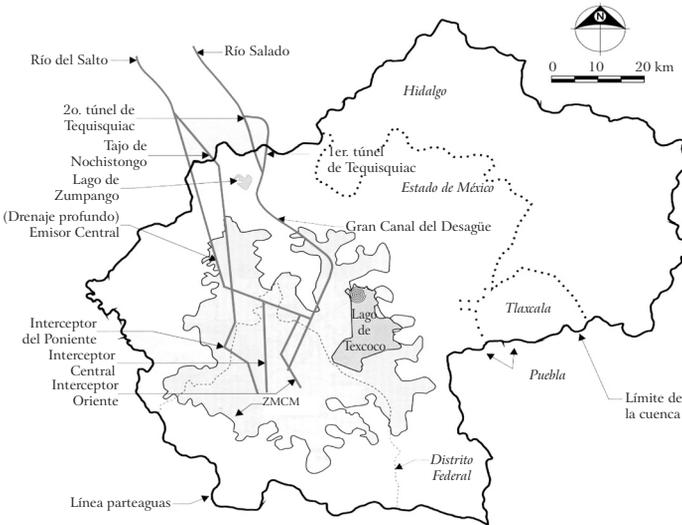
En general, el proceso de control del recurso agua es muy complejo, pues sus características están vinculadas con un origen físico natural, otro humano y un tercero de participación interdisciplinaria. En el primero se requiere controlar el ciclo de un elemento natural que ocurre en forma errática e irregular en tiempo y espacio; mientras que en el humano es necesario solucionar conflictos entre múltiples usuarios que dependen de un recurso compartido que asocia aspectos administrativos, jurídicos, normativos, ambientales y examina soluciones sobre los problemas asociados con

la calidad del agua y la sustentabilidad ambiental. En el tercero, es imperativa la participación interdisciplinaria de especialistas que estén involucrados con la calidad, cantidad y demás aspectos relacionados con el recurso agua.

ÁREA DE ANÁLISIS

EL ÁREA de análisis, que abarca la ZMCM se encuentra localizada, desde el punto de vista geográfico, en la Cuenca de México, ubicada en la parte sur de la Mesa Central, entre los paralelos 19° 03' 53" y 20° 11' 09" de latitud norte y los meridianos 98° 11' 53" y 99° 30' 24" de longitud oeste. La figura 2 señala esta ubicación geográfica.

FIGURA 2  
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA DE MÉXICO



Zona Metropolitana de la Ciudad de México

Fuente: V.E. Santoyo et al. (2005).

La extensión de la cuenca es de 9,600 kilómetros cuadrados y su superficie está constituida por porciones de diferente tamaño de los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y México, y por el área del Distrito Federal. Además, posee tres zonas típicas con características diferentes: la zona plana que corresponde al área impermeable de los antiguos lagos lacustres, la zona de lomeríos y la zona montañosa.

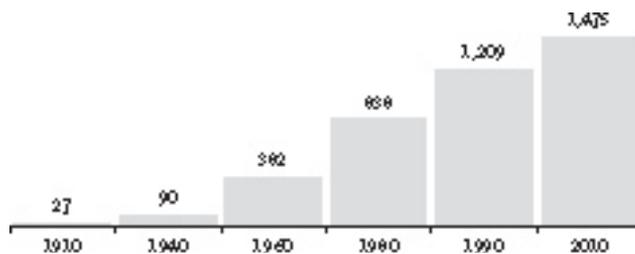
Respecto de su extensión territorial, el área urbana de la ZMCM, está conformada por 16 delegaciones políticas del Distrito Federal, 59 municipios del estado de México y un municipio de Hidalgo (DDF, 1997) y su magnitud ha evolucionado en forma vertiginosa en los últimos 100 años.

En 1910, la zona urbana tenía una superficie de 27 kilómetros cuadrados, y en 1960 aumentó a 382 kilómetros cuadrados; para 1990 el crecimiento de la zona urbana continua alcanzó un valor de 1,209 kilómetros cuadrados, mientras que para 2000 la cifra ascendió a 1,350.

Con la tendencia observada, se espera que la superficie de la mancha urbana alcance una magnitud de 1,475 kilómetros cuadrados para 2010.

En la gráfica 2 se observa, a partir de un diagrama de barras, la evolución del crecimiento del área urbana en la ZMCM durante un lapso de 100 años.

GRÁFICA 2  
EVOLUCIÓN DEL ÁREA URBANA DE LA ZMCM  
(Kilómetros cuadrados)

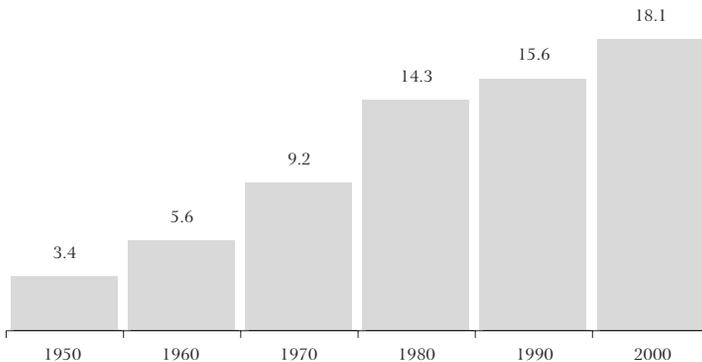


Fuente: DDF (1997).

Desde el punto de vista poblacional, la ZMCM ha presentado una dinámica de crecimiento de gran magnitud. En un lapso de 50 años (1950-2000) se ha incrementado 5.25 veces su número de habitantes (INEGI, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990 y 2000). En 1950, el área urbana reportaba un censo de 3'442,557 habitantes, mientras que 50 años después la población de la ZMCM era de 18'076,572 habitantes.

La gráfica 3 presenta, a partir de un diagrama de barras, el crecimiento poblacional de la ZMCM durante el periodo 1950-2000.

GRÁFICA 3  
CRECIMIENTO POBLACIONAL DE LA ZMCM  
(Millones de habitantes)



Fuente: INEGI, *Censos generales de población y vivienda (1950, 1960, 1970, 1980, 1990 y 2000)*.

En los últimos 50 años, los incrementos poblacionales por décadas han presentado una variación muy acentuada. En la década de 1980, por la ocurrencia de los terremotos de 1985, la población emigró a ciudades del interior de la República Mexicana, y se presentó el menor incremento de población, el cual fue de 1.3 millones de habitantes. No obstante, ya para los años noventa, el incremento poblacional casi se duplicó y llegó a ser de 2.5 millones de habitantes.

## DIAGNÓSTICO, BALANCE HIDROLÓGICO Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO AGUA

UN ASPECTO fundamental del sistema hidrourbano es la estimación de los volúmenes asociados con el diagnóstico, balance hidrológico y disponibilidad del recurso agua de la zona urbana de estudio. Con los resultados obtenidos, además de que se describirá la problemática del agua en la ZMCM, se propondrán alternativas viables para su posible solución.

### *Diagnóstico*

El diagnóstico del recurso agua en la ZMCM es vital, ya que proporciona los porcentajes de cobertura que tienen los habitantes en relación con el abastecimiento de agua, el drenaje urbano y el saneamiento de las aguas residuales. Además, con los porcentajes de cobertura de los tres servicios se podrá detectar cuál de ellos es el que presenta la deficiencia de mayor magnitud y asignar en el futuro prioridades en las inversiones para aumentar su nivel de cobertura.

Con el apoyo del estudio sobre el Diagnóstico de la Región XIII Valle de México y Sistema Cutzamala (Conagua, 2000), se determinó la magnitud de los porcentajes de los tres servicios.

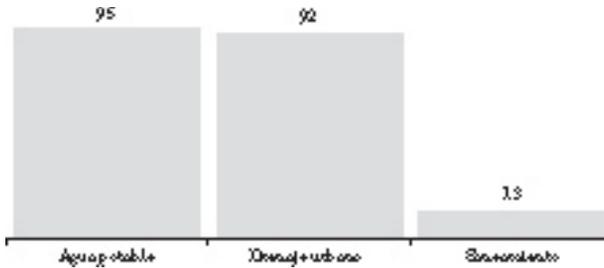
La gráfica 4 presenta los resultados obtenidos para 2000, y de su análisis se desprende que el servicio de saneamiento de las aguas residuales presenta un nivel de cobertura deficiente.

### *Balance hidrológico*

El objetivo del balance hidrológico, el cual se efectúa con los recursos hídricos disponibles en su ámbito geográfico, es calcular los volúmenes de precipitación, evaporación de los cuerpos de agua, evapotranspiración, recarga natural y escurrimiento virgen en la cuenca hidrológica donde se localiza la ZMCM.

Para tal estimación, se utilizaron valores medios anuales durante un periodo de 40 años (1960-1999).

GRÁFICA 4  
 COBERTURA DE AGUA POTABLE,  
 DRENAJE URBANO Y SANEAMIENTO  
 (Porcentajes)



Fuente: Conagua (2000).

Los resultados obtenidos indican que en la cuenca de México se tiene un volumen de lluvia medio anual de 6,646 hectómetros cúbicos ( $211 \text{ m}^3/\text{s}$ ), una evapotranspiración de 5,257 hectómetros cúbicos ( $167 \text{ m}^3/\text{s}$ ), una recarga de los acuíferos de 669 hectómetros cúbicos ( $22 \text{ m}^3/\text{s}$ ), una evaporación de los cuerpos de agua de 120 hectómetros cúbicos ( $4 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y un escurrimiento superficial virgen de 580 hectómetros cúbicos ( $18 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

En la cuenca hay una sobreexplotación de agua subterránea del 200 por ciento, ya que se extrae de los seis acuíferos un volumen de 2,071 hectómetros cúbicos ( $66 \text{ m}^3/\text{s}$ ), mientras que la recarga natural proveniente de la lluvia es de 669 hectómetros cúbicos ( $22 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Por su parte, en este mismo rubro, a lo largo del tiempo la extracción de agua subterránea ha experimentado un crecimiento vertiginoso: en 1870 comienza la extracción con dos metros cúbicos por segundo, posteriormente, en 1952, ya se extraían nueve metros cúbicos por segundo, mientras que en 2001 esta cantidad alcanzó un valor de 71 metros cúbicos por segundo.

Las tres fuentes que se utilizan para abastecer de agua potable a la ZMCM son los seis acuíferos ubicados en la cuenca de México, y la importación de agua proveniente de los Sistemas Lerma (agua subterránea) y del Sistema Cutzamala (agua superficial).

CUADRO 2  
VOLÚMENES PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE  
POR FUENTE DE SUMINISTRO, 2004

<i>Fuente</i>	<i>Volumen 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup></i>	<i>Gasto m<sup>3</sup>/s</i>	<i>Porcentaje</i>
Extracciones acuíferos	1,520	48	66
Cutzamala	623	20	27
Lerma	176	5	7
Total	2,319	73	100

Fuente: Conagua (2004).

El cuadro 2 indica la magnitud y distribución de los volúmenes de agua superficial y subterránea.

Otro aspecto relevante del balance hidrológico es el volumen total anual que no puede ser aprovechado para satisfacer las necesidades hídricas de los usuarios y que asciende a 2,391 millones de metros cúbicos (equivalentes a 75 m<sup>3</sup>/s). Dicho volumen proviene del escurrimiento superficial, el cual es de 580 hectómetros cúbicos (18 m<sup>3</sup>/s), de los retornos de agua residual equivalentes a 1,012 hectómetros cúbicos (32 m<sup>3</sup>/s) y de las fugas en las redes de abastecimiento de agua, mismas que son de 799 hectómetros cúbicos (25 m<sup>3</sup>/s).

Tales volúmenes no pueden ser aprovechados, debido a que geológicamente no hay áreas para almacenar los escurrimientos superficiales –originalmente se almacenaban en el sistema lacustre que fue drenado y secado para construir el área urbana de la ZMCM– ni plantas de tratamiento para sanear las descargas residuales y asignarlas a usos que no requieran de agua potable; además están las roturas que ocurren con frecuencia en las redes de agua potable por los hundimientos diferenciales.

En síntesis, el hombre ha producido una escasez artificial de agua en la cuenca de México por un manejo inadecuado e ineficiente. Esta situación se ha derivado del mal manejo de la cuenca que nos ocupa, así como de la falta de una planeación hidráulica de sus recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos.

### *Disponibilidad del recurso agua*

Uno de los instrumentos de mayor relevancia en la gestión integral del agua consiste en estimar la disponibilidad que se tiene de este recurso en las cuencas hidrológicas, ya que a partir de sus magnitudes se podrán establecer los niveles de escasez y/o abundancia, asignar equitativamente los requerimientos de los usuarios o bien llevar a cabo la planeación del recurso agua a corto, mediano o largo plazos.

Por su parte, la disponibilidad natural media de agua por habitante en un año es un indicador fundamental para evaluar la situación de los recursos hídricos de una cuenca hidrológica, y se considera que existe una escasez extrema (Falkenmark, 2003) cuando es menor a 1,000 metros cúbicos por habitante al año, valor que limita drásticamente las posibilidades de desarrollo.

La disponibilidad presenta una escasez crítica si su valor oscila entre 1,000 y 1,700 metros cúbicos por habitante al año, situación en la cual es necesario tomar medidas urgentes para preservar el recurso: se tienen disponibilidades bajas y medias si los valores oscilan entre 1,700 y 5,000 metros cúbicos por habitante al año y 5,000 y 10,000 metros cúbicos por habitante al año, y si las magnitudes son superiores a 10,000 metros cúbicos por habitante al año se tendrá una disponibilidad alta.

Las variables que intervienen en la estimación de disponibilidad natural media por habitante son: el volumen de precipitación que ocurre sobre el área de la cuenca hidrológica, la magnitud de la evaporación y la población que habita en su área de captación. De no existir cambios climáticos, la lluvia y la evaporación se manifiestan con las variaciones propias de su ocurrencia, mientras que la población que presenta un crecimiento de gran magnitud es la variable de mayor relevancia en la estimación de la disponibilidad del agua.

La disponibilidad natural media anual por habitante en México era de 11,500 metros cúbicos en 1955 y por el efecto del crecimiento demográfico disminuyó a 4,094 metros cúbicos en 2004; es decir, se presentó una disminución del 64 por ciento en un periodo

de 50 años. En 2020, con el aumento poblacional estimado por el Conapo (2003) y de continuar con los mismos esquemas de consumo y de desperdicio del recurso agua, la disponibilidad natural media por habitante será de 3,500 metros cúbicos.

El cuadro 3 presenta los resultados obtenidos en 2004 en las 13 regiones administrativas incluyendo la disponibilidad natural media per cápita, en metros cúbicos por habitante al año y el grado de disponibilidad del agua correspondiente. Además, señala los grados de disponibilidad del recurso agua, establecidos por Falkenmark (1993), en función de la variación de los valores de la disponibilidad natural media per cápita.

CUADRO 3  
DISPONIBILIDAD NATURAL MEDIA DE AGUA  
(Per cápita por región)

<i>Región administrativa</i>	<i>Disponibilidad natural media per cápita, m<sup>3</sup>/hab/año (2004)</i>	<i>Grado de disponibilidad del recurso agua</i>
I. Península de Baja California	1,318	Escasez crítica
II. Noroeste	3,210	Disponibilidad baja
III. Pacífico Norte	6,038	Disponibilidad media
IV. Balsas	2,703	Disponibilidad baja
V. Pacífico Sur	7,782	Disponibilidad media
VI. Río Bravo	1,356	Escasez crítica
VII. Cuencas Centrales del Norte	1,726	Disponibilidad baja
VIII. Lerma-Santiago-Pacífico	1,820	Disponibilidad baja
IX. Golfo Norte	4,820	Disponibilidad baja
X. Golfo Centro	10,574	Disponibilidad alta
XI. Frontera Sur	17,254	Disponibilidad alta
XII. Península de Yucatán	8,014	Disponibilidad media
XIII. Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	188	Escasez extrema
Total nacional	4,094	Disponibilidad baja

Fuente: Conagua (2004).

En fin, las perspectivas de los recursos hídricos en el país son muy preocupantes, ya que contrastan los 17,254 metros cúbicos por habitante al año disponibles en la región administrativa XI

Frontera Sur, con la escasez extrema de 188 metros cúbicos por habitante al año de la región administrativa XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala. De acuerdo con Falkenmark (2003), para un valor de 188 metros cúbicos por habitante al año la ZMCM tiene una escasez absoluta de agua y hay riesgos en el suministro a los diferentes grupos de usuarios, así como daño a los ecosistemas, situación esta última que ya ocurre.

Además, si se toma como punto de referencia la disponibilidad natural media por habitante en todo el país ( $4,094 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$ ), en la ZMCM se tiene una disponibilidad 22 veces menor en relación con el valor medio nacional.

## PROBLEMÁTICA DEL AGUA

LOS RESULTADOS del diagnóstico, balance y disponibilidad de los recursos hídricos en la cuenca hidrológica donde se ubica la ZMCM, han sido determinantes para la problemática que ocurre en la zona de análisis. A continuación, mencionaremos los elementos más relevantes de ello.

### *Abastecimiento de agua potable*

Uno de los problemas fundamentales de la ZMCM en relación con el abastecimiento de agua potable, es el de las limitaciones geográficas e hidrológicas de la Cuenca de México. En efecto, de acuerdo con los balances hídricos (Conagua, 2000) la cuenca no tiene disponibilidad hidrológica para satisfacer las demandas de agua potable que requiere una población de 18.1 millones de habitantes asentados en la zona conurbada.

Por ejemplo, si se considera un esquema sustentable, es decir usar solamente la recarga de los acuíferos, el volumen disponible para agua potable sería de 22 metros cúbicos por segundo y si se supone una dotación de 200 litros por habitantes al día únicamente se podrían satisfacer las necesidades hídricas de 9.5 millones de habitantes.

En otras palabras, existiría una población de 8.6 millones de habitantes ( $18.1 - 9.5 = 8.6$ ), diferencia entre la población total de la

ZMCM y la servida por el volumen de la recarga, cuyas necesidades hídricas se satisfacen con los volúmenes trasladados de los sistemas Lerma y Cutzamala y de la sobreexplotación de los acuíferos ubicados en la cuenca de México.

Asimismo, se detectó otro tipo de problemas asociados con los siguientes aspectos: un total de 905,000 personas no tienen agua potable en sus hogares, magnitud estimada con el porcentaje de cobertura al 2000; hay un déficit de seis metros cúbicos por segundo, situación que se manifiesta en tandeos frecuentes en la mayoría de las zonas habitacionales; las zonas más críticas con escasez de agua son las delegaciones y municipios más poblados de la ZMCM como Iztapalapa (1'773,342 habitantes), Ecatepec (1'622,697 habitantes), Nezahualcóyotl (1'225,972 habitantes) y Gustavo A. Madero (1'235,542 habitantes).

También se manifestaron las siguientes anomalías: las fugas en las redes de abastecimiento son del orden del 35 por ciento; la infraestructura hidráulica es obsoleta debido a la falta de mantenimiento adecuado; en algunas zonas del oriente es común la mala calidad del agua; el costo del metro cúbico proveniente del Sistema Cutzamala es de 10 pesos y en el Distrito Federal se paga en promedio a dos pesos; en algunas zonas el abastecimiento de agua se realiza con pipas, con una higiene deficiente, y no hay equidad en el abastecimiento de agua a la población.

### *Drenaje urbano*

El drenaje urbano de la ZMCM ha presentado a lo largo del tiempo innumerables problemas, derivados de su localización geográfica y de las características del entorno hidrológico que prevalece en la cuenca de México.

En su mayor extensión, la zona urbana se encuentra asentada en el lecho impermeable y de poca pendiente de los depósitos lacustres que existieron en la cuenca de México, y que al paso del tiempo se les construyeron cuatro salidas artificiales para drenar los escurrimientos producidos por las lluvias.

Ahora bien, llevar a cabo el desagüe de una zona impermeable y de pendiente nula es tarea difícil; se requiere de colectores de

grandes diámetros o bien de sistemas de bombeo eficientes y con mantenimiento continuo, aspectos no contemplados en la actualidad en la zona plana que se ha urbanizado y que sufre de inundaciones periódicas.

Por su parte, en 2000, había en la ZMCM una población que ascendía a 1.45 millones de personas que no tenían drenaje en sus hogares y que vertían sus descargas directamente a los cauces de los ríos, barrancas e inclusive a las calles. Además, no existen datos sobre los volúmenes que se pierden por las fugas en las redes de drenaje; no obstante, de acuerdo con lo que sucede con las redes de agua potable, este valor debe ser muy significativo.

En relación con el Sistema Principal de Drenaje constituido por el Río de la Compañía, Drenaje Profundo, Gran Canal del Desagüe, Interceptor del Poniente y otros más, es preciso contar con una vigilancia y mantenimiento minuciosos, ya que una falla podría acarrear efectos catastróficos.

Además, día a día, en las zonas urbanas de la ZMCM, se incrementan los hundimientos del subsuelo que se drenan por bombeo y requieren de un sistema eficiente de desagüe. Por este tipo de proceso, la operación y el mantenimiento del drenaje es muy costoso y la población no paga por este servicio. Para tener una idea de la magnitud de las estructuras requeridas para el drenaje por bombeo, en el Distrito Federal hay 87 plantas de bombeo urbanas para desalojar 670 metros cúbicos por segundo y 91 plantas de bombeo en pasos de desnivel para desalojar 16 metros cúbicos por segundo.

### *Saneamiento de aguas residuales*

El saneamiento de las aguas residuales es un servicio con graves carencias, ya que solamente se depura 13 por ciento de las descargas que vierten los usuarios del agua a las redes de alcantarillado. Asimismo, grandes niveles de contaminación ocurren por estas descargas, ya que tienen un recorrido de 513 kilómetros, desde la ZMCM hasta el golfo de México, y en su trayecto contaminan flora y fauna, producción agrícola, asentamientos humanos y aguas superficiales y subterráneas.

Además, afectan la calidad de la disponibilidad del agua superficial y subterránea en las cuencas hidrológicas aledañas por donde se desplazan las descargas residuales sin tratamiento alguno.

La depuración de las aguas residuales es un servicio que no pagamos los usuarios domésticos. Sin embargo, es urgente aplicar cuotas o tarifas para su saneamiento, ya que en las casas-habitación recibimos agua limpia y retornamos agua con diferentes grados de contaminación.

La infraestructura hidráulica necesaria para el saneamiento de las descargas residuales está constituida por la red de alcantarillado y por las plantas de tratamiento. La cobertura del alcantarillado era del 92 por ciento en 2000 y había 161 plantas de tratamiento municipales y privadas. No obstante, la eficiencia de estas plantas alcanzaba tan sólo un valor de 52 por ciento, lo cual pone de manifiesto la falta de experiencia y capacidad técnica para llevar a cabo el proceso de saneamiento.

El abastecimiento de agua potable, drenaje urbano y saneamiento son servicios muy costosos, ya que en 1994 se gastaban por energía eléctrica en los equipos de bombeo, 4 millones de dólares diarios.

### *Inundaciones*

Las inundaciones en las zonas urbanas de la ZMCM se han presentado desde la época prehispánica hasta nuestros días, con características diferentes. La extensión de las áreas afectadas y su duración decreció a partir de la construcción y puesta en funcionamiento del Tajo de Nochistongo, Gran Canal del Desagüe y Sistema de Drenaje Profundo.

No obstante, las inundaciones persisten, en especial en aquellas áreas con mayor riesgo como barrancas, superficies planas con drenaje deficiente, pasos a desnivel, las cuales son zonas de subsidencia que se drenan por bombeo o zonas aledañas a conductos que sufren desbordamientos frecuente, como el Río de la Compañía y algunos otros más.

Otro factor fundamental que incide en la ocurrencia de las inundaciones es la subsidencia del subsuelo o los hundimientos

diferenciales, que se presentan por la sobreexplotación de los acuíferos y que, a lo largo del tiempo, en algunas áreas urbanizadas han producido depresiones donde se almacena el agua y para cuyo desagüe se requiere de bombeo.

### *Hundimientos diferenciales*

Los hundimientos diferenciales en la ZMCM son provocados por la sobreexplotación de los acuíferos y, en menor proporción, por el peso de las grandes construcciones. Estudios realizados al respecto señalan que, por la sobreexplotación de los mantos acuíferos, la zona del centro del Distrito Federal presentó en el periodo 1900-1950 los hundimientos medios anuales descritos a continuación: cinco centímetros durante 1900-1936 y 18 centímetros en el intervalo de 1938-1950.

Posteriormente, a partir de la segunda mitad del siglo xx, al aumentar la demanda de agua se inició la perforación acelerada de pozos profundos en los seis acuíferos de la cuenca de México y los hundimientos diferenciales se incrementaron en forma acelerada. En esta fase, aparecieron hundimientos regionales en las zonas aledañas donde se localizan los acuíferos y durante el lapso 1950-1980, los hundimientos alcanzaron valores de 30 a 50 centímetros, y, después, en algunas áreas muy localizadas, han superado los 100 centímetros.

Actualmente los hundimientos de mayor magnitud se localizan en las áreas donde se ubican los acuíferos sobreexplotados: Chalco-Amecameca (27 por ciento); ZMCM (297 por ciento); Cuautitlán-Pachuca (33 por ciento), y Texcoco (47 por ciento).

Las localidades donde se han detectado los hundimientos diferenciales de mayor valor son: Distrito Federal, Cuautitlán, Teoloyucan, San Vicente Chicoloapan, Tultitlán, Ecatepec, Tizayuca, Tepotzotlán, Coacalco, Zumpango, Chalco, Amecameca y Tláhuac.

Asimismo, una manifestación adicional de la extracción excesiva de agua subterránea son las grietas y fracturas del terreno en zonas urbanizadas, tal como ocurrió recientemente en una calle del poblado de Tláhuac, Distrito Federal.

## CONCLUSIONES

AL APLICAR el esquema sobre el manejo integral del recurso agua en la ZMCM, se ha detectado una problemática asociada con el abastecimiento de agua, el drenaje urbano, el saneamiento de las aguas residuales, las inundaciones y los hundimientos diferenciales, así como la presencia de un desequilibrio entre los tres servicios, debido a una administración independiente e inadecuada de cada uno de ellos, y a que las grandes ciudades requieren de procesos de gestión del recurso agua diferentes a los que se aplican actualmente.

En una etapa posterior, es necesario proponer soluciones viables para lo que se requiere de un grupo interdisciplinario de especialistas con conocimientos teóricos y prácticos de la problemática global detectada en la ZMCM, ya que ésta presenta una gama de características asociadas con diferentes disciplinas y ciencias.

Es importante señalar que una de las manifestaciones en la ZMCM es el deterioro del medio ambiente, producido por el alto índice de contaminación de las descargas residuales, producto de una cobertura del 13 por ciento.

El manejo de los recursos hídricos en las áreas urbanas en forma parcial ha originado un conjunto de situaciones críticas, ya que los desequilibrios entre los tres procesos básicos son notorios y día a día se incrementan. En nuestro país se han identificado un total de 33 ciudades con problemas graves de abastecimiento de agua potable, drenaje urbano y saneamiento, las cuales demandan soluciones inmediatas para no desembocar en conflictos violentos a causa de los recursos naturales.

Además, los conflictos sobre la disponibilidad del agua superficial y subterránea se han incrementado por la gestión inadecuada del recurso agua, la carencia de una planeación integral y, en especial, por el desequilibrio entre la población y la capacidad hídrica de las cuencas hidrológicas para satisfacer las demandas de agua. Para solucionar estos problemas es necesario un nuevo enfoque que aborde la problemática del recurso agua desde una perspectiva integral.

Finalmente, el área de análisis presenta una vulnerabilidad en la disponibilidad del agua y es urgente poner en práctica medidas drásticas en los consumos para evitar un colapso en el corto o mediano plazo y asegurar su supervivencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA), "Diagnóstico de la Región XIII Valle de México", caps.1-10, Gerencia de Aguas del Valle de México (Gravamex), Subgerencia de Planeación Hidráulica, México, 2000.
- (2004), *Estadísticas del agua en México*, México, Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA).
- CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN (CONAPO), *Proyecciones de Población 2000-2030*, México, 2003.
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL (DDF), *Plan Maestro de Drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: 1994-2010*, México, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, 1997.
- FALKENMARK, M., "Water Scarcity: Time for Realism", *Populi*, 20 (6), 2003, pp. 11-12.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI) (1950, 1960, 1970, 1980, 1990), *Censo General de Población y Vivienda de 1950 (VII) a 1990 (XI)*, México.
- , *Censo General de Población y Vivienda de 2000*, México, 2000.
- SANTOYO, V.E. et al., *Síntesis geotécnica de la cuenca del Valle de México*, México, TGC Geotecnia, S.A. de C.V., 2005.
- UNFPA, *Estado de la población mundial 2003*, Nueva York, División de Población de las Naciones Unidas, 2003.

Segunda parte

*Políticas para ajustar  
la demanda doméstica  
e industrial del agua*

## CAPÍTULO 3

PETRA J.G.J. HELLEGERS\*

### *La importancia de conocer el valor del agua de riego*

#### INTRODUCCIÓN

DURANTE la década de 1990 se manifestó un gran interés acerca de la importancia de la utilización del valor del agua; sin embargo, no siempre está claro cómo se puede obtener el valor del agua de riego ni el tipo de decisiones que se pueden tomar a partir de él. El objetivo principal de este capítulo es, por tanto, dar una idea acerca de las formas para determinar el valor de agua de riego y la relevancia que supone, en términos generales, la valoración del agua.

Pero antes de pasar de lleno al tema que nos ocupa, resulta importante definir cuidadosamente algunos términos, ya que frecuentemente existe confusión en los ámbitos operacionales y de política acerca del significado de vocablos como costos, precios y valor del agua de riego.

El precio del agua de riego es el precio marginal del agua, es decir, el pago adicional por unidad de agua recibida. A menudo, para los sistemas basados en cosechas –o por áreas– el precio marginal es cero, y una vez que el agricultor ha decidido iniciar el riego, no hay incentivo alguno para ahorrar agua.

\* Investigadora titular, LEI-Wagenigen UR. Este capítulo fue escrito como parte del proyecto Water Valuation and Pricing, financiado por Partners for Water Programme del gobierno holandés. Los editores agradecen la colaboración del doctor Juan Carlos Altamirano Cabrera, quien hizo posible su traducción [petra.helleger@wur.nl].

Los costos del agua de riego son todos aquellos en los que incurre el proveedor del agua, e incluyen costos de operación, mantenimiento y reemplazo de las instalaciones; costos de capital en la forma de cargos por amortización, y costo por la recolección de cuotas por los servicios de riego (Perry, 2004).

El agua de riego puede tener un valor económico, social y ambiental. El primero se refiere a la noción de “demanda”, y puede basarse, entre otros criterios, en la producción neta adicional, como resultado de la utilización del agua por el usuario actual. Asimismo, en lugar de una medición directa de la disponibilidad marginal a pagar por el agua, se puede usar el concepto de costo de oportunidad: los costos de oportunidad son los máximos beneficios que podrían obtenerse por algún uso alternativo del recurso. Los valores sociales involucran elementos como la equidad, la seguridad en el abasto de alimentos, los precios asequibles al consumidor, el alivio de la pobreza y el desarrollo rural. Los valores ambientales se enfocan en el valor del agua de riego como requerimiento esencial de los ecosistemas. El valor social y ambiental del agua de riego ha sido explorado con menos detalle que el valor económico, pero es posible incluirlos mediante la estimación de su valor monetario con el método de valoración contingente.

El precio y el costo del agua pueden, en principio, ser observados directamente o a partir de información financiera como, por ejemplo, la que aparece en los documentos del proyecto. El valor del agua, en contraste, debe de ser estimado a menudo, ya que es rara la ocasión en la cual los agricultores compran el agua bajo condiciones competitivas de mercado, las cuales involucran a otros sectores económicos. Sin embargo, existen algunas experiencias con transacciones relacionadas con el agua bajo precios de mercado observables y a partir de dichas transacciones es posible derivar un valor del agua.

#### IMPORTANCIA DE LA VALORACIÓN DEL AGUA

LA DETERMINACIÓN del valor del agua puede servir para los siguientes propósitos:

1. Dar una idea acerca del valor del agua es esencial para analizar las implicaciones de su distribución entre los usuarios, de acuerdo con un análisis de ponderación de alternativas, el cual tiene implicaciones financieras, económicas y ambientales, tanto para los usuarios directos del agua como para la sociedad en general. Todo lo anterior sirve como apoyo para las decisiones de política con respecto a la distribución del agua entre los usuarios en el mismo sector o región. Cuando el agua es escasa, las decisiones sobre la distribución deben tomar en cuenta la utilidad que tiene para cada usuario, los costos por los servicios de provisión y los beneficios a los que renuncian aquellos usuarios que no tienen acceso al agua. Por tanto, el agua se tiene que distribuir a aquel usuario que tenga el más alto valor neto del agua (los beneficios menos los costos de provisión deben exceder los beneficios a los que se renuncia menos los costos de provisión). A menudo existen diferencias significativas en el valor del agua para los distintos usuarios, como se muestra en el cuadro 1.

#### CUADRO 1

##### VALORES ECONÓMICOS MARGINALES DEL AGUA PARA DISTINTOS USUARIOS EN EL RÍO COLUMBIA

---

Los valores económicos marginales del agua en la rívera del río Columbia son altos para los usos industriales ( $\$0.0008-1.0/\text{m}^3$ ) y municipales ( $\$0.03-0.3/\text{m}^3$ ); para la agricultura tienen un rango de  $\$0.002-0.16/\text{m}^3$ ; para la recreación ( $\$0.006-0.10/\text{m}^3$ ); generación hidroeléctrica ( $\$0.003-0.05/\text{m}^3$ ), y para la navegación ( $\$0.0045/\text{m}^3$ ) son mucho menores. Es importante notar que sólo los valores económicos están considerados en estas cifras y que éstas serán distintas si se incluyen los valores ambientales y sociales. Las diferencias en los valores muestran los beneficios potenciales de transferir agua entre los distintos usos que se le da: los beneficios reales de las transferencias dependerán de la cantidad de agua transferida y de los costos de transacción asociados. Sin embargo, la transferencia de una cantidad relativamente pequeña de agua de la agricultura hacia la industria puede hacer que su valor disminuya hasta una cantidad equivalente a los costos de oportunidad en la agricultura.

---

Fuente: NRC (2004).

2. Provee, asimismo, una idea de la respuesta de los usuarios a los procedimientos alternativos de distribución. Ayuda a los encargados del diseño de políticas a entender en qué medida poner un precio al agua es útil en la práctica, y para qué propósitos puede servir como, por ejemplo, administración de la demanda y la recuperación de costos (véase cuadro 2). Dar una idea acerca del valor del agua sirve para mostrar en qué medida la distribución y el uso del agua pueden ser guiados por las fuerzas del mercado o si se requiere de un manejo extra para servir a los objetivos sociales. Con frecuencia, cuando existen objetivos múltiples o posibles efectos a terceras partes, se hace necesaria la intervención pública.

CUADRO 2  
EL IMPACTO DEL PRECIO DEL AGUA  
EN SU DEMANDA

---

Cuando el valor del agua es sustancialmente mayor que su precio volumétrico (lo cual ocurre con mucha frecuencia), se requerirá de un aumento importante en el precio del agua para equilibrar la oferta y la demanda. Esto podría no ser políticamente factible, ya que en el ingreso de las granjas tiene un efecto adverso. Cuando un exceso de agua es recuperado en alguna otra parte del sistema a partir de la captación o el reuso, el incremento en el precio generará un ingreso, pero tendrá un impacto menor en el consumo.

---

Fuente: Hellegers y Perry (2004).

3. La valoración del agua puede justificar también las decisiones acerca del desarrollo de ésta como recurso. Al comparar los costos y beneficios del riego, es posible obtener una idea acerca de la rentabilidad de esta actividad. Dicha información puede, por ejemplo, servir de apoyo para las decisiones de inversión en sistemas de rehabilitación para el agua de riego, tal como se hizo en Ucrania, donde actualmente el agua no es escasa (véase cuadro 3).

CUADRO 3  
REHABILITACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO  
EN UCRAANIA

---

Después del colapso de la Unión Soviética en 1991, las actividades de riego se vieron en dificultades por la desaparición de los mercados agrícolas, pues el lento proceso de privatización se tradujo en el anquilosamiento del equipo. En la actual economía de mercado en Ucrania, la rentabilidad de la agricultura de riego, incluso en aquellas partes remotas donde el agua tiene que ser transportada grandes distancias antes de que llegue a los campos, se estima por medio del análisis de costo-beneficio.

---

Fuente: Zhovtonog *et al.* (2004).

4. Es posible tener una idea acerca de la viabilidad del costo de recuperación comparando el precio pagado por los usuarios del riego con los costos de la provisión del agua de riego (Banco Mundial, 2005). Es importante saber quiénes obtienen provecho del riego. Los consumidores, por ejemplo, se benefician del agua de riego al tener precios más bajos en los alimentos, lo cual puede justificar parcialmente la recuperación de costos en la agricultura. La agricultura de riego también puede apoyar al desarrollo económico en las áreas rurales, mediante la creación de fuentes de trabajo y el apoyo a las industrias agroalimenticias en aquellas áreas que, de otra forma, llegarían a estar deshabitadas. Esto explica por qué el gobierno frecuentemente cubre parte de los costos del riego.

FORMAS PARA CALCULAR  
EL VALOR DEL AGUA DE RIEGO

EL VALOR del agua puede obtenerse a partir de los precios observables que prevalecen en los mercados de agua existentes o en las transacciones de bancos de agua donde ésta es redistribuida de los usos con valores bajos hacia los usos con valores altos (asumiendo que no existen fallas de mercado). El término mercado de agua se refiere a la transferencia permanente –o temporal– de un derecho

de agua o un título de contrato para el uso del agua. El término banco de agua se refiere a bancos de almacenaje de aguas superficiales (véase cuadro 4). Pero también se refiere al mecanismo formal para facilitar intercambios voluntarios del uso del agua bajo los derechos existentes.

Debido a que estos mecanismos de mercado raramente se llevan a cabo, el valor del agua a menudo debe ser estimado. Históricamente, en Occidente el agua ha sido distribuida primordialmente de acuerdo con la doctrina de la apropiación originaria, y no por los mecanismos del mercado. No han existido, entonces, precios de mercado a partir de los cuales se pudiera determinar el valor del agua.

#### CUADRO 4

##### LOS VALORES ESTIMADOS SON CONSISTENTES CON LOS VALORES OBSERVADOS EN LAS TRANSACCIONES DE LOS BANCOS DE AGUA

---

Los patrones observados en el valor del agua en transacciones reales en bancos de agua en California, Oregon y Washington son, por lo general, consistentes con aquellos sugeridos por la teoría económica y los datos –existen valores altos del agua para mezclas de cosechas con alto valor–, al tiempo que confirman los valores estimados en la literatura económica. Los valores estimados –de acuerdo con varios métodos de valoración económica– se encuentran apoyados por experiencias reales con transacciones de bancos de agua en el oeste de Estados Unidos. Dentro del Banco de Agua de California, creado entre 1998 y 1999 para aliviar la escasez debido a las sequías, los precios de equilibrio para las transferencias de agua entre los usuarios del riego fueron aproximadamente de \$0.06/m<sup>3</sup>.

---

Fuente: NRC (2004).

Una posibilidad para estimar el valor del agua de riego es comparar la situación con y sin riego. El valor marginal neto de la producción del agua de riego puede basarse en la diferencia entre los beneficios menos los costos de producción de la cosecha en tierras de riego y de temporal, dividido entre la cantidad de agua consumida. Cuando no sea posible comparar la situación con y sin riego, el valor del agua de riego se puede estimar con técnicas que atribuyen un valor al comparar los gastos totales asociados con la producción

de una cosecha con el ingreso recibido por la venta de la misma (véase cuadro 5). El valor residual puede, sin embargo, incluir también otros valores, como la rentabilidad del manejo de la granja y de la tierra.

Es claro que las estimaciones del valor del agua pueden estar influidas por varios factores. Éstos incluyen las técnicas de medición empleadas, la naturaleza de los datos usados, y los supuestos hechos en la estimación. Los valores del agua basados en el agua utilizada en un campo pueden, por ejemplo, ser menores que aquellos basados en el agua consumida por la cosecha. Los aspectos espaciales y temporales del uso del agua también afectan su valor (NRC, 2004). El agua es, por ejemplo, menos escasa durante la temporada de lluvias que durante el estío, y es consecuentemente más probable que su valor sea menor durante la primera. El valor del agua de riego es una demanda colateral que depende de la demanda —el valor— de la cosecha al ser vendida (NRC, 2004). El valor marginal del agua no sólo depende del valor de la cosecha, sino también de la cantidad de agua utilizada y la naturaleza de la relación entre el cultivo cosechado y el uso del agua: a medida que se utiliza más agua, generalmente el efecto en la cosecha empieza a declinar. Asimismo, los agricultores probablemente planten menos cultivos de alto valor si no existe un abastecimiento continuo del agua, lo cual significa que el valor también depende de la certeza de la oferta de agua.

#### CUADRO 5

#### VALORES PROMEDIO DEL AGUA DE RIEGO DESVIADA, EN CINCO CASOS DE ESTUDIO

---

El valor promedio del agua de riego en Crimea, Ucrania, se estima comparando la situación con y sin riego y es de \$0.11/m<sup>3</sup>. En otras áreas de estudio, el valor promedio del agua de riego se deriva a partir de la diferencia entre los ingresos y los costos asignados y es de \$0.08/m<sup>3</sup> en Kemry, Egipto, \$0.10/m<sup>3</sup> en Tadla, Marruecos, y \$0.04/m<sup>3</sup> tanto en Harvana, India, como en Brantas, Indonesia.

---

Fuente: Hellegers y Perry (2004).

## CONCLUSIONES

A PESAR de que existe gran interés en la importancia que supone determinar el valor del agua de riego, no siempre es claro cómo éste puede ser estimado y para qué propósitos puede servir. El objetivo principal de este capítulo es, por tanto, proveer una idea acerca de la importancia de la valoración del agua y de las formas en las cuales se puede determinar el valor del agua.

Se necesita tener una idea acerca del valor del agua para poder analizar las implicaciones de su distribución entre los usuarios. De esta manera se reconoce que el uso del agua tiene costos de oportunidad y que a menudo éstos pueden no ser guiados por las fuerzas del mercado o por los usuarios históricos, ricos o poderosos. La valoración del agua es una herramienta analítica importante para entender cómo su uso puede ser controlado e influido. Finalmente, también es necesaria para justificar las decisiones acerca del desarrollo del agua como recurso y para dar una idea respecto de la viabilidad del costo de recuperación.

El valor del agua a menudo debe de ser estimado, ya que los agricultores rara vez acceden a ella en condiciones competitivas de mercado que involucren a otros sectores. Los esfuerzos para valorar el agua para usos agrícolas, con frecuencia dependen de técnicas que atribuyen un valor mediante la comparación de los gastos totales asociados con la producción de un cultivo y los ingresos recibidos por la venta del mismo.

Existen, sin embargo, algunas experiencias reales con bancos de agua y transacciones de mercado para el agua con precios de mercado observables; a partir de estos precios es posible derivar el valor del agua. Los valores del agua observados en transacciones reales en los bancos de agua son generalmente consistentes con aquellos valores estimados en la literatura económica.

El valor del agua puede derivarse también a partir de los costos de oportunidad de las decisiones reales de política, las cuales reflejan una preferencia implícita de los valores de la sociedad para distribuir el agua a partir de prioridades políticas ya definidas.

## BIBLIOGRAFÍA

- BANCO MUNDIAL, *Agricultural Water Issues and Approaches. Shaping the Future of Irrigated and Rainfed Agriculture: An Investment Sourcebook on Agricultural Water Management*, 2005.
- HELLEGERS, P.J.G.J. y C.J. Perry, "Water as an Economic Good in Irrigated Agriculture: Theory and Practice", *Report 3.04.12*, La Haya, LEI Wageningen UR, 2004.
- NATIONAL ACADEMIES PRESS (NRC), *Managing the Columbia River: Instream Flows, Water Withdrawals, and Salmon Survival*, Washington, DC, 2004.
- PERRY, C.J., "Pricing, Charging and Recovering for Irrigation Services. Investment Note 0104", *Agricultural Water Issues and Approaches Shaping the Future of Irrigated and Rainfed Agriculture: an Investment Sourcebook on Agricultural Water Management*, Washington, Banco Mundial, 2004.
- RODGERS, J. y P. Hellegers, "Water Pricing and Valuation in Indonesia: Case Study of the Brantas River Basin", IFPRI-EPTD, *Discussion Paper*, 2004.
- ZHOVTONOG, O, V. Polishuk, L. Filipenko, Y. Grin, V. Korunencko y V. Pisarenko, *Irrigation Management at Farm-level in the Ukraine*, 2004.

ARJAN RUIJS\*

*Demanda de agua en Sao Paulo:  
los efectos de las políticas de precios por bloque  
en la demanda y la equidad*

INTRODUCCIÓN

EN EL MUNDO, la escasez de agua amenaza el abasto a los centros urbanos. En muchas ciudades, los mantos acuíferos o las riveras más próximas se encuentran sobreexplotados. En otras, el agua debe ser transportada desde áreas rurales remotas, lo cual resulta en una competencia entre los usuarios rurales y urbanos del agua. Además, las pérdidas en los sistemas de entubado son a menudo importantes, la eficiencia de las compañías de agua es baja, los sistemas de drenaje no funcionan o no son suficientes para purificar toda el agua residual, etcétera.

Se espera, entonces, que los cambios previstos como resultado de las transformaciones climáticas sólo empeoren la situación. Este es el caso, especialmente, en muchos países cuya precipitación muy probablemente se vuelva más volátil debido a los mayores excedentes de temporal y a los periodos de escasez que se avecinan. En áreas metropolitanas de crecimiento rápido, las compañías de agua experimentan dificultades para estar a la par de la tasa de urbanización (Lundqvist *et al.*, 2005). Por ejemplo, en el Distrito Federal, la población ha crecido radicalmente durante las décadas

\* Grupo de Economía Ambiental y Recursos Naturales. Universidad de Wageningen, P.O. Box 8130, 6700 EW, Wageningen, Países Bajos [arjan.ruijs@wur.nl]. Quisiera agradecer a Aneliese Zimmermann, Marrit van den Berg, Ao Zhou y Ekko van Ierland por su contribución a este artículo.

Los coordinadores agradecen la colaboración del doctor Juan Carlos Altamirano Cabrera, quien hizo posible la traducción de este capítulo.

recientes, en una magnitud aproximada de 18 millones. Como resultado, la sobreexplotación de los mantos acuíferos ha tomado formas dramáticas. Una gran parte del agua proviene de fuera del área metropolitana, pero la realidad política y las restricciones físicas hacen que el aumento en la importación del líquido de otras cuencas se vuelva difícil y costoso. Algunos sitios de la ciudad no están conectados a la red de distribución urbana de agua, y la gente tiene que comprar agua a vendedores locales. La mayor parte de las viviendas cuentan con medidores, y con ayuda de éstos se hace el cobro por el uso de agua. Sin embargo, en las áreas más pobres de la ciudad, que están conectadas al sistema de distribución, la gente paga una cuota fija de conexión, ya que su consumo es considerado demasiado bajo como para justificar los costos de instalación de medidores. Aunque la tasa de usuarios morosos es alta, éstos difícilmente son desconectados del sistema, porque la ley estipula que todos tienen derecho al suministro de agua. El agua potable se encuentra costosamente subsidiada y, más aún, el suministro actual es menor que la demanda. Debido a esto último, el agua tiene que ser racionada de vez en cuando.

De forma similar, la Región Metropolitana Brasileña de Sao Paulo (RMBSP), la cual tiene una extensión comparable a la de la ciudad de México, sufre de escasez de agua casi cada año. La Secretaría de Energía, Recursos Hídricos y Sanidad (SABESP por sus siglas en portugués) de la RMBSP, tiene que racionar la distribución de agua. Sólo 40 por ciento del suministro de agua proviene de una cuenca dentro de la RMBSP. El resto procede de cuencas vecinas. Casi 50 por ciento de la población del estado de Sao Paulo vive dentro de la RMBSP, pero sólo ocupa 2.7 por ciento de su territorio. En Brasil, los recursos hídricos son considerados bienes públicos. El Estado, entonces, se responsabiliza de su manejo, limpieza y mantenimiento. Se han establecido comités para las cuencas de los ríos en los cuales los representantes del Estado, las ciudades, y las municipalidades, así como participantes de la sociedad civil, deciden acerca de los precios, gastos y distribución de los derechos de uso del agua (Jacobi, 2004; Lundqvist *et al.*, 2005). Actualmente, la SABESP aplica un sistema progresivo por

bloques en cinco niveles. En éste, los precios por un consumo que exceda los 10 metros cúbicos por conexión por mes se incrementan escalonadamente. El cargo por los primeros 10 metros cúbicos, sin embargo, es fijo. En este nivel de consumo, comparativamente, el precio por metro cúbico es considerablemente mayor que en los otros bloques. Este sistema *asegura* un estándar mínimo de ingresos para la SABESP, pero puede actuar en detrimento de los pobres, cuyo consumo es bajo. De acuerdo con Walker *et al.* (2000), un sistema de precios similar se usa en muchas otras ciudades de América Latina.

En este artículo se discuten los efectos de diversas políticas para la demanda de agua. Se pone énfasis en el análisis de los efectos de las políticas de precios para el agua, en la demanda y en la equidad. Se estiman funciones de demanda con base en datos mensuales de consumo de agua, precios, ingresos, tamaño de la población, precipitación, temperatura y racionamiento de agua por parte de la RMBSP. En Ruijs *et al.* (2005), se estudiaron los efectos de las políticas del precio del agua en la RMBSP en la equidad con base en una función lineal de demanda. Se concluyó que el actual sistema de precios resultaba de una importante desigualdad entre pobres y ricos.

En el presente artículo, los efectos de los precios serán estudiados para tres tipos de especificaciones de la demanda. Con este enfoque, se evitan algunos problemas asociados con la estimación de funciones de demanda a partir de datos. Uno de éstos es que, si sólo se dispone de datos agregados, el rango de los niveles de ingreso y precios para los cuales se puede estimar una función es pequeño. Así, las estimaciones de la demanda para los grupos altos y bajos de ingreso y para niveles altos de precios pueden estar sesgadas. Una comparación entre las funciones alternativas de la demanda puede mostrar un panorama matizado de los efectos en la equidad. A esto se aúna el problema de que las elasticidades de precio e ingreso de la demanda dependen en gran medida de la forma funcional elegida. Se puede mejorar la confiabilidad del análisis de distintos escenarios a partir de la estimación de los

coeficientes para los tres tipos distintos de funciones de demanda. Los resultados y nociones obtenidos a partir de dicho análisis pueden ser aplicados a otros centros urbanos en países en desarrollo.

La contribución de este artículo radica en su enfoque respecto de los efectos en la equidad de las políticas de precios para el agua. Aunque los sistemas de precio por bloque son asumidos como benéficos, especialmente para los pobres, sus efectos en la situación financiera de las compañías de agua pueden ser negativos. No obstante, sistemas financieramente más sustentables podrían actuar en detrimento de la equidad o en la demanda individual de agua. Se pueden obtener conclusiones mejor fundadas mediante la aplicación de tres diferentes tipos de funciones de demanda. A pesar de que existen varios estudios acerca de la estimación de elasticidades de precio e ingreso de la demanda de agua (véanse, para un resumen sobre el tema, Espey *et al.*, 1997; Arbués *et al.*, 2003, y Dalhuisen *et al.*, 2003, entre otros) y de que los esquemas de precio del agua son considerados por muchos autores como un medio importante para lograr su conservación (Azevedo y Baltar, 2005; García, 2005), los efectos de las políticas de precios en la equidad raramente son analizados y la mayor parte de los autores basan sus decisiones sólo en estimaciones de una función de demanda.

Strand y Walker (2005) concluyen, a partir de un estudio en 17 ciudades de Centroamérica, que para los hogares conectados y no conectados a la red de agua potable existen grandes diferencias en los precios pagados, la demanda de agua y la respuesta a los precios. Se ha observado que las diferencias en el consumo relacionadas con el ingreso son pequeñas, la distribución de los subsidios a los precios entre los quintiles de ingreso son prácticamente iguales y la progresividad en el sistema de subsidio es baja, en el sentido de que los pobres no son más favorecidos que los ricos (Walker *et al.*, 2000). Los incrementos en los precios afectan más a los pobres que a los ricos, excepto cuando muchos hogares pobres todavía no se encuentran conectados. En tales situaciones, las inversiones en infraestructura para el agua que usen los ingresos recaudados a partir de los incrementos en el precio ayudarían sustancialmente a los pobres. Sin embargo, una desventaja

de los precios por bloque es su efecto negativo en el bienestar (véanse por ejemplo, Rietveld *et al.*, 2000 para el caso de Indonesia y Hajispyrou *et al.*, 2002 para el caso de Chipre). Un sistema no discriminatorio de precios remueve las distorsiones en el precio, pero para los hogares de bajos ingresos puede resultar en una situación en la cual los pagos por agua representan una parte importante de sus ingresos. Los sistemas de precios por bloque pueden prevenir esto, aunque a costa de una potencial pérdida en el bienestar. La evidencia empírica en los países occidentales muestra que los efectos en la equidad de los esquemas de precios por bloque son ambiguos (Hajispyrou *et al.*, 2002).

En este capítulo se discute el potencial de las políticas de demanda de agua mediante la comparación de datos del uso residencial de agua para varios países. En el segundo apartado se plantean brevemente los aspectos metodológicos de las funciones de demanda de agua. En el tercero se presentan los datos y las estimaciones de las funciones de demanda de agua. En el cuarto apartado se realiza un análisis de escenarios para lo cual se estudia (para tres diferentes funciones de demanda) en qué medida los cambios en los precios afectan a la demanda y la equidad. El artículo finaliza con algunas conclusiones acerca de los efectos de las políticas analizadas.

## POLÍTICAS DE DEMANDA DE AGUA

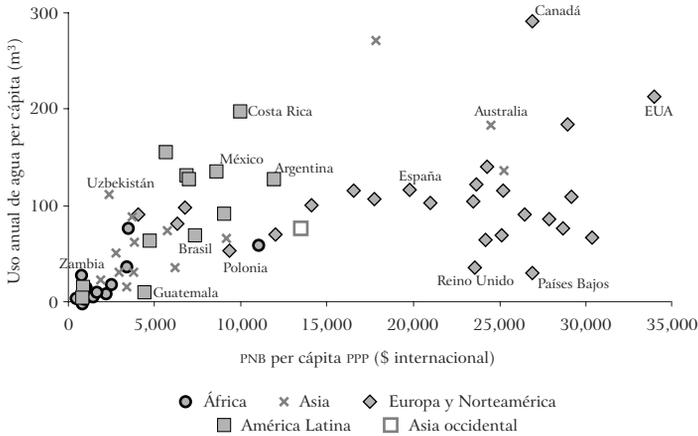
EN TÉRMINOS simples, para equilibrar la demanda y la oferta de agua en situaciones donde hay escasez se debe aumentar la oferta o reducir la demanda. Tradicionalmente, las autoridades son más proclives a adoptar políticas por el lado de la oferta, ya que éstas son, en muchos casos, las soluciones más factibles en términos políticos y prácticos. Sin embargo, debido al incremento en la escasez real del agua o a los costos excesivos para aumentar la capacidad de oferta, las autoridades son cada vez más conscientes de las ganancias potenciales que podrían lograrse mediante la aplicación de políticas por el lado de la demanda. Estas últimas incluyen, además de aquellas para aumentar sólo la capacidad de bombeo, la reducción de fugas o el mejoramiento en el manejo de la compañía de

agua. En particular, la reducción de fugas es una política prominente ya que una baja inversión en el mantenimiento ha llevado a pérdidas cuantiosas, las cuales en ciertos casos pueden exceder al 30 o 40 por ciento. Aunque las fugas no representan pérdidas reales, ya que la mayor parte de estas últimas regresan a los depósitos acuíferos y pueden ser reutilizadas posteriormente, la reducción de las fugas resultará en una disminución considerable de los costos de purificación y bombeo.

Las políticas por el lado de la demanda son a menudo más sensibles que las de la oferta. Sin embargo, al comparar la demanda de agua en varios países, se ha llegado a la conclusión de que la reducción en esta última debe ser factible en un gran número de ellos. En la gráfica 1 y el cuadro A1 del apéndice se muestra la demanda de agua para varios países como función de su producto nacional bruto (PNB) per cápita corregido por las diferencias en la paridad de poder de compra. El consumo de agua en los países en desarrollo, en especial en los africanos, es en muchos casos, menor al consumo que se lleva a cabo en las naciones desarrolladas. Sin embargo, las diferencias en el consumo son grandes. Por ejemplo, el consumo residencial promedio en los Países Bajos es de 31 metros cúbicos anuales por persona, mientras que en Canadá es de 292 metros cúbicos. Además, los datos muestran que, en los países en desarrollo, el consumo de agua reacciona positivamente al crecimiento en el ingreso.

Para los países desarrollados, el panorama es menos claro. En los Países Bajos, las campañas para el ahorro de agua y de subsidio a aparatos para ahorrar agua han resultado en reducciones importantes en el consumo. En específico, el agua utilizada para el baño, el uso del inodoro y las lavadoras ha disminuido considerablemente durante las décadas recientes (MNP, 2005). Las campañas de información pueden aumentar la conciencia de los consumidores así como el uso racional del agua. No obstante, las desventajas de dichas campañas radican en que los resultados son difíciles de predecir y en que las campañas deben ser repetidas regularmente con el fin de asegurar cambios duraderos y de largo plazo en el comportamiento de la gente. Adicionalmente, el subsidio a aparatos

GRÁFICA 1  
 CONSUMO DE AGUA PER CÁPITA COMO FUNCIÓN  
 DEL PNB PER CÁPITA EN 2000



Fuente: UNEP (2005), World Bank (2003). Véase también el cuadro A1 en el apéndice.

que ahorran agua reduce su precio de compra y los hace más atractivos para los consumidores.

Además de las campañas de concientización y de los esquemas de subsidios mencionados, determinar un precio para el agua es una política importante por el lado de la demanda. En el pasado, diversos países han aplicado un sistema de cuotas fijas por conexión, en las cuales los gastos por concepto de agua son independientes de la cantidad utilizada. Muchos gobiernos consideraron al agua como un bien básico pero, debido a que no había una escasez real, el ahorro nunca fue promovido. Hoy en día, más y más países cambian de un sistema de cuotas fijas a un sistema de precios, basados en la cantidad consumida. Por ejemplo, bajo el Marco Directivo Europeo para el Agua (WFD por sus siglas en inglés) se ha acordado que para 2010 los países miembros de la Comunidad Europea deberán poner en práctica políticas de precio para el agua, con el fin de dar a los usuarios una señal para que éstos la usen más eficientemente (EC, 2000). El WFD fue un parteaguas importante en Europa, ya que el agua (especialmente la que se

utiliza para riego) estuvo altamente subsidiada en muchos países del Viejo Continente. La cuestión acerca del precio correcto para el agua ha sido discutida extensamente en la literatura. Muchos argumentan que el precio debía reflejar no sólo los costos financieros, como la distribución, la operación y los precios de mantenimiento, sino también los costos de oportunidad e inclusive los ambientales (véanse, por ejemplo, Renzetti, 2002; Rogers *et al.*, 2002; Briscoe, 2005). Si así sucediera, se transmitiría correctamente el valor real de la escasez del agua a partir de los precios, y sólo así los consumidores recibirían las señales correctas de estos precios y las tomarían como base para sus decisiones respecto del consumo de agua. Un precio en el cual no se reflejen propiamente las externalidades por el consumo de agua tampoco puede reflejar su verdadero valor. Algunos factores que complican la determinación del precio del agua radican en que ésta es considerada como un derecho humano básico (véanse, por ejemplo, Savenije, 2002; Meijerink y Ruijs, 2003) y que las propias características físicas del agua hacen que su valor verdadero dependa en mucho de la ubicación y el tiempo del consumo. Considerar todos estos efectos es prácticamente imposible.

Se pueden aplicar varios sistemas de precio para el agua. Primero, el más simple es el sistema no-discriminatorio de precios, en el cual, la tasa por unidad de agua es independiente de la cantidad de agua consumida. Segundo, los sistemas de precios por bloque, en los cuales el precio unitario del agua depende de la cantidad que se utiliza. Si se llega a un determinado monto, el precio unitario salta a un nivel mayor (o algunas veces a un nivel menor si se aplica un sistema regresivo de precios por bloque). Tercero, se pueden utilizar sistemas de precios para periodos pico. En su forma más extrema dichos sistemas dependen de la hora del día, puesto que los precios durante el día son mayores a los de la noche. Aunque estos sistemas no reducen significativamente la demanda, sí la distribuyen más equitativamente durante el día, lo cual resulta en una disminución potencial de la capacidad de bombeo y de purificación. En su forma más simple, los precios durante la época de estío pueden ser mayores a los de la época de lluvias

(véase por ejemplo, Renzetti, 1992). Una desventaja de sistemas más complicados que los mencionados anteriormente, es el incremento en los costos de administración.

#### ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DEMANDA DE AGUA

EN ESTE apartado, antes de evaluar la demanda de agua en la RMBSP, se discuten algunos elementos generales acerca de la estimación de la demanda de agua. Primero, se mencionan brevemente los factores que afectan a la demanda. Además, se discuten los problemas econométricos encontrados en la estimación de la demanda de agua, al tiempo que se explican las principales funciones de dicha demanda.

En décadas recientes, la demanda residencial de agua ha sido estimada en un sinnúmero de estudios. El cuadro A2 del apéndice muestra las elasticidades apreciadas en varios de ellos. Las elasticidades en el precio de la demanda varían usualmente entre  $-0.05$  y  $-0.075$ , mientras que las elasticidades ingreso fluctúan entre  $0.05$  y  $0.5$  en algunos estudios que dan estimaciones mayores a éstas. Además del precio y el ingreso, existen otros factores que afectan la demanda de agua como la precipitación, la temperatura, el tamaño del hogar, la distribución de edad, las características de la vivienda, la frecuencia de la facturación, el diseño de los cargos y el racionamiento del agua (véanse por ejemplo, Lyman, 1992; Hewitt y Hanemann, 1995; Renwick y Green, 2000). En general, el racionamiento reduce la demanda, ya que los consumidores están imposibilitados de usar el recurso. Sin embargo, este efecto es usualmente menor para los consumidores ricos que para los pobres, ya que los primeros pueden comprar equipos de almacenamiento (*e.g.* tanques de agua).

En este estudio, así como en muchos otros, se usan datos agregados para estimar las funciones de demanda ya que los datos desagregados o a nivel de hogar no están disponibles (véase por ejemplo, Hewitt y Hanemann, 1995). Durante la década de 1990, se escribió mucho acerca de los problemas econométricos, encon-

tradados al estimar funciones de demanda de agua (véase por ejemplo, Arbués *et al.*, 2003, para un resumen sobre el tema). En la literatura, a menudo se discuten dos importantes problemas econométricos: 1. el uso de precios marginales frente a los precios promedio en la estimación, y 2. el problema de simultaneidad entre los precios y la cantidad consumida. En un sistema de precios por bloque, los costos marginales difieren de los precios promedio. El problema es saber si el consumidor responde a los precios marginales, a los precios promedio o a los de periodos anteriores. Taylor (1975) fue uno de los primeros que habló sobre el uso de precios marginales en modelos de demanda. Este autor planteó que si la demanda se asume como dependiente de los precios marginales, el salto hacia otro bloque de consumo tiene un efecto ingreso. Nordin (1976) sugiere el uso de precios marginales y una “variable de diferencia” para representar el efecto ingreso. Dicha variable representa la diferencia entre los gastos del consumidor, si la demanda fuese cobrada a precios marginales y los gastos reales estuvieran basados en la estructura por bloques. El efecto de un aumento en la variable de diferencia se asume como de la misma magnitud que el efecto ingreso. Esto, sin embargo, no puede ser derivado de la evidencia empírica, en la cual, las variables de diferencia no son significativas o no tienen una magnitud adecuada (Billings y Agthe, 1980; Jones y Morís, 1984). Las razones por las que esto último sucede son que los consumidores no están informados adecuadamente, que las variables de diferencia sólo representan una fracción pequeña del ingreso de los hogares (Nieswiadomy y Molina, 1989) o que las estimaciones están sesgadas (Schefter y David, 1985). Debe notarse que cuando se usan precios marginales y variables de diferencia, la demanda dependerá de los precios marginales sólo en aquellos consumidores que se encuentran bien informados, puesto que muchos de ellos no conocen siquiera su bloque de consumo y precio marginal, sino que responden a un cambio particular en los precios promedio (Billings y Agthe, 1980; Bachrach y Vaughan, 1994).

Por esa razón, Opaluch (1982, 1984) propone un modelo que mida los precios promedio y los precios marginales por separado,

con el fin de detectar a cuál de ellos responden los consumidores. Para cada caso se debe determinar la elección más adecuada (Chicoine y Ramamurthy, 1986). Adicionalmente al problema de la elección de los precios, surge un conflicto de simultaneidad ya que los precios marginales y los precios promedio se determinan endógenamente por la cantidad demandada, lo cual resulta en variables explicatorias y en términos de error correlacionados. En este caso, la estimación por OLS puede estar sesgada y ser inconsistente, lo cual requeriría de técnicas de variables instrumentales (VI). Los estudios de Jones y Morris (1984), Chicoine y Ramamurthy (1986) y Saleth y Dinar (2000), sin embargo, muestran que las técnicas de OLS y VI dan resultados similares para las funciones de demanda de agua, por lo cual las VI no son necesarias. Nieswiadomy y Molina (1988), no obstante, encuentran estimadores OLS sesgados. Entonces, antes de escoger una técnica de estimación para el análisis, primero se debe estudiar la posible existencia de simultaneidad.

En la literatura, en general, se usan tres tipos de funciones de demanda de agua. Primero, la función lineal de demanda, la cual se deriva de una función cuadrática de utilidad, y tiene la siguiente forma:

$$y = \alpha + \beta \cdot p + \gamma \cdot I + \delta X \quad (1)$$

donde  $y$  es la demanda de agua,  $p$  el precio del agua,  $I$  el ingreso,  $X$  un vector de otras variables incluidas,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  son parámetros y  $\delta$  es un vector de coeficientes. Esta función tiene la ventaja de que es fácil de estimar (véanse por ejemplo, Al-Quanibet y Johnston, 1985; Ruijs *et al.*, 2005). Una desventaja de esta función es que el efecto en la demanda de un cambio en el precio es el mismo a cualquier nivel de precio (Arbués *et al.*, 2003). Sin embargo, existe evidencia empírica de que hay una baja sensibilidad a los cambios en el precio para niveles bajos de precios (Billings y Day, 1989). Segundo, la función log-log tiene la siguiente forma:

$$y = \alpha \cdot p^{\beta} \cdot X^{\delta} \equiv \log(y) = \log(\alpha) + \beta \log(p) + \gamma \log(I) + \delta \log(X) \quad (2)$$

Esta función tiene la ventaja de que produce una estimación de las elasticidades. Su desventaja es que las elasticidades son independientes del precio y la cantidad consumidas (Williams, 1985; Dandy *et al.*, 1997; Nauges y Martínez-Espiñeira, 2001). Esto implica que la sensibilidad proporcional del uso de agua respecto de los cambios en el precio es la misma para precios altos y bajos (Arbués *et al.*, 2003). Tercero, en la función derivada a partir de una función de utilidad Stone-Geary se asume que incluso en niveles altos de precios subsiste una demanda mínima, la cual es independiente del precio (Al-Quanibet y Johnston, 1985; Gaudin *et al.*, 2001). La función de utilidad Stone-Geary tiene la forma siguiente:

$$U = \sum_{i=1}^n \beta_i \ln(y_i - \gamma_i), \sum_{i=1}^n \beta_i = 1 \quad (3)$$

donde  $\beta_i$  es la proporción marginal presupuestaria que se gasta en el bien  $i \in \{1, \dots, n\}$  y  $\gamma_i$  es el umbral mínimo de demanda para el bien  $i$ , la cual es independiente del precio. Dicho umbral puede depender de los hábitos de consumo (Nauges y Martínez-Espiñeira, 2001). Para una situación con dos bienes, *e.g.* agua y un bien compuesto, la función de demanda Stone-Geary tiene la siguiente forma:

$$y = \gamma + \beta \frac{I - p\gamma - p_c\gamma_c}{p} \quad (4)$$

donde  $p_c$  y  $\gamma_c$  son los umbrales del precio y la demanda mínima del bien compuesto, respectivamente. A menudo, el numerador  $I - p\gamma - p_c\gamma_c$  es llamado ingreso supernumerario, *i.e.* el ingreso que queda después de que los requerimientos mínimos son cumplidos. Los valores de  $\gamma$  y  $\gamma_c$  tienen que ser determinados de tal forma que el ingreso supernumerario sea positivo. Hasta ahora, este tipo de función de demanda ha sido raramente utilizada en la literatura sobre demanda de agua (Gaudin *et al.*, 2001; Nauges y Martínez-Espiñeira, 2001). La principal ventaja de esta función es que las elasticidades pueden aumentar con el precio y que

la función tiene un obvio significado económico. El consumo mínimo  $\gamma$  es un umbral debajo del cual mayores aumentos en el precio no tienen efecto en la demanda y la proporción marginal presupuestaria implica que el ingreso se distribuye entre los bienes en una proporción fija de acuerdo con el parámetro de preferencia  $\beta$ . Para esta función, la elasticidad precio de la demanda es igual a  $\beta(I - \gamma_c)/p\gamma$  y la elasticidad ingreso es  $\beta I/\rho\gamma$ . Gaudin *et al.* (2001), definen a la función de tal forma que los parámetros  $\beta$  y  $\gamma$  dependen linealmente de variables tales como el clima, el tamaño de la población y la precipitación.

La formulación de funciones de demanda depende del sistema de precio aplicado. En el caso de un sistema no discriminatorio de precios, donde existe un precio unitario fijo del agua, las funciones estimadas son similares a las discutidas en párrafos anteriores. Sin embargo, en un sistema de precios por bloque, incluir sólo el precio marginal en el cual se haya localizado el consumo, resultará en un estimador sesgado, ya que los gastos no representan el producto de los precios marginales por la cantidad total consumida, sino que son dependientes de la estructura del bloque de precios. A partir de la especificación de Nordin (1976), la demanda de función lineal puede ser formulada como:

$$y = \alpha + \beta \cdot p_n + \mu \cdot D_n + \gamma \cdot I + \delta X \quad (5)$$

donde  $p_n$  es el precio unitario en el bloque  $n$  y  $D_n$  es la variable de diferencia. Dicha variable considera la diferencia entre lo que el consumidor pagaría si la totalidad del consumo fuese cobrada al precio marginal y los gastos reales por el consumo de agua.

Por ejemplo, si el consumo se encuentra en el bloque  $n$  (para  $n > 1$ ), la variable de diferencia es:

$$D_n = \sum_{i=1}^{n-1} (p_{i+1} - p_i) \bar{y}_i \quad (6)$$

Donde  $\bar{y}_i$  es el nivel máximo de consumo en el bloque  $i$ . Debido a que  $D_n$  es un tipo implícito de ingreso adicional, a  $I^* = I + D_n$  se le llama también como ingreso virtual (Cavanagh *et al.*, 2002).

## LA DEMANDA DE AGUA EN LA RMBSB

PARA ESTIMAR las funciones de demanda de agua por mes en la RMBSB (véase también Ruijs *et al.*, 2005), se utilizaron datos de la demanda, los precios, la población, el ingreso, la temperatura, la precipitación y el racionamiento. En esta sección, primero se discuten brevemente los datos utilizados para estimar las funciones de demanda de agua. Subsecuentemente, se explican las estimaciones de tres funciones de demanda de agua y las de las elasticidades precio e ingreso de la demanda. Se presenta un resumen de los valores promedio de los datos en el cuadro A3 del apéndice. Los datos agregados de consumo por mes para el periodo 1996-2004 se obtuvieron de la SABESP de la RMBSB. Dichos datos se refieren al consumo total de las 39 municipalidades en las que la SABESP opera, lo cual cubre casi la totalidad de la RMBSB. Los datos revisten asimismo el consumo total, el consumo total residencial, el número de conexiones, y la periodicidad del racionamiento. Los informes anuales para la población se obtuvieron de la Fundación Estatal del Sistema de Análisis de Datos (SEADE por sus siglas en portugués) y fueron interpolados para desagregarlos en informes mensuales para la población. Los datos acerca de los precios del agua para cinco bloques de consumo de julio de 1997 a diciembre de 2004 fueron obtenidos de la SABESP. Los precios fueron deflactados utilizando el Índice de Precios Brasileño IPCA/IBGE. El primer bloque de precio cubre a los primeros 10 metros cúbicos de agua consumida mensualmente por conexión. Los precios del segundo al quinto bloque aumentan progresivamente, y el precio en el quinto es todavía menor al del primero. El tamaño de los bloques 2, 3, 4 y 5 son 11-20 metros cúbicos, 20-30 metros cúbicos, 30-50 metros cúbicos y mayores a 50 metros cúbicos mensuales por conexión, respectivamente. En promedio, cada conexión incluye a seis personas. El consumo promedio por conexión siempre se encuentra en el tercer bloque. Aunque se reconoce que los hogares individuales pueden ubicarse en diferentes bloques, cada uno con su respectivo precio marginal, el precio  $p_3$  es interpretado como el

precio marginal para todos los hogares. Los datos sobre el ingreso promedio para el periodo 1996-2003 en la RMBSP se obtuvieron del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (PNAD/IBGE). El ingreso es deflactado utilizando el índice de precios IPCA/IBGE. Con el fin de medir la preferencia por el agua, se incluyen también datos sobre la precipitación y la temperatura, provistos por el Instituto de la Atmósfera y Geografía (IAG). Se espera que una mayor precipitación o menores temperaturas resulten en menos demanda de agua, ya que disminuye para riego de jardines, lavandería, piscinas y duchas. Es necesario reconocer que las estimaciones podrían ser más precisas si estuviesen disponibles los datos acerca del consumo individual e ingreso. Desgraciadamente, para Sao Paulo no lo están.

A partir de los datos arriba mencionados se estimaron tres funciones de demanda de agua: una lineal, una log-log y una Stone-Geary. Las funciones lineal y log-log estimadas son (véanse también las expresiones (1) (2) y (5))

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 p_{3t} + \alpha_2 D_{3t} + \alpha_3 I_t + \alpha_4 T_t + \alpha_5 R_t + \alpha_6 Ra_t + \alpha_7 \text{Tiempo}_t + \varepsilon_t \quad (7)$$

$$\ln(y_t) = \alpha_0 + \alpha_1 \ln(p_{3t}) + \alpha_2 D_{3t} + \alpha_3 \ln(I_t) + \alpha_4 \ln(T_t) + \alpha_5 \ln(R_t) + \alpha_6 Ra_t + \alpha_7 \ln(\text{Tiempo}_t) + \varepsilon_t \quad (8)$$

donde  $\alpha_i$  son coeficientes,  $\varepsilon_t$  son términos de error,  $p_{3t}$  es el precio en el bloque 3,  $D_{3t}$  es la variable de diferencia para el bloque 3,  $I_t$  es el ingreso,  $T_t$  es la temperatura,  $R_t$  es la precipitación,  $Ra_t$  es el racionamiento y  $\text{Tiempo}_t$  es un índice de tiempo. Los logaritmos de las variables de diferencia y racionamiento no se consideran puesto que  $D_{3t}$  puede ser negativa y  $Ra_t$  puede tener un valor de cero. En la función de demanda Stone-Geary (4), los parámetros  $\beta$  y  $\gamma$  pueden cambiar con las variables exógenas. Es común suponer que los requerimientos mínimos de subsistencia para los demás bienes son cero,  $\gamma_c = 0$ , de tal forma que la función de demanda (4) es (véase Nuages y Martínez-Espiñeira, 2001).

$$y_t = (1 - \beta) \gamma + \beta(I_t + D_{3t})/p_{3t} + \varepsilon_t \quad (9)$$

Gaudin *et al.* (2001), estimaron dos tipos de funciones Stone-Geary. Una donde  $\gamma$  es una combinación lineal de las variables exógenas y  $\beta$  no lo es, y otra donde tanto  $\gamma$  como  $\beta$  son combinaciones lineales de las variables exógenas. Como muestran los resultados de la estimación en Sao Paulo, la segunda función no produce coeficientes significativos, entonces sólo se estima la primera, y tiene la siguiente forma:

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 T_t + \alpha_2 R_t + \alpha_3 Ra_t + \alpha_4 \text{Tiempo}_t + \beta(I_t + D_{3t})P_{3t} + \varepsilon_t \quad (10)$$

donde  $\gamma = (\alpha_0 + \alpha_1 \hat{T}_t + \alpha_2 \hat{R}_t + \alpha_3 \hat{Ra}_t + \alpha_4 \hat{\text{Tiempo}}_t) / (1 - \beta)$  es el requerimiento mínimo de consumo. En  $\hat{T}_t$ ,  $\hat{R}_t$ ,  $\hat{Ra}_t$ ,  $\hat{\text{Tiempo}}_t$  son los niveles promedio de las variables  $T$ ,  $R$ ,  $Ra$  y  $\text{Tiempo}$ . Nótese que estos modelos estiman la demanda mensual per cápita.

Con el fin de analizar si la demanda depende de los precios marginales o de los precios promedio, primero se estima el modelo de Opaluch (1982); véase apartado 3. Las estimaciones muestran que no se puede concluir si los consumidores responden a los precios promedio o a los marginales. Por esta razón, Ruijs *et al.* (2005), estiman los dos modelos para una especificación lineal de la demanda. Los resultados de ambos son similares. En este capítulo, se procede a partir de una especificación basada en el precio marginal, ya que ésta es más conveniente para el análisis de escenarios. Además, la prueba de endogeneidad muestra que el uso de variables instrumentales no es necesario y que las técnicas de OLS pueden ser usadas. La estimación de los resultados para las ecuaciones (7) (8) y (10) se presenta en el cuadro 1. Las pruebas Durbin-Watson para autocorrelación indican que existe en los tres modelos. Esto es corregido introduciendo el consumo *lagged* y la precipitación *lagged* en el modelo lineal, e incluyendo el consumo *lagged* en los modelos log-log y Stone-Geary. Finalmente, se usa una prueba Chow para analizar las diferencias potenciales en los coeficientes entre los periodos con y sin racionamiento. Ya que no se puede rechazar la igualdad de los coeficientes, los datos son agregados en regresio-

CUADRO 1  
ESTIMADORES DE LA REGRESIÓN  
PARA LA DEMANDA MENSUAL PER CÁPITA  
DE AGUA PARA DIVERSAS FUNCIONES DE DEMANDA

	Modelo lineal		Modelo log-log		Modelo Stone-Geary	
	Coficiente	t-estadística	Coficiente	t-estadística	Coficiente	t-estadística
Constante	2.69738**	3.24	-1.36952*	-1.98	1.534362**	4.26
Precio marginal	-1.34113**	-3.11	-0.19447**	-2.02		
Diferencia	0.06629**	-3.15	0.00348	-1.06		
Ingreso	0.002319**	3.80	0.306966**	2.85		
Ingreso virtual/precio marginal					0.001271**	2.13
Temperatura	0.052389**	7.53	0.186218**	6.62	0.042745**	6.26
Precipitación	-0.00036**	-2.23	-0.00606*	-1.81	-0.00036**	-2.05
Racionamiento	-0.08634**	-3.15	-0.02144**	-3.17	-0.08107**	-2.68
Tiempo	-0.00886**	-4.33	-0.02573**	-4.44	-0.00381**	-4.49
Lag (consumo)	0.275955**	3.22	0.288307**	3.45	0.325982**	3.73
Lag (precipitación)	-0.0004**	-2.50				
Requerimiento mínimo de agua per cápita <sup>a</sup>					3.56	
R <sup>2</sup> ajustada	0.83		0.82		0.79	
F-Estadística	35.91		36.89		41.49	
Tamaño de la muestra	64		64		64	

\* significativo al 90 por ciento.

\*\* significativo al 95 por ciento.

<sup>a</sup> Promedio mínimo mensual de requerimiento de agua per cápita definido por  $\gamma = (\alpha_0 + \alpha_1\bar{T} + \alpha_2\hat{R}_a + \alpha_3\hat{Y}_{t-1})/(1 - \beta)$ .

nes en las cuales se incluye una variable *dummy* para el racionamiento, como se especifica en las ecuaciones (7) (8) y (10).

Los signos de los coeficientes resultaron como se esperaban. El precio marginal se encuentra correlacionado negativamente con la demanda tanto en el modelo lineal, como en el log-log. Lo mismo sucede con el racionamiento, la precipitación y el tiempo en los tres modelos. Entre más llueva, menor será el agua necesaria para el riego de jardines y habrá menor actividad en las piscinas. Además, el coeficiente negativo de la variable Tiempo muestra que la demanda de agua disminuye en el tiempo (aunque en un porcentaje pequeño). La temperatura tiene un efecto positivo en el consumo de agua. La gente se baña o riega sus jardines con mayor frecuencia cuando el clima es más cálido. El ingreso y la variable de diferencia también tienen un signo positivo, sin embargo, no tienen la misma magnitud como se había observado en estudios previos.<sup>1</sup> Nieswiadomy y Molina (1989) explican que no está tan lejano de la realidad, ya que la variable de diferencia sólo representa una fracción pequeña del ingreso total y los consumidores. Asimismo, no están informados acerca de la magnitud de esta variable. Como cabría esperarse, el coeficiente  $\beta$  en la función Stone-Geary es también positivo. Entre más alto sea el ingreso respecto al precio marginal, mayor será la demanda. Sin embargo, el efecto de los cambios en el precio o el ingreso es pequeño. No obstante, se debe actuar con precaución cuando se interpretan los resultados de la función Stone-Geary. El valor promedio mensual del umbral mínimo de demanda de agua es alto. Dado que el consumo promedio mensual per cápita es de 4.2 metros cúbicos, un umbral de 3.56 metros cúbicos significa que 85 por ciento del consumo es independiente del precio y del ingreso. Esto parece ser irrealmente alto, en especial para la población pobre. La principal razón de ello es el rango pequeño de los datos sobre la demanda, el ingreso y los precios que se utilizaron para estimar las funciones de demanda. El

<sup>1</sup> En varios estudios la variable de diferencia está definida como la diferencia entre los gastos reales en agua y lo que se hubiera pagado si sólo el precio marginal hubiese cambiado (Nieswiadomy y Molina, 1989). En este caso, la hipótesis es que el coeficiente de la variable de diferencia tiene el signo contrario a la variable de ingreso.

rango de los datos fue de 3.74 a 4.85 metros cúbicos/persona al mes para la demanda, de 701 a 808 reales mensuales por persona para el ingreso y de 1.30 a 1.51 reales/ metros cúbicos para los precios del bloque 3 (véase también el cuadro A3 del apéndice). Si en lugar de datos agregados fuese posible utilizar datos por hogar, el umbral del nivel de la demanda podría ser considerablemente menor, en especial para la población pobre.

Los resultados de las regresiones se usan para calcular las elasticidades precio e ingreso de la demanda para los niveles promedio de todas las variables (véase cuadro 2). Las estimaciones de las elasticidades difieren sustancialmente entre los tres modelos. La demanda de agua es inelástica, pero un incremento de 1 por ciento en el precio resulta en una disminución del 0.11 por ciento en la demanda de acuerdo con el modelo Stone-Geary y resulta en una disminución de 0.46 por ciento en la demanda según el modelo lineal. Las bajas elasticidades en el modelo Stone-Geary son causadas, entre otras cosas, por el alto umbral de los niveles de demanda debido a que, entonces, sólo una parte pequeña de la demanda depende del precio y el ingreso.

CUADRO 2  
ELASTICIDADES PRECIO E INGRESO DE LA DEMANDA  
PARA LOS TRES MODELOS DE DEMANDA

	<i>Elasticidad precio</i>	<i>Elasticidad ingreso</i>
Modelo lineal	-0.46	0.41
Modelo log-log	-0.19	0.31
Modelo Stone-Geary	-0.11	0.16

Nota: Todas las elasticidades son calculadas para los niveles promedios de la demanda y el precio o el ingreso.

## ANÁLISIS DE ESCENARIOS

LAS ESTIMACIONES de las regresiones presentadas en el apartado anterior son usadas para analizar los efectos en la equidad de dife-

rentes políticas de precios. Para este propósito se distinguen cinco grupos de ingreso. En éstos se analizan la demanda, el precio promedio y los gastos en agua. En las funciones de demanda, el precio, el ingreso, y las variables de diferencia son ajustadas de acuerdo con la política utilizada y con el grupo de ingreso considerado. En Ruijs *et al.* (2005), se mostró que el sistema de precios en Sao Paulo es desigual ya que los precios promedio para los pobres pueden ser mayores a los precios promedio para los ricos, la demanda del grupo más rico es más que el doble de la demanda de los pobres, y los gastos en agua, como porcentaje del ingreso, son 10 veces más altos para los pobres que para los ricos. Estas conclusiones, sin embargo, están basadas solamente en una función lineal de demanda. Las estimaciones pueden estar sesgadas en dicha función, especialmente para los estratos ricos y pobres de la población. Al comparar los efectos del cambio en los precios para las tres funciones de demanda presentadas anteriormente, se puede mostrar si los efectos en la equidad dependen del tipo de función de demanda estimada o si son resultados generales.

El cuadro 3 muestra los resultados base para las tres funciones de demanda para cinco quintiles de ingreso. Los datos sobre la distribución del ingreso en Sao Paulo no estaban disponibles y entonces se usaron los datos para la totalidad de Brasil. A pesar de que la distribución del ingreso puede ser diferente en Sao Paulo, ya que es uno de los centros económicos del país, los datos muestran claramente el efecto del sistema actual de precios para los distintos grupos de ingreso. Los gastos promedio en agua como parte del ingreso total coinciden con los datos micro del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBIGE), el cual reporta que para la RMBSR los gastos en agua como parte de los gastos totales son en promedio de 0.77 por ciento. Las tres funciones de demanda muestran diferencias importantes. Por un lado, todas señalan que los pobres gastan una parte considerablemente mayor de su ingreso en agua (del 5.8 al 6.7 por ciento) comparado con el grupo más rico (0.3 al 0.5 por ciento), a pesar de que los consumidores ricos demandan mucha más agua. Las estimaciones de la demanda, sin embargo, difieren sustancialmente entre las tres funciones de la mis-

ma. Para los grupos intermedios de ingreso, las diferencias son relativamente pequeñas. Sin embargo, para el primer y quinto quintil de ingreso la demanda varía entre 193 y 262 metros cúbicos anuales por hogar para el primer quintil de ingreso, y alcanza una variación de entre 366 y 539 metros cúbicos anuales por hogar para el quinto quintil de ingreso. Las demandas de los consumidores en los quintiles 1 y 2 en la función de demanda lineal son iguales debido a que los consumidores de ambos grupos de ingreso consumen en la frontera del bloque.<sup>2</sup> La pendiente casi plana de la función de demanda Stone-Geary es causada por el umbral relativamente amplio de la demanda de agua y el valor bajo de  $\beta$ , debido a que la demanda de los pobres es mayor y la de los ricos es menor que en otras funciones de demanda. La función de demanda log-log tiene una pendiente relativamente inclinada para los niveles bajos de ingreso ya que aumenta rápidamente si el ingreso se eleva. Para los niveles altos de ingreso, un incremento en el ingreso tiene un efecto mucho menor en la demanda. Para la función lineal de demanda, la pendiente y por tanto el efecto de un aumento en el ingreso, es el mismo para todos los niveles de ingreso. Cabría suponer que la función lineal de demanda sobreestima la demanda para los hogares ricos.

Asimismo, los precios promedio difieren sustancialmente entre las tres funciones de demanda. Para la función log-log, los pobres tienen un precio promedio mayor que el de los otros grupos, lo cual implica que ellos subsidian a los ricos. También, en la función lineal, los precios promedio para los pobres exceden los precios correspondientes a los ricos desde el segundo hasta el cuarto quintil, aunque sólo marginalmente. Para la función de demanda Stone-Geary, los precios promedio son similares en todos los grupos de ingreso. En otras palabras, existe evidencia de que el sistema de precios por bloque en Sao Paulo, que presenta un alto precio en el quinto bloque y un desarrollo progresivo en el precio

<sup>2</sup> Si el bloque de precio  $p_2$  fuera cobrado y la variable de diferencia dependiera de  $p_1$  y  $p_2$ , la demanda excedería la frontera del bloque de 20 metros cúbicos mensuales por hogar; si el precio  $p_3$  fuera cobrado y la variable de diferencia dependiera de  $p_1$ ,  $p_2$  y  $p_3$ , la demanda sería menor al bloque de 20 metros cúbicos mensuales por hogar. En tal situación, se asume que la demanda está en la frontera del bloque.

CUADRO 3

INGRESO ANUAL, DEMANDA Y GASTOS EN AGUA POR QUINTIL DE INGRESO

Quintil de ingreso <sup>1</sup>	Ingreso por hogar (reales/año) <sup>2</sup>	Demanda por hogar (m <sup>3</sup> /año) <sup>2</sup>	Pagos por agua (reales/año)	Precio promedio (reales/m <sup>3</sup> ) <sup>3</sup>	Gastos en agua como % del ingreso
Lineal <sup>4</sup>					
1	5,810	240.0	356.5	1.49	6.13
2	14,553	240.0	356.5	1.49	2.45
3	27,061	247.9	367.8	1.48	1.36
4	49,254	298.5	440.1	1.47	0.89
5	172,321	539.3	894.4	1.66	0.52
Promedio	53,800	313.1	483.0	1.54	0.90
log-log					
1	5,810	193.3	337.4	1.75	5.81
2	14,553	240.0	356.5	1.49	2.45
3	27,061	246.5	365.8	1.48	1.35
4	49,254	295.3	435.6	1.47	0.88
5	172,321	409.1	628.4	1.54	0.36
Promedio	53,800	276.8	424.7	1.53	0.79
Stone-Geary					
1	5,810	262.1	388.1	1.48	6.68
2	14,553	269.9	399.2	1.48	2.74
3	27,061	281.0	415.1	1.48	1.53
4	49,254	300.7	443.3	1.47	0.90
5	172,321	366.4	541.3	1.48	0.31
Promedio	53,800	296.0	437.4	1.48	0.81

<sup>1</sup>El quintil 1 corresponde al 20 por ciento de la población que tiene el ingreso más bajo, el quintil 5 corresponde al 20 por ciento de la población que tiene el ingreso más alto. El ingreso se distribuye en 2,16, 5,41, 10,06, 18,31 y 64,06 por ciento para los quintiles 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente. La distribución del ingreso es para el año de 1998. Fuente: World Bank (2003).

<sup>2</sup>El número promedio de consumidores por conexión es de 6.01, los datos para el número de conexiones y la población se obtuvieron de la SABESP y SEADE, [www.seade.gov.br](http://www.seade.gov.br).  
<sup>3</sup>Precio promedio = gasto en agua/demanda por hogar.

<sup>4</sup>Véase Ruijs *et al.* (2005) para una discusión acerca de los resultados de la función lineal de demanda.

desde el segundo hasta el quinto bloque, actúa en detrimento de la equidad. Los pobres pagan un mayor precio promedio que los ricos y subsidian implícitamente el agua para la población con mayores recursos económicos. Sin embargo, es más probable que la desigualdad sea menos dramática de lo que sugieren los resultados de la función log-log de demanda.

En los cuadros 4 y 5 se presentan los efectos de los cambios en el precio y tamaño del bloque para ocho escenarios de cambios en el precio. Se analizaron los escenarios siguientes (véase también el cuadro 3 del apéndice, donde se muestran los valores promedio de los precios mensuales actuales):

- a) Un aumento de 10 por ciento en los precios.
- b) Una disminución de 25 por ciento en  $p_1$ , manteniendo los otros precios en su nivel original.
- c) Una disminución de 25 por ciento en  $p_1$ , un aumento de 150 por ciento en  $p_2$  y un aumento de 25 por ciento en  $p_3$ ,  $p_4$  y  $p_5$ .
- d) Una disminución de 25 por ciento en  $p_1$  para los quintiles del ingreso 1, 2 y 3, un aumento de 75 por ciento en  $p_2$  y un aumento de 25 por ciento en  $p_3$ ,  $p_4$ , y  $p_5$ ; y se mantiene  $p_1$  en su nivel original para los quintiles de ingreso 4 y 5, un aumento de 75 por ciento en  $p_2$  y un aumento de 25 por ciento en  $p_3$ ,  $p_4$  y  $p_5$ .
- e) Un cambio en los límites de los bloques en: 7.5-15-22.5-37.5 metros cúbicos mensuales por conexión, *i.e.* una disminución de 25 por ciento en todos los límites.
- f) Un cambio en los límites de los bloques en: 5-12.5-20-35 metros cúbicos mensuales por conexión.
- g) Un cambio en los precios de los bloques en 1-1.5-2.0-2.5-3 reales/metros cúbicos para los bloques 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente.
- h) Un cambio en los precios de los bloques en 1-1.5-2.0-2.5-3 reales/metros cúbicos y en los límites de los bloques 7.5-15-22.5-37.5 metros cúbicos mensuales por conexión (una reducción de 25 por ciento en los límites) para los bloques 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente.

CUADRO 4

LOS EFECTOS DE LOS CAMBIOS EN EL SISTEMA DE PRECIOS EN LA DEMANDA,  
EL PRECIO PROMEDIO Y LOS GASTOS EN AGUA PARA DIFERENTES GRUPOS DE INGRESO  
PARA TRES FUNCIONES DE DEMANDA Y LOS EFECTOS EN LOS INGRESOS DE LA COMPAÑÍA DE AGUA.

(Los cambios porcentuales se comparan con los resultados base  
presentados en el cuadro 3)

	Modelo lineal			Modelo log-log			Modelo Stone-Geary		
	% de cambio en la demanda	Precio promedio	% de cambio en el gasto en agua	% de cambio en la demanda	Precio promedio	% de cambio en el gasto en agua	% de cambio en la demanda	Precio promedio	% de cambio en el gasto en agua
a) Aumento de 10 por ciento en todos los precios									
1	0.0	1.63	10.0	-2.0	1.95	9.5	-0.2	1.63	9.8
2	0.0	1.63	10.0	0.0	1.63	10.0	-0.4	1.63	9.5
3	-2.8	1.63	7.0	-1.1	1.63	8.8	-0.8	1.63	9.2
4	-4.7	1.62	5.0	-1.8	1.62	8.0	-1.3	1.62	8.6
5	-3.4	1.81	5.4	-1.7	1.68	7.5	-1.2	1.62	8.1
Prom.	-2.5	1.67	6.9*	-1.4	1.70	8.6*	-0.8	1.62	9.0*

b) Una disminución de 25 por ciento en $p_1$ , manteniendo los otros precios en su nivel original									
1	0.0	1.16	-21.6	0.4	1.34	-22.7	0.0	1.19	-19.8
2	0.0	1.16	-21.6	0.0	1.16	-21.6	0.0	1.19	-19.2
3	1.7	1.18	-19.3	0.3	1.17	-20.8	0.0	1.20	-18.5
4	1.7	1.22	-15.8	0.4	1.22	-17.3	0.0	1.22	-17.3
5	0.9	1.52	-7.4	0.4	1.35	-11.7	0.0	1.27	-14.2
Prom.	0.9	1.25	-14.9*	0.3	1.25	-17.8*	0.0	1.21	-17.6*
c) Una disminución de 25 por ciento en $p_1$ , un aumento de 150 por ciento en $p_2$ y un aumento de 25 por ciento en $p_3$ , $p_4$ y $p_5$									
1	-3.8	1.49	-3.6	-15.7	1.68	-18.7	-0.4	1.50	0.7
2	0.0	1.47	-1.0	-10.0	1.52	-7.8	-0.9	1.50	0.7
3	-3.2	1.47	-4.0	-2.0	1.47	-2.7	-1.7	1.51	0.7
4	-9.6	1.51	-7.7	-3.8	1.52	-0.9	-2.9	1.53	0.6
5	-7.4	1.85	3.3	-3.6	1.66	4.3	-1.8	1.58	4.9
Prom.	-5.5	1.56	-1.5*	-6.2	1.57	-3.6*	-1.6	1.52	1.7*
d) Una disminución de 25 por ciento en $p_1$ para los quintiles del ingreso 1, 2 y 3, un aumento de 75 por ciento en $p_2$ y un aumento de 25 por ciento en $p_3$ , $p_4$ y $p_5$ ; y se mantiene $p_1$ en su nivel original para los quintiles de ingreso 4 y 5, un aumento de 75 por ciento en $p_2$ y un aumento de 25 por ciento en $p_3$ , $p_4$ y $p_5$									
1	0.0	1.32	-11.3	-9.8	1.55	-20.2	-0.4	1.36	-8.7
2	0.0	1.32	-11.3	-3.7	1.34	-13.1	-0.9	1.37	-8.5
3	-3.2	1.32	-14.0	-1.9	1.32	-12.7	-1.7	1.38	-8.2
4	-10.5	1.65	0.3	-4.0	1.66	8.1	-2.9	1.66	9.7
5	-7.9	1.93	7.0	-3.8	1.76	10.4	-1.8	1.69	12.3
Prom.	-5.2	1.51	-2.8*	-4.3	1.53	-2.8*	-1.6	1.49	0.4*

\* Representa el cambio en los pagos colectados por la compañía de agua SABESP.

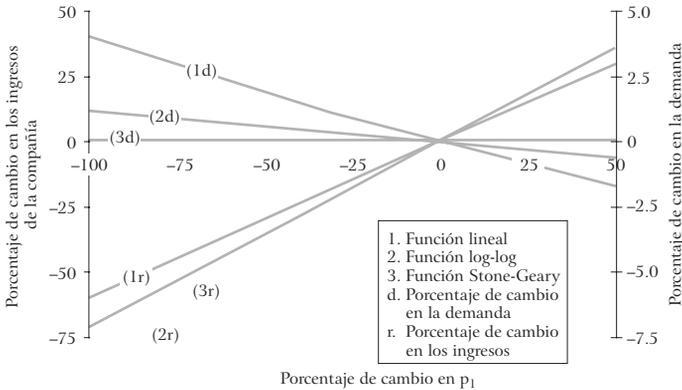
Prom. = promedio.

Los efectos de los cambios en los precios en la equidad dependen principalmente de la función de demanda analizada. En el escenario *a*, un aumento de 10 por ciento en todos los precios, los sectores pobres de la población son afectados sustancialmente. En el quintil más pobre, aumentan tanto el precio promedio como los gastos en agua, mientras que la demanda permanece estable. El efecto de un aumento en el precio en la demanda total también depende del tipo de función adoptada. La función lineal muestra una reducción total de 2.5 por ciento en la demanda, mientras que la disminución en la función Stone-Geary es de sólo 0.8 por ciento. Por un lado, en el escenario *b*, una reducción de 25 por ciento en el precio del primer bloque es benéfica para los pobres en todas las funciones de demanda. El precio promedio para los pobres disminuye sustancialmente y sus gastos en agua se reducen en casi 20 por ciento. Los efectos para los grupos ricos de la población son pequeños. Una desventaja de este escenario, sin embargo, es la reducción considerable en los ingresos de la compañía de agua (-14.9 a -17.8 por ciento). Dicha reducción podría poner en peligro su situación financiera y por tanto la calidad del sistema de distribución, lo cual, al final, afectará negativamente a todos los consumidores de agua. La gráfica 2 muestra las diferencias entre la demanda total de agua y los ingresos de la compañía de agua para diversos precios en el primer bloque, mientras que los precios del segundo hasta el quinto bloque se fijan en sus valores iniciales. Aunque en la curva de la demanda lineal los efectos de cambios en  $p_1$  en la demanda de agua son los más grandes, los efectos en los ingresos son pequeños. Por el otro lado, los cambios en los precios sólo tienen efectos marginales en la demanda de agua para la función de demanda Stone-Geary, mientras que los efectos en los ingresos son considerables.

Los resultados de los escenarios *c* y *d* muestran que la disminución en los ingresos es causada por una reducción en  $p_1$ , puede ser prevenida, pero sólo a costa de un aumento considerable en los precios de los otros bloques. Para el escenario *c*, una reducción de 25 por ciento en  $p_1$ , un aumento de 25 por ciento en los precios  $p_3$ ,  $p_4$ , y  $p_5$  e inclusive un aumento de 150 por ciento

GRÁFICA 2

EL EFECTO DE UN CAMBIO EN  $P_1$  EN LA DEMANDA TOTAL DE AGUA Y LOS INGRESOS DE LA COMPAÑÍA DE AGUA  
(Los precios  $p_2, p_3, p_4$  y  $p_5$  permanecen en su valor base)



Fuente: Véase cuadro A3.

en  $p_2$  resultan en una demanda y unos precios para los cuales los efectos en la compañía de agua son pequeños. Nótese que para dichos cambios en los precios,  $p_2$  es todavía 80 por ciento menor a  $p_3$ . Los efectos difieren en cada función de demanda. Para los pobres, la demanda disminuye sólo marginalmente en la función lineal y en la Stone-Geary, y se reduce entre 10 y 15 por ciento en el caso de la función log-log. Los precios promedio no cambian mucho en comparación con el caso base. Se necesita un aumento importante en el precio  $p_2$  para lograr estos resultados, ya que un aumento de menor magnitud resulta todavía en pérdidas para la compañía de agua. En el escenario  $d$  se obtiene un resultado similar al del escenario  $c$ , donde la reducción de  $p_1$  sólo se registra en los tres primeros quintiles de ingreso y  $p_2$  sólo aumenta en 75 por ciento.

Dicho sistema, que depende del ingreso, es mejor para los pobres. Sus precios promedio y gastos en agua se reducen significativamente y los efectos en la demanda de agua son pequeños (con excepción de la función log-log). Sin embargo, para los hogares ricos dicho esquema resulta en un aumento considerable de

CUADRO 5

LOS EFECTOS DE LOS CAMBIOS EN EL SISTEMA DE PRECIOS EN LA DEMANDA,  
EL PRECIO PROMEDIO Y LOS GASTOS EN AGUA PARA DIFERENTES GRUPOS DE INGRESO PARA  
TRES FUNCIONES DE DEMANDA Y LOS EFECTOS EN LOS INGRESOS DE LA COMPAÑÍA DE AGUA.

(Los cambios porcentuales se comparan con los resultados base  
presentados en el cuadro 3)

	Modelo lineal			Modelo log-log			Modelo Stone-Geary		
	% de cambio en la demanda	Precio promedio	% de cambio en el gasto en agua	% de cambio en la demanda	Precio promedio	% de cambio en el gasto en agua	% de cambio en la demanda	Precio promedio	% de cambio en el gasto en agua
1	-17.5	1.48	-17.8	-6.9	1.49	-20.8	-0.1	1.47	-0.9
2	-9.1	1.48	-9.7	-15.4	1.48	-15.7	-0.6	1.47	-1.0
3	-0.3	1.47	-1.2	-0.3	1.47	-1.2	-1.8	1.48	-1.7
4	-9.5	1.47	-10.0	-5.8	1.48	-5.2	-4.3	1.50	-2.5
5	-3.3	1.77	3.4	-0.2	1.66	7.9	-0.6	1.62	8.7
Prom.	-7.1	1.53	-4.8*	-5.0	1.52	-4.9*	-1.5	1.51	1.0*

e) Los límites de los bloques cambian a: 7.5-15-22.5-37.5 metros cúbicos mensual por conexión

f) Los límites de los bloques cambian a: 5-12.5-20-35 metros cúbicos mensual por conexión.

1	-16.6	1.31	-26.4	-20.3	1.27	-41.8	-0.5	1.39	-6.8
2	-8.2	1.32	-18.3	-15.2	1.31	-25.1	-1.4	1.40	-6.7
3	-3.3	1.33	-13.3	-2.9	1.33	-12.9	-2.5	1.42	-6.4
4	-15.7	1.36	-22.0	-5.9	1.43	-8.9	-4.3	1.45	-6.0
5	-3.2	1.76	2.6	-0.4	1.62	5.2	-0.6	1.57	5.9
Prom.	-8.4	1.42	-11.7*	-7.4	1.39	-13.4*	-1.9	1.45	-3.4*

g) Los precios son 1-1.5-2-0-2.5-3-0 Reales/m<sup>3</sup> para los bloques 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente.

1	-18.4	1.19	-34.4	-21.2	1.11	-50.0	-0.5	1.31	-12.0
2	-9.9	1.22	-25.9	-15.8	1.20	-31.8	-1.3	1.32	-11.7
3	-3.7	1.25	-18.9	-3.0	1.25	-18.3	-2.4	1.34	-11.2
4	-14.2	1.30	-24.5	-5.4	1.36	-13.1	-4.1	1.38	-10.5
5	-6.3	1.79	1.0	-3.1	1.59	0.3	-2.1	1.50	-0.7
Prom.	-9.8	1.35	-15.9*	-8.3	1.30	-19.0*	-2.1	1.37	-8.7*

h) Los límites de los bloques cambian a: 7.5-15-22.5-37.5 metros cúbicos mensual por conexión y los precios son 1-1.5-2-0-2.5-3.0 Reales/m<sup>3</sup> para los bloques 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente.

1	-25.0	1.25	-36.9	-21.2	1.20	-45.6	-0.6	1.48	-0.5
2	-24.7	1.25	-36.4	-20.1	1.30	-30.3	-1.6	1.49	-0.6
3	-18.6	1.33	-27.0	-5.9	1.42	-10.1	-3.0	1.51	-0.7
4	-15.2	1.47	-15.6	-7.7	1.51	-5.5	-6.2	1.54	-1.8
5	-13.6	1.94	0.9	-3.6	1.82	14.0	-5.9	1.72	9.3
Prom.	-18.1	1.45	-17.4*	-10.2	1.45	-11.1*	-3.7	1.55	1.6*

\* Representa el cambio en los pagos colectados por la compañía de agua SABESP.

Prom. = promedio.

los precios promedio y los gastos en agua así como una formidable reducción de la demanda. Sus gastos en agua, no obstante, sólo corresponden a una pequeña parte de su ingreso (de entre 0.35-0.56 por ciento). Para el grupo más pobre, este gasto corresponde a entre 4.64 y 6.10 por ciento de su ingreso, una reducción en el gasto de entre 10 a 20 por ciento. En este escenario, para las funciones de demanda lineal y Stone-Geary, los precios promedio aumentan escalonadamente con los quintiles del ingreso. Para la función log-log, los hogares más pobres todavía pagan más que los hogares con un ingreso en los quintiles 2 y 3, pero pagan menos que aquellos en los quintiles 4 y 5. En el caso base, dichos hogares pagan incluso más que los consumidores más ricos (véase cuadro 3). Tanto en el escenario *c* como el *d* resultan en una reducción en la demanda de agua.

Los resultados de los escenarios *e*, *f*, *g* y *h* muestran que un cambio en la estructura de los bloques de precios tiene efectos considerables tanto en la demanda como en la equidad (véase cuadro 5). La reducción de los límites de los bloques en los escenarios *e* y *f* muestra que se puede mejorar cuantiosamente en términos de equidad. En todas las funciones de demanda, los grupos de ingreso más pobres pagan precios promedio menores a los que pagan los estratos más altos del ingreso. En las funciones lineales y log-log, no obstante, la demanda de los pobres disminuye pero al mismo tiempo su gasto en agua se reduce. La demanda disminuye debido a que casi todos los consumidores, incluidos los grupos de ingreso más bajo, registran una demanda en el tercer bloque en vez de hacerlo en el segundo como sucede en el caso base. La demanda total disminuye (entre 1.5 y 7 por ciento para el escenario *e* y entre 1.9 y 8.4 por ciento en el escenario *f*) pero los ingresos de la compañía de agua se ven reducidos en la mayoría de los casos. Es claro que entre menor es el tamaño de los bloques, especialmente en el bloque 1, menores son los ingresos. Se puede obtener una reducción menor de los ingresos y un sistema aún más equitativo si se adopta un régimen de precios que dependa del ingreso como el presentado en el escenario *d*.

Para el actual esquema por bloques, la introducción de un sistema progresivo de precios en el cual el precio del primer bloque

sea menor que el del segundo, puede resultar en una reducción significativa de los ingresos de la compañía de agua y en precios promedio que aumentan escalonadamente con el ingreso. Los escenarios *g* y *h* muestran los resultados para un sistema, en el cual los precios son 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 reales/metros cúbicos para los cinco bloques respectivamente. En este sistema, los precios del segundo hasta el quinto bloque son sustancialmente mayores que los correspondientes en el sistema actual de precios. No obstante, los precios para el primer bloque son significativamente menores. En los escenarios *g* y *h* se muestra que para la actual estructura de los bloques, los efectos difieren según el tipo de función de demanda. Esta última disminuye en todos los casos. En las funciones de demanda lineal y log-log, los efectos en la demanda, y consecuentemente en los gastos en agua, son especialmente importantes para los consumidores más pobres. A pesar de que existen precios promedio más bajos, la demanda disminuye, lo cual es causado por un precio unitario mayor en el bloque donde la demanda se haya situada. En las ecuaciones de demanda (7) (8) y (9), el subsidio implícito (reflejado en la variable de diferencia) es alto, sin embargo, la variable precio también es alta.

Debido a que el coeficiente del precio es de una magnitud mucho mayor que el coeficiente de la variable de diferencia, la demanda disminuye cuando el precio aumenta. Este efecto es interesante. Por un lado, un sistema progresivo de precios por bloque es mejor para la equidad, ya que el precio promedio aumenta para los grupos más ricos y así los pobres no subsidian el consumo de estratos con un mayor nivel de ingreso. Por el otro lado, con el fin de prevenir una caída importante en los ingresos de la compañía de agua, el precio marginal –en un sistema verdaderamente progresivo de precios– debe ser (considerablemente) más alto que el precio marginal en el sistema de precios de la situación actual. Como resultado, la demanda podría disminuir sustancialmente, en especial en los más pobres, para quienes el precio marginal aumenta 266 por ciento en el escenario *g*. El sistema progresivo de precios por bloque con un tamaño menor de los bloques actúa aún más en detrimento de la demanda, ya que los consumidores se mueven a un bloque de precios más elevados con un nivel menor de consumo.

En resumen, el análisis muestra que el diseño del tamaño de los bloques así como del sistema de precios tiene un efecto importante tanto en la demanda, como en los precios promedio y en los ingresos. Las estimaciones de las tres funciones de demanda pueden diferir considerablemente, especialmente para el primer y el quinto quintil de ingreso. Sin embargo, el patrón del efecto de un cambio en los precios es comparable en las tres funciones. Es difícil diseñar un sistema de precios que considere tanto a la demanda como a la equidad. Así, esta última puede ser mejorada mediante el diseño de un sistema de precios que dependa del ingreso. El mismo resultado puede ser obtenido con el cambio de la estructura de los bloques o con el diseño de un sistema de precios verdaderamente progresivo, lo cual se lograría, no obstante, a costa de la demanda, en especial de la de los pobres. Una desventaja de dicho sistema, sin embargo, es la posibilidad de que existan fluctuaciones amplias en los ingresos de la compañía de agua. Una cuota fija de conexión actúa en detrimento de la equidad, pero asegura un flujo de ingresos para la compañía de agua.

## CONCLUSIONES

EN ESTE capítulo se estima la demanda de agua para la Región Metropolitana de Sao Paulo. Esta es un área densamente poblada con un problema creciente de escasez de agua. En este estudio se estimaron tres tipos de funciones de demanda de agua: una lineal, una log-log y una Stone-Geary. Se utilizaron asimismo datos de consumo, precios, ingreso, precipitación, temperatura y racionamiento de agua. Los datos sobre precios e ingreso tienen un rango pequeño. Por esta razón, la estimación de cambios en la demanda, a partir de las funciones mencionadas, puede estar sesgada para los grupos de alto o bajo ingreso. La sensibilidad de los resultados puede ser analizada por medio de la evaluación de las tres funciones de demanda. Los resultados de estas últimas pueden ser comparables para los grupos intermedios de ingreso, sin embargo, pueden diferir sustancialmente para los grupos de bajo o alto ingreso. Los patrones de cambio, no obstante, son comparables en la mayoría

de los casos. Las elasticidades precio e ingreso de la demanda también difieren sustancialmente. Las elasticidades precio de la demanda son  $-0.46$  para la función lineal,  $-0.19$  para la función log-log y  $-0.11$  para la función Stone-Geary. Las elasticidades ingreso de la demanda son  $0.41$  para la función lineal,  $0.31$  para la función log-log y  $0.16$  para la función Stone-Geary.

Las tres funciones de demanda son utilizadas para evaluar los efectos de distintas políticas de precios y estructuras de los bloques de precios en la demanda de agua para cinco grupos de ingreso en la RMBSP. El análisis muestra que el sistema actual de precios, en el que el precio del primer bloque es mayor a los precios de los otros bloques, puede resultar en percepciones estables para la compañía de agua pero puede resultar también en un sistema injusto en el cual los pobres subsidian implícitamente el consumo de agua de los ricos. Los precios promedio para los pobres pueden ser más altos que para los ricos y los gastos en agua como porcentaje de su ingreso son de 10 a 20 veces mayores que para el 20 por ciento más rico de la población. El aumento en los precios resulta en precios promedio más altos y una demanda menor para los pobres, mientras que la disminución de precios en el primer bloque resulta en ingresos considerablemente menores para la compañía de agua.

Aunque el patrón no cambia en mucho en las tres funciones de demanda, las estimaciones pueden diferir sustancialmente. Un sistema de precios que depende del ingreso, en el cual los grupos de más alto ingreso tienen un primer bloque de precios mayor al que tienen los de más bajos ingresos, puede resultar en un sistema más equitativo, y los ingresos de la compañía de agua no se verían afectados. Aunque el efecto en los ingresos de la compañía de agua depende en mucho del tipo de función de demanda, el diseño de una estructura de precios que es neutral respecto al ingreso es difícil de lograr para la compañía de agua. Además, los costos administrativos de dicho sistema podrían ser excesivos y de una factibilidad política limitada. La equidad también se puede mejorar si se cambia la estructura de los bloques o se modifica la estructura de precios en un sistema verdaderamente progresivo de precios por bloque. Los resultados muestran que si se reduce el tamaño

del primer bloque, y por tanto se reducen los costos fijos, se mejorará la equidad pero la demanda y los ingresos disminuirán.

De forma similar, con un sistema progresivo de precios en el que los de los primeros bloques no son demasiado bajos, se pueden obtener resultados parecidos. Los costos administrativos de dicho sistema son bajos, pero existe una desventaja importante para la compañía de agua, ya que esto representa un flujo de percepciones menos seguro debido a que los cambios en el precio pueden tener impactos importantes en los ingresos y una disminución sustancial de la demanda de los pobres. La determinación de una estructura "óptima" de bloques y precios es una tarea difícil. Esta es una decisión política, la cual depende de los objetivos de las autoridades, las posibilidades de la compañía de agua y los deseos de la población. Cada estructura de bloques y precios tiene diferentes impactos en la equidad, los gastos, la demanda, la riqueza y los ingresos de la compañía de agua. Este artículo ayuda a identificar los posibles efectos de dichos cambios y muestra las posibles direcciones que tomarían estos cambios.

Finalmente, se espera que los efectos previstos de los cambios en los precios sean modestos. Para aumentar un uso racional del agua, las políticas de precio necesitan mostrar al consumidor el verdadero valor del agua y proporcionarle los incentivos correctos para saber cuánta agua se debe usar. Sin embargo, se necesitarán otras políticas alternativas por el lado de la demanda si ésta se quiere reducir aún más y aumentar la conciencia de los problemas existentes en torno al agua.

## APÉNDICE

CUADRO AI  
 CONSUMO RESIDENCIAL DE AGUA Y PNB PPP  
 PER CÁPITA PARA 64 PAÍSES EN 2000

<i>País</i>	<i>Consumo de agua m<sup>3</sup> per cápita</i>	<i>PNB per cápita PPP (\$ internacional)</i>
Camerún	11.8	1,640
Egipto	77.1	3,470
Etiopía	0.4	770
Ghana	9.8	2,190
Kenia	15.4	980
Mali	3.9	780
Marruecos	36.9	3,410
Mozambique	3.9	1,000
Nigeria	14.7	860
Sudáfrica	58.6	10,990
Tanzania	3.5	510
Uganda	5.7	1,450
Zambia	27.4	760
Zimbabue	19.7	2,540
Australia	183.9	24,550
Camboya	4.9	1,760
China	32.3	3,740
India	51.4	2,730
Indonesia	31.2	2,970
Irán	74.6	5,720
Japón	137.0	25,280
Malasia	65.9	9,100
Nueva Zelanda	270.8	17,840
Pakistán	22.9	1,870
Filipinas	62.5	3,790
Sri Lanka	16.2	3,400
Tailandia	35.6	6,230
Turkmenistán	89.9	3,670
Uzbekistán	111.2	2,360
Austria	91.5	26,420
Bélgica	116.5	25,220
República Checa	101.9	14,110
Dinamarca	76.5	28,680
Finlandia	65.3	24,160
Francia	106.0	23,490
Alemania	70.7	25,100

CUADRO A1 (*Continuación*)

<i>País</i>	<i>Consumo de agua m<sup>3</sup> per cápita</i>	<i>PNB per cápita PPP (\$ internacional)</i>
Grecia	116.2	16,530
Hungría	70.6	11,960
Islandia	184.5	28,910
Irlanda	66.9	30,380
Israel	103.8	20,940
Italia	140.2	24,280
Países Bajos	30.6	26,910
Noruega	110.7	29,200
Polonia	54.4	9,320
Portugal	108.0	17,710
Federación Rusa	98.7	6,760
España	117.6	19,740
Suecia	123.0	23,650
Suiza	86.9	27,780
Turquía	81.4	6,300
Ucrania	91.7	3,980
Reino Unido	35.2	23,580
Canadá	292.2	26,840
Estados Unidos	213.5	33,960
Argentina	129.3	11,880
Brasil	70.0	7,250
Chile	93.0	8,940
Colombia	127.9	7,010
Costa Rica	200.8	10,070
República Dominicana	130.1	6,910
Guatemala	11.3	4,430
México	137.4	8,570
Perú	64.9	4,630

Fuentes: UNEP (2002) y Banco Mundial (2003).

CUADRO A2

RESUMEN DE LAS ELASTICIDADES PRECIO E INGRESO  
DE LA DEMANDA DE AGUA PARA VARIOS LUGARES  
EN EL MUNDO, A PARTIR DE DIFERENTES CONJUNTOS  
DE DATOS Y TÉCNICAS PARA LOS MODELOS

<i>Estudio</i>	<i>Datos</i>	<i>Lugar</i>	<i>Tipo de modelo</i>	<i>Elasticidad precio</i>	<i>Elasticidad ingreso</i>
Jones y Morris (1984)	CS	Denver, CO.	LIN, LOG, SLOG	-0.34 a -0.18	0.08 a 1.68
Scheffer y David (1985)	CS	Wisconsin	LIN	-0.13 a -0.11	0.22 a 2.39
Williams y Suh (1986)	CS	EUA	LIN, LOG	-0.48 a -0.18	0.02 a 0.19
Nieswiadomy y Cobb (1993)	CS	EUA	LOG	-0.64 a -0.17	0.13 a 0.28
Point (1993)	CS	Francia	SLOG	-0.167	-
Rietveld <i>et al.</i> (2000)	CS	Java, Indonesia	LOG	-1.2 a 0.82	0.05
Shen <i>et al.</i> (1999)	CS	China	LOG	-0.33	0.56
Agthe y Billings (1980)	TS	Tucson, AZ	LIN, LOG	-0.71 a -0.18	-0.16 a 0.42
Billings (1982)	TS	Tucson, AZ	LIN, LOG	-0.66 a -0.27	0.075
Al-Quaibet y Johnston (1985)	TS	Kuwait	LOG	-0.98 a -0.77	0.4 a 0.91
Aghte <i>et al.</i> (1986)	TS	Tucson, AZ	LIN	-0.62 a 0.26	-
Howe y Linaweaver (1967)	PD	EUA	LIN, LOG	-0.23 a -0.21	0.00 a 0.523
Carver y Boland (1980)	PD	Washington, DC	LIN	-0.7 a -0.02	-
Hanke y de Maré (1982)	PD	Malmö	LIN	-0.15	0.376

CUADRO A2 (Continuación)

Estudio	Datos	Lugar	Tipo de modelo	Elasticidad precio	Elasticidad ingreso
Chicoine y Ramamurthy (1986)	PD	Illinois	LIN	-0.47	-
Moncur (1987)	PD	Honolulu, HI	LIN	-0.68 a -0.03	0.12 a 0.41
Nieswiadomy y Molina (1989)	PD	Denton, TX	LIN	-0.86 a 3.5	1.33 a 2.77
Griffin y Chang (1990)	PD	Texas	LIN	-0.38 a -0.16	0.3 a 0.48
Schneider y Whitlatch (1991)	PD	Columbus, OH	LIN	-0.7 a -0.32	-
Lyman (1992)	PD	Moscú, EUA	LOG-LIN	-3.33 a -0.39	0.02 a 2.11
Martin y Wilder (1992)	PD	Columbia, SC	LOG	-0.7 a -0.32	-
Nieswiadomy (1992)	PD	EUA	LOG	-0.6 a 0.02	0.15 a 2.14
Hewitt y Hanemann (1995)	PD	Denton, TX	LOG	-1.59	0.4
Dandy <i>et al.</i> (1997)	PD	Adeline, Australia	LIN	-0.86 a -0.29	-
Corral <i>et al.</i> (1998)	PD	California	LIN	-0.3 a 0.0	-
Renwick y Archibald (1998)	PD	California	LIN	-0.53 a -0.11	0.36
Nauges y Thomas (2000)	PD	Francia	LOG	-0.22	0.09

Notas: CS: Corte transversal, TS: Series de tiempo, PD: Datos en panel; LIN: Lineal, DLOG: log-log, CD: Cobb-Douglas, LOG: Logarítmica, SLOG: Semi-logarítmica, SG: Stone-Geary, LOG-LIN: LOG-lineal.

Fuente: Shen *et al.* (1999); Dalhuisen y Nijkamp (2001); Arbues *et al.* (2003).

CUADRO A3

RESUMEN DE LOS DATOS MENSUALES PROMEDIO UTILIZADOS  
EN LAS ESTIMACIONES Y SUS VARIANZAS

	Consumo per cápita (m <sup>3</sup> /mes)		Variable de diferencia (reales)		Ingreso per cápita (reales)		Temperatura (°C)		Precipitación (mm)		Racionamiento	
	Prom. <sup>1</sup>	Var. <sup>2</sup>	Prom. <sup>1</sup>	Var. <sup>2</sup>	Prom. <sup>1</sup>	Var. <sup>2</sup>	Prom. <sup>1</sup>	Var. <sup>2</sup>	Prom. <sup>1</sup>	Var. <sup>2</sup>	Prom. <sup>1</sup>	Var. <sup>2</sup>
Enero	4.33	0.096	1.27	1.87	750	1,270	22.9	0.61	259.7	9,069	0.20	0.20
Febrero	4.34	0.044	1.27	1.86	749	1,052	22.6	1.13	235.3	5,118	0.00	0.00
Marzo	4.36	0.008	1.26	1.84	748	881	22.4	0.95	188.2	1,086	0.00	0.00
Abril	4.30	0.004	1.26	1.81	747	756	20.7	1.56	47.0	764	0.40	0.30
Mayo	4.18	0.008	1.25	1.80	746	677	17.5	0.79	63.5	1,162	0.40	0.30
Junio	4.06	0.022	1.25	1.79	745	646	16.8	1.54	32.7	1,113	0.40	0.30
Julio	4.02	0.028	0.89	2.57	745	532	16.0	0.72	39.0	401	0.33	0.27
Agosto	4.10	0.039	0.89	2.54	744	585	17.5	1.37	39.5	539	0.33	0.27
Septiembre	4.13	0.029	0.89	2.53	744	678	17.7	0.22	89.7	815	0.33	0.27
Octubre	4.19	0.037	0.89	2.50	743	810	19.5	3.05	142.8	4,289	0.33	0.27
Noviembre	4.23	0.013	0.90	2.46	743	981	20.3	1.55	139.3	7,315	0.17	0.17
Diciembre	4.36	0.050	0.89	2.43	742	1,191	22.1	0.42	165.9	4,014	0.17	0.17
Promedio	4.22	0.040	1.08	1.87	745	698	19.7	6.71	120.2	8,148	0.26	0.19

CUADRO A3 (Continuación)

Precios (Redes/m <sup>3</sup> )	p <sub>1</sub>		p <sub>2</sub>		p <sub>3</sub>		p <sub>4</sub>		p <sub>5</sub>	
	Prom. <sup>1</sup>	Vár. <sup>2</sup>								
Enero	2.59	0.029	0.41	0.0003	1.44	0.002	2.05	0.005	2.27	0.007
Febrero	2.58	0.028	0.41	0.0002	1.43	0.002	2.04	0.005	2.26	0.006
Marzo	2.57	0.027	0.41	0.0002	1.42	0.002	2.03	0.004	2.24	0.006
Abril	2.55	0.028	0.40	0.0002	1.42	0.002	2.02	0.005	2.23	0.006
Mayo	2.55	0.028	0.40	0.0002	1.41	0.002	2.01	0.005	2.23	0.006
Junio	2.54	0.029	0.40	0.0002	1.41	0.002	2.01	0.005	2.22	0.006
Julio	2.59	0.046	0.42	0.0003	1.46	0.003	2.08	0.006	2.30	0.007
Agosto	2.58	0.049	0.41	0.0003	1.45	0.003	2.07	0.007	2.29	0.009
Septiembre	2.57	0.052	0.41	0.0004	1.45	0.004	2.07	0.008	2.29	0.010
Octubre	2.56	0.055	0.41	0.0004	1.44	0.004	2.06	0.009	2.27	0.011
Noviembre	2.54	0.064	0.41	0.0005	1.43	0.006	2.04	0.012	2.25	0.015
Diciembre	2.53	0.064	0.41	0.0005	1.42	0.006	2.03	0.012	2.24	0.015
Promedio	2.56	0.036	0.41	0.0003	1.43	0.003	2.04	0.006	2.26	0.008

Notas: Los datos sobre el consumo, los precios y el racionamiento fueron obtenidos de la SABESP, la información sobre el ingreso y la población proviene de la SEADE, los datos de la precipitación y la temperatura fueron obtenidos del IAG. La variable de diferencia fue calculada a partir de los datos del precio y tamaño por bloque. La variación es calculada en el periodo total y no fue determinada para cada mes.

<sup>1</sup> Promedio mensual.

<sup>2</sup> Varianza.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGTHE, D.E. y R.B. Billings, "Dynamic models of residential water demand", *Water Resources Research*, 16 (3), 1980, pp. 476-480.
- , J.L. Dobra y K. Rafiee, "A simultaneous equation demand model for block rates", *Water Resources Research*, 22(1), 1986, pp. 1-4.
- AL-QUANIBET, M.H. y R.S. Johnston, "Municipal demand for water in Kuwait: methodological issues y empirical results", *Water Resources Research*, 2(4), 1985, pp. 433-438.
- ARBUÉS, F., M.A. García-Valiñas y R. Martínez-Espínera, "Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review", *Journal of Socio-Economics*, 32, 2003, pp. 81-102.
- AZEVEDO, L.G.T. y A.M. Baltar, "Water pricing reforms: issues and challenges of implementation", *Water Resources Development*, 21(1), 2005, pp. 19-29.
- BACHRACH, M. y W.J. Vaughan, *Household water demand estimation*, Tech. Rep. Working Paper ENP 106, Inter-American Development Bank Productive Sectors and Environment Subdepartment Environment Protection Division, 1994.
- BILLINGS, R.B., "Specification of block rate price variables in demand models", *Land Economics*, 58(3), 1982, pp. 386-393.
- y D.E. Agthe, "Price elasticities for water: a case of increasing block rates", *Land Economics*, 56 (1), 1980, pp. 73-84.
- y W.M. Day, "Demand management factors in residential water use: the Southern Arizona experience", *Journal of the American Water Works Association*, 81(3), 1989, pp. 58-64.
- BRISCOE, J., "Water as an economic good", en R. Brouwer y D.W. Pearce, *Cost-benefit analysis and water resources management*, Cheltenham, Reino Unido, Edward Elgar Publishing Ltd., 2005.
- CARVER, P.H. y J.J. Boland, "Short-run and long-run effects of price on municipal water use", *Water Resources Research*, 16 (4), 1980, pp. 609-616.
- CAVANAGH, S.M., M.W. Hanemann y R.N. Stavins, "Muffled Price Signals: Household Water Demand under Increasing-Block Prices", *FEEM working paper núm. 40.02*, Florencia, Italia, Fondazione Eni Enrico Mattei, 2002.

- CHICOINE, D.L. y G. Ramamurthy, "Evidence on the specification of price in the study of domestic water demand", *Land Economics*, 62 (1), 1986, pp. 26-32.
- CORRAL, L., A.C. Fisher y N. Hatch, "Price and non-price influences on water conservation: an econometric model of aggregate demand under nonlinear budget constraint", *Working Paper 881*, Department of Agricultural and Resource Economics and Policy, University of California at Berkeley, 1998.
- DALHUISEN, J.M., R.J.G.M. Florax, H.L.F. de Groot y P. Nijkamp, "Price and income elasticities of residential water demand: a meta-analysis", *Land Economics*, 79(2), 2003, pp. 292-308.
- DANDY, G., T. Nguyen y C. Davies, "Estimating residential water demand in the presence of free allowances", *Land Economics*, 73 (1), 1997, pp. 125-139.
- EC, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, *Official Journal L 327*, 22/12/2000 P. 0001-0073, 2000.
- ESPEY, M., J. Espey y W.D. Shaw, "Price elasticity of residential water demand: a meta analysis", *Water Resources Research*, 33(6), 1997, pp. 1369-1374.
- GARCIA, L.E., "Water pricing an outsider's perspective", *Water Resources Development*, 21(1), 2005, pp. 9-17.
- GAUDIN, S., R.C. Griffin y R.C. Sickles, "Demand specification for municipal water management: evaluation of the Stone-Geary form", *Land Economics*, 77 (3), 2001, pp. 399-422.
- GRIFFIN, R.C. y C. Chang, "Pretest analysis of water demand in thirty communities", *Water Resources Research*, 26 (10), 1990, pp. 2251-2255.
- HAIJISPYROU, S., P. Koundouri y P. Pashardes, "Household demand and welfare: implications of water pricing in Cyprus", *Environment and Development Economics*, 7, 2002, pp. 659-685.
- HANKE, S.H. y L. de Maré, "Residential water demand: a pooled time-series cross-section study of Malmö", *Water Resources Bulletin*, Suecia, 18 (4), 1982, pp. 621-625.
- HEWITT, J.A. y W.M. Hanemann, "A discrete/continuous choice approach to residential water demand under block rate pricing", *Land Economics*, 71 (2), 1995, pp. 173-192.
- HOWE, C.W. y F.P. Linaweaver, "The impact of price on residential water demand and its relationship to system design and price structure", *Water Resources Research*, 3 (1), 1967, pp. 13-32.

- JACOBI, P., *Gestão Participativa de Bacias Hidrográficas no Brasil e os desafios do fortalecimento de espaços públicos colegiados* (mimeo.), 2004.
- JONES, C.V. y J.R. Morris, "Instrumental price estimates and residential water demand", *Water Resources Research*, 20 (2), 1984, pp. 197-202.
- LUNDQVIST, J., C. Tortajada, O. Varis y A. Biswas, "Water management in Megacities", *Ambio*, 34(3), 2005, pp. 267-277.
- LYMAN, R.A., "Peak and off-peak residential water demand", *Water Resources Research*, 28, 1992, pp. 2159-2167.
- MARTIN, R.C. y R.P. Wilder, "Residential demand for water and the pricing of municipal water services", *Public Finance Quarterly*, 20 (1), 1992, pp. 93-102.
- MEIJERINK, G. y A. Ruijs, *Water as an economic good-points of interest for policy*, La Haya, Países Bajos, LEI Research Report 3.03.04, 2003.
- MNP, *Environmental Data Compendium 2005*, MNP, CBS, WUR, Países Bajos, 2005. www.mnp.nl/mnc
- MONCUR, J., "Urban water pricing and drought management", *Water Resources Research*, 23 (3), 1987, pp. 393-398.
- NAUGES, C. y A. Thomas, "Privately-operated water utilities, municipal price negotiation, and estimation of residential water demand: the case of France", *Land Economics*, 76 (1), 2000, pp. 68-85.
- \_\_\_\_\_ y R. Martínez-Espiñeira, "Identifying fixed and variable shares of residential water consumption using the Stone-Geary utility function", *Working Paper, Economics*, 2001, St. Francis Xavier University.
- NIESWIADOMY, M.L., "Estimating urban residential demand: effects of price structure, conservation and education", *Water Resources Research*, 28 (3), 1992, pp. 609-615.
- \_\_\_\_\_ y D.J. Molina, "Urban water demand estimates under increasing block rates", *Growth and Change*, 19 (1), 1988, pp. 1-12.
- \_\_\_\_\_ , "Comparing residential water estimates under decreasing and increasing block rates using household data", *Land Economics*, 65 (3), 1989, pp. 280-289.
- \_\_\_\_\_ y S.L. Cobb, "Impact of pricing structure selectivity on urban water demand", *Contemporary Policy Issues*, 11 (6), 1993, pp. 101-113.
- NORDIN, J.A., "A proposed modification on Taylor's demand-supply analysis: comment", *The Bell Journal of Economics*, 7 (2), 1976, pp. 719-721.
- OPALUCH, J., "Urban residential demand for water in the United States: further discussion", *Land Economics*, 58 (2), 1982, pp. 225-227.

- , “A test of consumer demand response to water prices: reply”, *Land Economics*, 60 (4), 1984, pp. 417-421.
- POINT, P., “Partage de la ressource en eau et demande d’Alimentacion en eau potable”, *Revue Economique*, 44 (4), 1993, pp. 849-862.
- RENWICK, M.E. y S.O. Archibald, “Demand side management policies for residential water use: who bears the conservation burden?”, *Land Economics*, 74 (3), 1998, pp. 343-359.
- y R.D. Green, “Do residential water demand side management policies measure up? An analysis of eight California water agencies”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 40, 2000, pp. 37-55.
- RENZETTI, S., “Evaluating the welfare effects of reforming municipal water prices”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 22, 1992, pp. 147-163.
- , *The economics of water demand*, Dordrecht, Países Bajos, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- RIETVELD, P., J. Rouwendal y B. Zwart, “Block rate pricing of water in Indonesia: an analysis of welfare effects”, *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 36(3), 2000, pp. 73-92.
- ROGERS, P.R. de Silva y R. Bhatia, “Water is an economic good: how to use prices to promote equity, efficiency and sustainability”, *Water Policy*, 4, 2002, pp. 1-17.
- RUIJS, A., A. Zimmermann y M. van den Berg, “Demand and equity effects of water pricing policies”, *Mansholt Working Paper MWP 18*, Países Bajos, Universidad de Wageningen, 2005.
- SALETH, R.M. y A. Dinar, *Urban thirst: water supply augmentation and pricing policy in Hyderabad city*, India, The World Bank Technical Paper núm. 395, 2000.
- SAVENIJE, H.G., “Why water is not an ordinary economic good, or why the girl is special”, *Physics and Chemistry of the Earth*, Parts A/B/C, vol. 27, núms. 11-22, 2002, pp. 741-744.
- SCHEFTER, J.E. y E.L. David, “Estimating residential water demand under multi-tariffs using aggregate data”, *Land Economics*, 61 (3), 1985, pp. 272-280.
- SCHNEIDER, M.L. y E.E. Whitlatch, “User-specific water demand elasticities”, *Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE*, 117 (1), 1991, pp. 52-73.
- SHEN, D., X. Yang, H. Wang, D. Wang y J. Ma., “Analysis of urban residential water demand functions in China”, *Chinese Journal of hydraulic engineering*, 12, 1999, pp. 6-10.

- STRAND, J. y I. Walker, "Water markets and demand in Central American cities", *Environment and Development Economics*, 10, 2005, pp. 313-335.
- TAYLOR, L.D., "The demand for electricity: a survey", *The Bell Journal of Economics*, 6 (1), 1975, pp. 74-110.
- UNEP (2005), <http://geodata.grid.unep.ch>
- WALKER, I., F. Ordoñez, P. Serrano, y J. Halpern, "Pricing, subsidies, and the poor", *Policy Research Working Paper*, núm. 2468, Washington DC, The World Bank, 2000.
- WILLIAMS, M., "Estimating urban residential water demand for water under alternative price measures", *Journal of Urban Economics*, 18 (2), 1985, pp. 213-225.
- y B. Suh, "The demand for urban water by customer class", *Applied Economics*, 18 (2), 1986, pp. 1275-1289.
- WORLD BANK, *World Development Indicators 2003* CD-Rom, Washington DC., World Bank, 2003.

## CAPÍTULO 5

HILDA ROSARIO DÁVILA IBÁÑEZ  
Y ROBERTO M. CONSTANTINO TOTO\*

### *Sistema de uso de derechos de agua potable en el Distrito Federal*

EL AGUA es un recurso vital en el desempeño de las actividades humanas, tanto para la sustentabilidad social como para las actividades económicas. La viabilidad de la ciudad de México depende, en gran medida, de la solución eficiente al problema del abastecimiento de agua potable en el largo plazo.

El análisis de las estrategias gubernamentales para la dotación y operación de los sistemas de abastecimiento de agua con calidad suficiente para el consumo humano, tiene como principales campos de revisión las características demográficas de la población y su distribución en el territorio, las asimetrías en las condiciones de vida y el consumo de agua potable, la gestión de la demanda y los instrumentos específicos que permiten influir en el patrón de consumo de los usuarios domésticos.

Con el propósito de valorar la efectividad de la política de derechos de uso de agua potable utilizada por el gobierno del Distrito Federal en la última década, se evaluó la dinámica de crecimiento de la población y de las viviendas, ya que estas últimas son la unidad de consumo para el servicio de agua potable. El estudio se desarrolló tanto en el tiempo como en la localización geográfica, con el propósito de incluir el fenómeno de desplazamiento de la población hacia las zonas periféricas del Distrito Federal, mismo que se ha presentado en los últimos años.

\* Profesores-investigadores en el Departamento de Producción Económica de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco [hdavila@correo.xoc.uam.mx y rconstan@correo.xoc.uam.mx]. Los autores agradecen la colaboración de la licenciada Martha Patricia García en la elaboración del presente documento.

Posteriormente, a partir de información de la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF), se estimaron los patrones de consumo de agua de los usuarios domésticos por delegación política y por rango de ingreso. Se estableció entonces una correlación entre el consumo total por delegación política y el índice de marginalidad, utilizado como un indicador el nivel de vida de los habitantes de las diferentes delegaciones del Distrito Federal.

Se revisó, asimismo, la política de tarifas de agua aplicadas en los últimos 10 años y se explicó la intencionalidad de las mismas para promover el uso eficiente del agua en la ciudad de México. Se parte de que de las tarifas y los derechos pueden ser un medio para cambiar los patrones de uso y hacer más eficiente la utilización del recurso.

Las tarifas son un elemento fundamental en los programas de uso eficiente del agua. Según Grisham y Flemming, 1989 (citado en National Research Council, 1995), las tarifas pueden ayudar a ahorrar agua si se observan en su estructura los siguientes componentes básicos:

- El primero es la “recuperación de costos”, o la relación directa entre los gastos y los ingresos obtenidos. En un esquema ideal, dicha recuperación debería abarcar la distribución, el desecho y los costos del tratamiento, así como otros gastos, como 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 de hecho no se toman en cuenta.
- El segundo componente es la capacidad de pago de los usuarios. Éste debe ser un elemento fundamental en el diseño de una política de derechos sobre uso de agua, en el entendido de que el fin último es la recuperación de los costos sin afán de lucro.
- La tercera consideración alude a la necesidad de establecer un equilibrio en la distribución de los costos del agua entre hogares con ingresos diferentes.

Un nuevo esquema de derechos para el uso de agua potable también tendría que involucrar consideraciones ambientales en

su diseño, las cuales apuntan a la incorporación de un costo por sobreexplotación de los acuíferos –sujeta a la disponibilidad de fuentes de información respectiva– o bien a promover una cultura que desalentara el consumo y promoviera la conservación del recurso.

No obstante lo anterior, históricamente los precios del agua han sido subsidiados en gran parte por los gobiernos de los países. Sin embargo, desde el punto de vista fiscal y de la corresponsabilidad social, resulta cada vez más difícil continuar con estos esquemas de financiamiento, por lo cual se establecen políticas tarifarias que involucren más al usuario.

En el caso de México, estos subsidios han permitido el acceso a grandes volúmenes de agua a un precio artificialmente bajo. Esta inadecuada estructura de subsidios ha contribuido al uso ineficiente del agua, así como a agudizar su escasez. Pero esta situación no es sólo propia de México, pues hasta hace poco, ofrecer agua a precios bajos 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.

#### DINÁMICA DEMOGRÁFICA POR DELEGACIONES EN EL DISTRITO FEDERAL

DURANTE la última década, la estructura demográfica del Distrito Federal ha alcanzado un nivel de estabilidad relativa. El análisis de largo plazo del desempeño poblacional indica que los cambios en la estructura económica del país han contribuido a modificar la trayectoria demográfica del Distrito Federal desde la década de 1980.

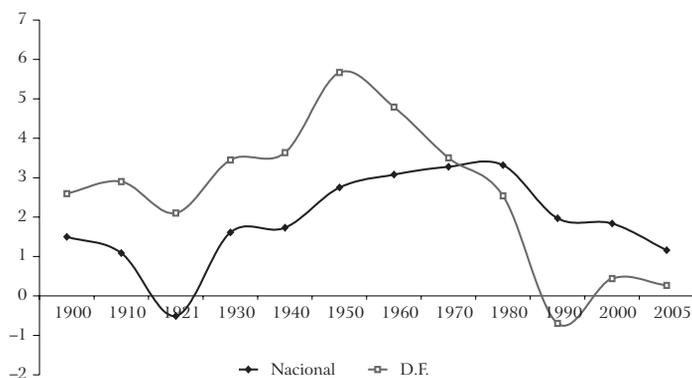
En efecto, el hecho de que la economía haya transitado de un modelo de economía cerrada –para el cual las grandes concentraciones poblacionales eran un precursor importante del bienestar económico, porque dependían del tamaño de los mercados de consumo locales– a uno de economía abierta, generó la relocali-

zación de las actividades productivas y poblacionales hacia otras áreas geográficas, capaces de mantener viabilidad técnica en lapsos relativamente amplios.

Los cambios de la dinámica poblacional que ocurren en México, relacionados con el crecimiento y la forma en que se ha dado su distribución espacial, pueden observarse también en los reacomodos que han ocurrido al interior del Distrito Federal. Dicha entidad está constituida por 16 delegaciones políticas, mismas que a partir de las reformas a su Ley Orgánica tienen un funcionamiento administrativo equiparable al de los municipios del resto de los estados de la Federación. Tradicionalmente, el Distrito Federal creció a tasas superiores que las observadas en todo el país. Desde la década de 1980 se presentó un cambio en dicha tendencia, y la tasa de crecimiento de la población nacional se colocó por encima de la tasa de crecimiento del Distrito Federal (véase gráfica 1).

Desde el punto de vista de la estructura de la ocupación poblacional del territorio, y al igual que varios de los centros metropolitanos del mundo, el Distrito Federal ha evolucionado con una

GRÁFICA 1  
DINÁMICA DEMOGRÁFICA COMPARADA,  
1985-2005



Fuente: INEGI, *Censos de Población y Vivienda*.

dinámica de expulsión habitacional desde el núcleo geográfico urbano hacia sus límites periféricos.

#### DISTRIBUCIÓN DEMOGRÁFICA POR DELEGACIONES (1950-2005)

EL ANÁLISIS de largo plazo de la distribución de la población en cada una de las delegaciones políticas del Distrito Federal, conjuntamente con los cambios ocurridos en su distribución porcentual, nos permite reconstruir la ruta de la expansión dinámica de la población a lo largo del tiempo.

Durante 1950-2005, el Distrito Federal ha mostrado, en diferentes fases, un proceso paulatino de expulsión demográfica desde lo que puede ser considerado el núcleo urbano central hacia el exterior. De acuerdo con la conformación histórica de la estructura demográfica de la ciudad de México, el núcleo urbano fue constituido por las delegaciones políticas que tradicionalmente albergaron a la mayor parte de la población. Éstas son: Benito Juárez, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza.

Como puede observarse en el cuadro 1, el núcleo urbano es un expulsor neto de población. Mientras que en la década de 1950 en esta área se llegó a concentrar más del 70 por ciento de la población, para 2005 la proporción de habitantes que residen en dicho núcleo era menor al 20 por ciento de la población total del Distrito Federal.

La ruta de la expansión migratoria en el Distrito Federal a partir de su núcleo urbano ha sido paulatina. Ello ha permitido diferenciar al resto de las delegaciones de la ciudad de México en un conjunto de zonas de expansión, definidas no sólo por la absorción de emigrantes sino también por su cercanía perimetral respecto del núcleo central.

La zona de expansión primaria está constituida por siete delegaciones políticas: Azcapotzalco, Álvaro Obregón, Coyoacán, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa y Cuajimalpa. Desde la década de 1960, todas ellas recibieron de manera directa el

CUADRO I  
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA POBLACIÓN EN EL DISTRITO FEDERAL,  
1950-2005

<i>Delegación</i>	1950	1960	1970	1990	1995	2000	2005
<i>Núcleo central</i>							
Benito Juárez	11.7	11.03	8.82	4.95	4.36	4.18	4.07
Cuauhtémoc	34.54	22.02	13.4	7.24	6.37	6	5.97
Miguel Hidalgo	14.91	13.35	9.43	4.94	4.29	4.1	4.05
Venustiano Carranza	12.11	11.75	10.5	6.31	5.72	5.38	5.13
Subtotal	73.26	58.14	42.23	23.44	20.74	19.65	19.22
<i>Expansión primaria</i>							
Azcapotzalco	6.16	7.61	7.78	5.76	5.36	5.13	4.87
Álvaro Obregón	3.05	4.52	6.64	7.8	7.97	7.98	8.1
Coyoacán	2.29	3.49	4.94	7.77	7.7	7.44	7.2
Gustavo A. Madero	6.71	11.89	17.25	15.4	14.81	14.36	13.68

Iztacalco	1.11	4.08	6.94	5.44	4.94	4.78	4.52
Iztapalapa	2.51	5.22	7.6	18.1	19.99	20.62	20.87
Cuajimalpa	0.32	0.39	0.53	1.45	1.61	1.76	1.99
Subtotal	22.16	37.2	51.68	61.73	62.37	62.07	61.23
<i>Expansión secundaria</i>							
Magdalena Contreras	0.72	0.84	1.1	2.37	2.5	2.58	2.62
Tláhuac	0.64	0.61	0.91	2.51	3.01	3.52	3.94
Tlalpan	1.07	1.26	1.9	5.89	6.51	6.76	6.96
Xochimilco	1.54	1.44	1.69	3.29	3.91	4.29	4.63
Subtotal	3.98	4.15	5.6	14.06	15.93	17.15	18.15
<i>Expansión terciaria</i>							
Milpa Alta	0.6	0.5	0.49	0.77	0.96	1.13	1.32
Subtotal	0.6	0.5	0.49	0.77	0.96	1.13	1.32
Total	100	100.0	100	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia con base en información del INEGI.

impacto de la relocalización poblacional proveniente del núcleo urbano.

El flujo migratorio de expulsión desde el centro urbano continuó por lo menos hasta los años noventa, periodo en el cual aparentemente se estabilizó. Sin embargo, la dinámica poblacional generó un proceso de segunda expansión del territorio. Si bien la zona de expansión primaria continuó creciendo hasta la década de 1990, lo hizo a tasas decrecientes. La razón de ello consistió en la cada vez mayor colonización de las áreas periféricas de la ciudad de México.

A partir de la década de 1980, la corriente migratoria se concentró en lo que se puede definir como la zona de expansión secundaria; es decir, en el conjunto de las delegaciones políticas del Distrito Federal que comenzaron a alojar a los habitantes de la ciudad con tasas de crecimiento elevadas. Tal es el caso de las delegaciones Magdalena Contreras, Tlalpan, Tláhuac y Xochimilco, mismas que a partir de esa década, y aun durante los noventa, constituyeron áreas de inmigración neta.

A partir de la segunda mitad de los años noventa la expansión poblacional en el área más alejada respecto del núcleo urbano, la delegación de Milpa Alta, cobró auge. Milpa Alta constituye la última frontera de poblamiento en el Distrito Federal y representa, por sí misma, la zona de expansión terciaria (véase cuadro 1).

Desde la perspectiva del aprovisionamiento de los servicios públicos urbanos, pero en particular de los servicios de agua potable y drenaje, la ruta de la expansión demográfica tiene implicaciones importantes: en primer lugar indica que la dotación de éstos es más abundante en las áreas más cercanas al núcleo; y en segundo, señala las áreas en las que las presiones para su aprovisionamiento son más fuertes.

## COBERTURA DEL AGUA POTABLE

LA COBERTURA de agua potable no es el problema principal que debe enfrentar el gobierno. Para 2005, el 97 por ciento de las viviendas

ocupadas del Distrito Federal contaban con el servicio de agua entubada (véase cuadro 2).

Hay que resaltar, no obstante, que la calidad del servicio es muy heterogénea. En las delegaciones del oriente de la ciudad, particularmente en Iztapalapa, el servicio es irregular y la calidad del agua es deficiente.

Por lo anterior, alcanzar a muy corto plazo una cobertura del 100 por ciento para la mancha urbana es muy factible, ya que los rezagos son mínimos y la demanda adicional a cubrir sería sólo la de las nuevas viviendas. En las zonas rurales, el alcance del 100 por ciento en la cobertura, presentaría quizá mayores problemas debido a la dispersión de las viviendas propias de esas zonas. Sin embargo esto no significaría que el abasto regular de agua potable pueda ser alcanzado con la misma facilidad, ya que implica grandes inversiones en infraestructura y una nueva política de gestión de la demanda que permita una redistribución más equitativa del recurso.

#### ANÁLISIS ESPACIAL DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE

##### *Consumo general de agua potable*

El acelerado crecimiento poblacional del Valle de México durante las últimas décadas ha generado un agudo déficit en las fuentes de aprovisionamiento de agua potable para la gran ciudad, y ha obligado a buscar fuentes de abastecimiento de agua externas, principalmente del río Cutzamala. Las fuentes internas de abastecimiento han sido insuficientes para satisfacer la demanda de los habitantes del Distrito Federal y esto último ha generado un agudo desequilibrio entre la extracción y la recarga de los acuíferos.

Las fuentes internas con las que cuenta la ciudad son en su gran mayoría subterráneas y sólo en una pequeña proporción son fuentes superficiales, como es el caso del río Magdalena.

El caudal suministrado al Distrito Federal en 2004 según cifras de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) fue de 32.691 metros cúbicos por segundo, de los cuales 71 por ciento provino de

## CUADRO 2

COBERTURA EN EL SERVICIO DE AGUA POTABLE  
EN EL DISTRITO FEDERAL, 1980-2005

<i>Delegación</i>	<i>1980</i>			<i>1990</i>		
	<i>Viviendas</i>	<i>Con agua</i>	<i>%</i>	<i>Viviendas</i>	<i>Con agua</i>	<i>%</i>
Álvaro Obregón	122,236	114,458	93.64	134,488	129,699	96.44
Azcapotzalco	116,479	113,627	97.55	103,416	101,892	98.53
Benito Juárez	133,973	132,433	98.85	115,319	112,715	97.74
Coyoacán	117,467	111,512	94.93	143,461	140,802	98.15
Cuajimalpa	15,446	13,993	90.59	23,446	22,039	94.00
Cuauhtémoc	198,530	194,836	98.14	159,410	154,390	96.85
Gustavo A. Madero	280,251	263,744	94.11	263,118	257,126	97.72
Iztacalco	105,103	101,837	96.89	93,834	92,591	98.68
Iztapalapa	224,903	184,050	81.84	295,557	276,907	93.69
Magdalena Contreras	31,178	27,492	88.18	40,285	38,679	96.01
Miguel Hidalgo	117,359	114,823	97.84	99,335	96,647	97.29
Milpa Alta	9,407	7,696	81.81	12,328	10,095	81.89
Tláhuac	24,242	21,578	89.01	39,359	36,930	93.83
Tlalpan	69,747	51,541	73.90	103,865	88,279	84.99
Venustiano Carranza	141,654	138,491	97.77	117,820	116,158	98.59
Xochimilco	39,127	36,304	92.79	53,026	47,901	90.33
Distrito Federal	1'747,102	1'628,415	93.21	1'798,067	1'722,850	95.82

Fuente: INEGI, Censos generales de población y vivienda, 1980, 1990 y 2000; y *Conteo General de Población y Vivienda*, 1995.

1995			2000			2005		
<i>Viviendas</i>	<i>Con agua</i>	<i>%</i>	<i>Viviendas</i>	<i>Con agua</i>	<i>%</i>	<i>Viviendas</i>	<i>Con agua</i>	<i>%</i>
156,510	155,024	99.05	163,481	161,760	98.95	178,647	173,145	96.92
107,065	106,744	99.70	109,233	107,707	98.60	111,064	107,920	97.17
112,540	112,360	99.84	113,741	112,909	99.27	114,636	112,226	97.90
160,234	159,781	99.72	163,036	161,184	98.86	167,157	162,221	97.05
29,516	28,726	97.32	33,163	31,724	95.66	41,419	39,883	96.29
149,235	148,770	99.69	147,181	144,117	97.92	149,755	145,382	97.08
287,120	284,794	99.19	295,329	290,136	98.24	297,909	288,252	96.76
95,956	95,765	99.80	98,234	96,873	98.61	99,802	97,655	97.85
369,633	360,403	97.50	403,922	390,748	96.74	433,493	422,479	97.46
48,681	47,268	97.10	51,831	49,969	96.41	57,801	55,346	95.75
95,139	94,988	99.84	94,475	93,226	98.68	98,868	96,941	98.05
17,298	15,183	87.77	21,350	18,575	87.00	26,563	24,459	92.08
55,730	54,390	97.60	69,564	67,459	96.97	82,246	80,328	97.67
129,383	113,823	87.97	140,148	124,733	89.00	148,864	143,586	96.45
118,079	117,848	99.80	116,986	115,672	98.88	114,514	111,327	97.22
72,965	66,695	91.41	82,078	74,300	90.52	92,713	88,032	94.95
2'005,084	1'962,562	97.88	2'103,752	2'038,157	96.88	2'215,451	2'149,182	97.01

los mantos acuíferos, 26.5 por ciento de los ríos Lerma y Cutzamala, y 25 por ciento del río Magdalena. Del caudal total suministrado, se estima que aproximadamente 33 por ciento se pierde como consecuencia del mal estado de la infraestructura hidráulica. De esta forma, en 2004 el caudal neto –es decir volumen total menos pérdidas– suministrado al Distrito Federal fue de 21.9 metros cúbicos por segundo (véase cuadro 3).

CUADRO 3  
CONSUMO TOTAL DE AGUA POTABLE DELEGACIONAL,  
2004

<i>Delegación</i>	<i>Consumo doméstico (m³/s)</i>	<i>Consumo industrial</i>	<i>Consumo total (m³/s)</i>	<i>Pérdidas (m³/s)</i>	<i>Demanda (m³/s)</i>
Iztapalapa	2.732	0.785	3.517	1.528	5.045
Gustavo A. Madero	2.222	0.722	2.944	1.766	4.710
Álvaro Obregón	1.606	0.261	1.867	1.290	3.157
Coyoacán	1.361	0.230	1.591	0.692	2.283
Miguel Hidalgo	1.303	0.047	1.350	0.615	1.965
Tlalpan	1.119	0.143	1.262	0.502	1.764
Cuauhtémoc	0.896	1.171	2.067	0.853	2.920
Venustiano Carranza	0.759	0.496	1.255	0.504	1.759
Azcapotzalco	0.755	0.359	1.114	0.498	1.612
Benito Juárez	0.730	0.504	1.234	0.634	1.868
Iztacalco	0.671	0.346	0.987	0.466	1.453
Xochimilco	0.593	0.117	0.710	0.301	1.011
Magdalena Contreras	0.446	0.400	0.846	0.261	1.107
Cuajimalpa	0.418	0.054	0.472	0.547	1.019
Tláhuac	0.406	0.104	0.510	0.202	0.712
Milpa Alta	0.140	0.035	0.175	0.131	0.306
Distrito Federal	16.157	5.774	21.901	10.789	32.691

Fuente: Unidad Departamental de Planes Maestros de los Sistemas Hidráulicos, *Sistemas de Aguas de la Ciudad de México (SACM)*, 2004.

En 2004, los usuarios domésticos consumieron 73.8 por ciento del consumo neto total suministrado, lo que equivale a un volumen de 16.157 metros cúbicos por segundo; por su parte el

resto del caudal neto suministrado (26.22 por ciento) fue utilizado por la industria, el comercio y los servicios.

El cuadro 3 muestra que las delegaciones que registraron los volúmenes de consumo más altos fueron: Iztapalapa con 2.732 metros cúbicos por segundo que representó 16.9 por ciento del total; Gustavo A. Madero con 2.22 metros cúbicos por segundo, lo que equivale a 13.75 por ciento, y Álvaro Obregón, con 1.606 metros cúbicos por segundo, que constituyó 9.94 por ciento del total de agua consumida durante 2004. Las tres delegaciones mencionadas concentran 40.6 por ciento del agua potable consumida en el Distrito Federal.

Por otra parte, las tres delegaciones con menores porcentajes de consumo total son Cuajimalpa, Tláhuac y Milpa Alta, ya que el consumo que registran juntas representa apenas 5.97 por ciento.

#### DETERMINACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DOMÉSTICO FACTURADO POR DELEGACIÓN

AL ANALIZAR el consumo medio por habitante (véase cuadro 4), se observa un alto grado de heterogeneidad en los patrones de consumo entre las delegaciones. Por ejemplo, Tláhuac presenta un consumo por habitante facturado de 103.25 litros diarios, mientras que en Miguel Hidalgo el mismo indicador es de 340.17. Cabe mencionar que estas delegaciones son los casos extremos del conjunto.

Dada la situación anterior, se plantea la necesidad de instrumentar acciones de política para la gestión del agua que tiendan a disminuir tanto la heterogeneidad como la dispersión en los patrones de consumo.

Con el fin de analizar cuáles deben ser las acciones de política, se evaluaron las 16 delegaciones que conforman el Distrito Federal empleando un criterio de clasificación en función del nivel de consumo de confort de agua potable. Dicho nivel se refiere a la cantidad de agua que requiere un ser humano para satisfacer

sus necesidades de alimentación, higiene y otras en su vivienda. De acuerdo con el Plan Maestro de Agua Potable 1997-2000, el valor estimado de este flujo es de 180 litros por habitante al día.

CUADRO 4  
CONSUMO PROMEDIO POR HABITANTE, 2004  
(l/h/d)

<i>Delegación</i>	<i>Consumo por habitante (l/h/d)</i>
Álvaro Obregón	196.96
Azcapotzalco	152.58
Benito Juárez	184.67
Coyoacán	183.57
Cuajimalpa	222.43
Cuauhtémoc	159.82
Gustavo A. Madero	157.04
Iztacalco	146.21
Iztapalapa	125.12
Magdalena Contreras	165.78
Miguel Hidalgo	340.17
Milpa Alta	116.29
Tláhuac	103.25
Tlalpan	157.22
Venustiano Carranza	149.01
Xochimilco	126.79
Distrito Federal	159.85

Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por la Unidad Departamental de Planes Maestros de los Sistemas Hidráulicos, *Sistemas de Aguas de la Ciudad de México (SACM)*, 2004.

Como se puede observar en el cuadro 4, Coyoacán es la delegación que más se aproxima a este nivel de consumo, con 183 litros por habitante al día. Miguel Hidalgo, Cuajimalpa, y Álvaro Obregón observan consumos por habitante mayores al nivel de confort, y presentan 318, 208, y 196 litros por habitante al día, respectivamente. En el resto de las delegaciones se observan consumos menores al nivel de confort.

## RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE MARGINALIDAD Y LA ESTIMACIÓN DEL MONTO FACTURADO POR USUARIO

AL REALIZAR el análisis delegacional sobre los volúmenes de agua potable por usuario resulta conveniente relacionar la congruencia de estos montos respecto de algún indicador de calidad de vida. De acuerdo con el índice de marginación por delegación, se esperaría que la relación entre estos dos indicadores fuera inversa; es decir, que entre más alto sea el índice de marginalidad que presente una delegación,<sup>1</sup> menor sea el consumo de agua por usuario.

En general, existe correspondencia entre los consumos promedio y las estimaciones del índice de marginalidad por delegación. La correlación entre el consumo por habitante y el índice de marginalidad en 2004 fue de  $-0.510$  lo cual es congruente con lo planteado.

Lo anterior significa que, por lo general, las delegaciones con mayores índices de marginalidad presentan los menores consumos de agua; de la misma manera, las delegaciones consideradas con un bajo índice de marginalidad presentan los consumos más altos, y esto se puede observar claramente en el cuadro 5.

No obstante lo anterior, destacan los casos de Magdalena Contreras y Miguel Hidalgo cuya heterogeneidad en las condiciones de vida de su población eleva las medias de consumo de agua potable. En la delegación Magdalena Contreras se observa que, a pesar de que existe un nivel de marginación alto, el consumo de agua potable es alto. Por su parte, en la delegación Miguel Hidalgo se presenta el consumo per cápita más alto, a pesar de que sus condiciones de vida no son las mejores del Distrito Federal.

<sup>1</sup>El índice de marginación se estima a partir de una serie de indicadores censales respecto al nivel educativo, de ingreso y condiciones de vida de la población mediante el método de componentes principales, de forma tal que un valor más alto indica peores condiciones de vida.

## CUADRO 5

ÍNDICE DE MARGINALIDAD Y CONSUMO DE AGUA POTABLE  
POR USUARIO DOMÉSTICO

<i>Delegación</i>	<i>Índice de marginalidad</i>		<i>Consumo por habitante (l/h/d)</i>
	<i>Índice</i>	<i>Consumo por usuario (m<sup>3</sup>)</i>	
Milpa Alta	4.83	29.67	116.29
Iztapalapa	2.96	33.52	125.12
Magdalena Contreras	2.29	41.77	165.78
Tláhuac	1.9	26.20	103.25
Xochimilco	1.77	34.92	126.79
Cuajimalpa de Morelos	0.93	54.33	222.43
Álvaro Obregón	0.89	48.08	196.96
Gustavo A. Madero	0.66	39.96	157.04
Iztacalco	0.27	35.62	146.21
Venustiano Carranza	-0.32	35.34	149.01
Tlalpan	-0.55	40.40	157.22
Azcapotzalco	-1.32	36.27	152.58
Cuauhtémoc	-1.72	31.95	159.82
Miguel Hidalgo	-2.96	69.68	340.17
Coyoacán	-3.05	43.49	183.57
Benito Juárez	-6.58	33.72	184.67

Fuente: Estimaciones propias con base en el SCIMCE de 2000, INEGI.

DISPERSIÓN EN EL CONSUMO  
DE AGUA POTABLE

A PESAR de que el agua potable es un bien de consumo universal y su acceso ha sido considerado por las Naciones Unidas un derecho universal, existe una gran dispersión en su consumo. En el Distrito Federal, por ejemplo, esto último se puede visualizar en el cuadro 6 en el que se muestra la distribución de usuarios en 2004, en función de su consumo bimestral en metros cúbicos. El 32.47 por ciento de los usuarios se encuentra dentro de lo que se ha considerado el rango de confort promedio para una familia; por otra parte 78.85 por ciento de los usuarios tienen consumos menores a 50 metros cúbicos

bimestrales; el 11 por ciento consume menos de 10 metros cúbicos, y 0.38 por ciento restante está conformado por grandes usuarios, es decir por quienes consumen más de 180 metros cúbicos. Si bien esta dispersión está relacionada por un lado con el tamaño de las familias, refleja principalmente la heterogeneidad en la distribución de los niveles de vida, lo que trae como consecuencia viviendas con tamaños y calidades muy diferentes que imponen niveles de consumo muy contrastantes.

Con respecto al pago promedio por usuario, la media del Distrito Federal se ubica en 110.25 pesos bimestrales. El mayor porcentaje de usuarios paga un promedio de 84 pesos y el 23.83 por ciento de usuarios reportaron un consumo menor a 23 pesos. Por otra parte, solamente alrededor del 1 por ciento gasta más de 1,000 pesos bimestrales por consumo de agua potable.

CUADRO 6  
DISTRIBUCIÓN DE LOS USUARIOS  
EN FUNCIÓN DE LOS RANGOS DE CONSUMO, 2004

<i>Rango de consumo</i>	<i>% de usuarios por rango de consumo</i>	<i>% consumo</i>	<i>Pago bimestral por usuario</i>
0-10	11.20	1.10	11.57
10-20	12.62	4.86	22.32
20-30	22.55	14.55	37.55
30-50	32.47	33.20	84.35
50-70	11.86	18.27	163.67
70-90	5.10	11.43	273.21
90-120	2.76	8.77	478.98
120-180	1.12	5.13	984.77
180-240	0.20	1.29	2,069.59
240-420	0.10	0.91	4,267.35
420 y más	0.02	0.48	7,135.68

Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por la Dirección de Informática del Sistema de Aguas de la Ciudad de México.

## NIVEL DE SUBFACTURACIÓN

UN ELEMENTO de referencia importante para establecer una política eficiente de tarifas para el consumo de agua potable, consiste en la comparación del padrón de usuarios utilizado para la facturación y el reportado, puesto que en ambos existen diferencias significativas en todas las demarcaciones del Distrito Federal.

La razón de estas diferencias tiene que ver con la incorporación de las viviendas al padrón de facturación doméstico. Lo anterior implica establecer ciertas consideraciones que facilitan entender la no coincidencia y que se pueden expresar como sigue:

- En el padrón de facturación de agua potable define un usuario a partir de la existencia de una toma. Es posible que varias viviendas puedan abastecerse de agua potable a partir de la misma toma.
- Existe un conjunto de viviendas que tienen acceso a los servicios de agua potable y que no están reportadas y/o no pagan por los consumos realizados, por lo tanto, no aparecen en el padrón de facturación de la CADF.
- Existen inmuebles que se utilizan tanto como vivienda como para desarrollar una actividad económica, los cuales son registrados en la categoría de usuarios mixtos.

Las diferencias entre el total de usuarios domésticos inscritos en el padrón de consumo y el padrón correspondiente a la facturación de usuarios domésticos se pueden observar en el cuadro 7. Dicha diferencia es de 477,567 usuarios.

Los datos anteriores dan cuenta a su vez del déficit en la recaudación respecto del consumo a partir de las diferencias registradas en los padrones de usuarios correspondientes. Se observa que el porcentaje de usuarios no facturados en el Distrito Federal es del 22.2 por ciento. De éstos, las delegaciones cuyos padrones de usuarios tienen las menores diferencias son: Benito Juárez, Coyoacán y Cuauhtémoc, lo cual indica que los montos recaudados son más aproximados a los montos consumidos realmente.

Por el contrario, las demarcaciones cuyos déficit en recaudación se aprecian como los más altos –debido a que se encuentran por encima de la media para el Distrito Federal– son Milpa Alta, Magdalena Contreras y Cuajimalpa, con porcentajes de usuarios no facturados por arriba del 35 por ciento.

CUADRO 7  
USUARIOS REGISTRADOS, 2004

<i>Delegación</i>	<i>Usuarios registrados en el padrón de consumo</i>	<i>Usuarios en el padrón de facturación</i>	<i>Porcentaje de usuarios no facturados</i>	<i>Facturación promedio por usuario (\$)</i>
Milpa Alta	24,459	14,471	40.84	162
Magdalena Contreras	55,346	34,087	38.41	576
Cuajimalpa	39,883	25,859	35.16	337
Gustavo A. Madero	288,252	194,435	32.55	426
Xochimilco	88,032	61,569	30.06	305
Azcapotzalco	107,920	77,577	28.12	413
Venustiano Carranza	111,327	80,101	28.05	420
Iztacalco	97,655	71,072	27.22	461
Álvaro Obregón	173,145	128,248	25.93	726
Tlalpan	143,586	112,108	21.92	521
Tláhuac	80,328	64,242	20.03	250
Iztapalapa	422,479	344,914	18.36	295
Miguel Hidalgo	96,941	83,592	13.77	840
Benito Juárez	112,226	99,856	11.02	424
Coyoacán	162,221	146,286	9.82	467
Cuauhtémoc	145,382	133,198	8.38	313
Distrito Federal	2'149,182	1'671,615	22.22	479

Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por la Unidad Departamental de Planes Maestros de los Sistemas Hidráulicos, *Sistemas de Aguas de la Ciudad de México (SACM)*, 2004, y con información del *Conteo de Población 2005*.

## EVOLUCIÓN DE LOS DERECHOS DE USO DEL AGUA EN EL DISTRITO FEDERAL

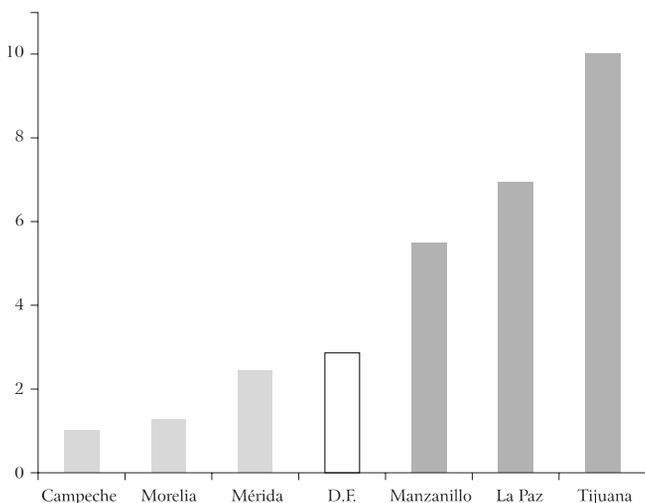
PARALELAMENTE a los niveles de subfacturación, existe otro elemento fundamental para lograr la autosuficiencia el sistema de agua potable del Distrito Federal, y es la política de derechos de uso.

En el Distrito Federal, esta política no se ha diseñado con el objetivo de lograr la autosuficiencia del sistema. Se estima que el monto de lo recaudado por el cobro de los derechos a los usuarios cubre entre 25 y 80 por ciento de los costos del sistema de agua potable, dependiendo de los rubros que se incluyan.

Lo anterior no es una política privativa del gobierno de la ciudad de México. La tendencia en el ámbito nacional ha sido mantener cuotas muy subsidiadas. En 2006, solamente seis áreas de la República según datos de la Conagua, han seguido una política diferente, éstas son; Tijuana, Manzanillo, Nuevo León, Pachuca, Aguascalientes y Querétaro. En términos reales, en estas zonas se han incrementado las cuotas. En el resto el país, tanto las cuotas mínimas como las máximas, muestran una tendencia a permanecer constantes, o a disminuir.

En el sistema de cobro de agua potable existen dos tipos de derechos de agua: los de cuota fija –aplicados a usuarios sin me-

GRÁFICA 2  
CUOTA POR METRO CÚBICO EN CONSUMO  
DE 30 METROS CÚBICOS POR MES



Fuente: Conagua-SGIHU-Gerencia de Fortalecimiento Institucional, 2004.

didor– y los de cuota en función del volumen consumido, los cuales son progresivos.

A partir de 1990, la tendencia en el sistema de cobro de agua ha sido incrementar el universo de usuarios que cotizan en función del volumen consumido, para lo cual, a partir de 1994 se intensificó la instalación de medidores en las viviendas. Para 2005, la ciudad de México contó con una cobertura del 65 por ciento de medidores en funcionamiento.

#### DERECHOS DE USO EN FUNCIÓN DEL VOLUMEN CONSUMIDO

EN LA ESTRUCTURA de derechos en función del volumen, se pueden establecer dos etapas: la primera ubicada en el periodo anterior a 1996, cuando las cuotas se establecieron en forma escalonada y progresiva. En la segunda, iniciada en 1997, se instrumentó un sistema de cuotas continuas.

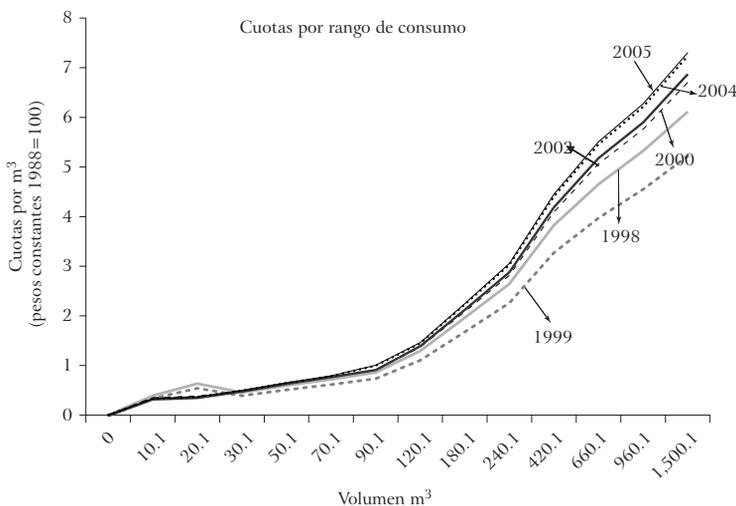
La estructura escalonada tenía la gran desventaja de que los incrementos en los derechos de uso eran muy abruptos cuando se pasaba de un intervalo de consumo inferior a uno superior. Llegó a haber algunos casos en los que el incremento marginal en la cuota era del 100 por ciento, aunque el incremento en el volumen consumido era sólo de un decímetro cúbico.

Desde 1997, con el establecimiento de un sistema de derechos estimado a partir de una cantidad fija, más una parte variable –la cual se calcula multiplicando el excedente del volumen consumido respecto del volumen mínimo del intervalo, por la cuota correspondiente a ese intervalo– la estructura de derechos se convirtió en una función continua de tipo polinomial de tercer grado. Lo anterior genera cuotas medias progresivas en cada nivel de consumo de agua potable.

En el análisis de los sistemas de cobros de derechos en este último periodo, que se presenta en la gráfica 3 y el anexo 1 se puede enfatizar la importancia de los siguientes elementos:

- El nivel de las cuotas medias en términos reales, para los diferentes intervalos de consumo indica la intencionalidad del gobierno para promover una política de reducción de subsidios al consumo de agua potable. Sin embargo, esta política no es regular y se visualiza sobre todo en los niveles de consumo alto, mayores a 90 metros cúbicos bimestrales por usuario.
- La forma de las funciones, que describen los sistemas de cuotas, indica la progresividad de la estructura de cobro; es decir, refleja la intencionalidad de los criterios ambientales para moderar los consumos.

GRÁFICA 3  
FUNCIÓN DE CUOTAS PARA AGUA DE USO DOMÉSTICO,  
1998-2005



Fuente: Elaboración propia.

### PROGRESIVIDAD DE LA ESTRUCTURA DE DERECHOS DE USO

OTRA FORMA paralela de evaluar la progresividad es mediante la estructura de los derechos, con respecto a los volúmenes consumidos.

La estructura de derechos es progresiva si los incrementos entre los distintos intervalos de consumo son crecientes a lo largo de ella.

Existen diversos métodos para evaluar tanto el nivel de progresividad como la sensibilidad de una distribución, entre ellos el índice de GINI<sup>2</sup> y las elasticidades. En la estructura de derechos sobre consumo de agua es pertinente la utilización de ambos.

Tradicionalmente el índice de GINI se ha empleado para evaluar la desigualdad en la distribución del ingreso. En dicho contexto, si el coeficiente de GINI tiene un valor cercano a uno, entonces la distribución del ingreso es más desigual; por el contrario, si su valor tiende a ser cero, la distribución del ingreso será más igualitaria. Es decir, el ingreso es más homogéneo entre menor sea el coeficiente de GINI, y es más heterogéneo si el coeficiente tiende a uno.

El índice de GINI se utiliza para evaluar la progresividad en el análisis de los derechos de agua. Entonces, si el coeficiente tiene un valor cercano a uno, la estructura de derechos será más progresiva; y por el contrario, si el valor del coeficiente tiende a cero, la estructura será menos progresiva.

El coeficiente de GINI mide la progresividad global de la estructura de derechos, a diferencia de las elasticidades, las cuales miden la sensibilidad en los diferentes intervalos de consumo.

## ÍNDICE DE GINI

UNA POLÍTICA de administración de agua potable debe tener como uno de sus principales objetivos racionalizar el consumo mediante el establecimiento de una estructura progresiva de derechos en función del volumen consumido.

<sup>2</sup>En el caso del índice de GINI para la estructura de derechos, la relación que se emplea es:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - Q_i}{\sum P_i}$$

donde:

G = índice de GINI.

P = Porcentaje acumulado de consumo para el *i*ésimo rango de consumo.

Q = Porcentaje acumulado de pago de derechos por volumen de consumo para el *i*ésimo rango de consumo.

CUADRO 8  
 ÍNDICE DE GINI PARA EL PAGO  
 POR DERECHOS DE CONSUMO DE AGUA

<i>Coficiente de GINI 1998-2005</i>	
<i>Año</i>	<i>GINI</i>
1998	0.417
1999	0.417
2000	0.425
2001	0.425
2002	0.425
2003	0.426
2004	0.427
2005	0.427

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el cuadro 8, la política de administración de agua ha sido consistente para los años que se analizan. El coeficiente presentó un importante incremento, al pasar de 0.417 en 1999 a 0.425 en 2000, y fue hasta el año 2003 que presentó un nuevo aumento aunque mínimo, que se repitió en magnitud y sentido en 2004.

Con la revisión del coeficiente de GINI podría parecer que el sistema de derechos se utiliza como un instrumento para racionalizar el consumo del agua; sin embargo, este fenómeno es meramente estadístico. La razón de ello es que el incremento del coeficiente se debe básicamente al aumento en las cuotas de los intervalos superiores de consumo, en los cuales el universo de usuarios es muy reducido, si no es que inexistente.

Lo anterior conduce a señalar que el incremento en la progresividad que se observa no fue efectivo y, por lo tanto, no necesariamente se reflejó en la facturación.

#### ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

UNA DE LAS formas mediante las cuales se desarrolla el análisis de la sensibilidad de los cambios relativos de una variable respecto

de otra, es mediante el cociente de los cambios porcentuales de las variables en cuestión.

Para el caso particular de las cuotas por derechos de agua, la elasticidad se calcula como el cociente del cambio porcentual en las tarifas en relación con el cambio en los volúmenes de consumo.

Los resultados posibles que se pueden obtener al calcular las elasticidades son los siguientes:

- Si el incremento porcentual en las cuotas es mayor que el incremento porcentual en los volúmenes, se esperaría una elasticidad con valor absoluto mayor que uno.
- Si el incremento porcentual en las cuotas es igual al incremento porcentual en los volúmenes se esperaría una elasticidad con valor absoluto igual a uno.
- Si el incremento porcentual en las cuotas es menor al incremento porcentual en los volúmenes se esperaría una elasticidad con valor absoluto menor a uno.

De acuerdo con lo anterior, si la intencionalidad de la política fuera racionalizar el consumo de agua se esperaría una elasticidad mayor que uno y creciente a lo largo de la estructura. De otro modo, las cuotas no reflejarían la intencionalidad del gobierno por incorporar criterios ambientales mediante su aplicación.

De la misma manera que el análisis del coeficiente de GINI, las elasticidades por intervalo reflejan la inconsistencia de la política en el diseño de las cuotas por derechos.

Como se observa en el cuadro 10, desde 1998 hasta 2005 en ninguno de los rangos de consumo la elasticidad es igual o superior a uno, y consistentemente para todos los años entre los rangos de consumo de 90-120, 120-180 y 240-420 metros cúbicos se encuentran las elasticidades más cercanas a la unidad.

En suma, en la política de administración de la demanda la estructura de derechos no se ha utilizado de la forma más efectiva posible, por lo que es importante modificar la estrategia seguida por el Legislativo local de actualizar las cuotas, principalmen-

te en función de la inflación inmediata anterior y diseñar una nueva estructura acorde con la intencionalidad ambiental de la política.

CUADRO 10  
ELASTICIDADES POR RANGO DE CONSUMO

<i>Volumen (m<sup>3</sup>)</i>	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
10-20	0.62	0.62	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10
20-30	-0.28	-0.28	0.24	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
30-50	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
50-70	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
70-90	0.20	0.20	0.18	0.18	0.18	0.27	0.27	0.27
90-120	0.50	0.50	0.52	0.52	0.52	0.45	0.45	0.45
120-180	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.54	0.54	0.54
180-240	0.35	0.35	0.36	0.36	0.36	0.38	0.36	0.36
240-420	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.43	0.46	0.46
20-660	0.22	0.22	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
660-960	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
960-1,500	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16

Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

DADA LA vital importancia que tiene el agua en las actividades humanas, la viabilidad de la ciudad de México actualmente requiere de encontrar la solución eficiente al problema del abastecimiento del valioso recurso en el largo plazo, de tal forma que garantice el acceso universal a toda la población.

La responsabilidad principal del abastecimiento del servicio de agua potable recae en el sector público por lo que en las estrategias gubernamentales que se utilicen para la dotación y operación de los sistemas de abastecimiento de agua, forzosamente se deben incorporar las características demográficas de la población, así como su distribución en todo el territorio; asimismo, es preciso incluir aspectos sociales, como las asimetrías en las condiciones de vida y el consumo de agua potable y, por último, gestionar la

demanda y las herramientas adecuadas que permitan influir en el patrón de consumo de los usuarios domésticos.

Para el caso específico del Distrito Federal el crecimiento demográfico ha alcanzado un nivel de estabilidad relativa en años recientes, producto de los cambios económicos que ha enfrentado el país. Sin embargo, la redistribución al interior del territorio ha continuado a pesar de las medidas gubernamentales que se han tomado para frenar esta expansión. Recientemente esta expansión se dirige principalmente a las delegaciones del lado poniente y sur de la ciudad, específicamente en Magdalena Contreras, Tláhuac, Xochimilco, Tlalpan y Milpa Alta. Debido a lo anterior la presión sobre el abastecimiento de agua potable se concentrará en esta zona.

En la actualidad el problema de abastecimiento de agua potable no se centra principalmente en la cobertura ya que ésta es cercana al 98 por ciento, sino principalmente en la distribución entre las diferentes delegaciones del Distrito Federal, y sobre todo en lo referente a la regularidad y calidad del servicio. De ahí que exista gran heterogeneidad en el consumo medio por habitante entre las delegaciones, la cual está correlacionada con los índices de marginación correspondientes.

Dada la situación anterior, se plantea la necesidad de instrumentar acciones de política para la gestión del agua que tiendan a disminuir tanto la heterogeneidad como la dispersión en los patrones de consumo. Estas acciones no pueden basarse en el incremento de la oferta del recurso para cubrir los rezagos ya que existe una sobreexplotación y deterioro de los acuíferos que abastecen a la ciudad, sino más bien, la tendencia debe orientarse a la redistribución de la demanda.

Uno de los instrumentos más importantes para reorientar la demanda de agua potable lo constituyen las políticas para el establecimiento de los derechos de uso en el Distrito Federal, que debe conciliar criterios como el acceso universal al agua potable a un nivel de confort, así como desestimular los consumos altos de agua potable, al mismo tiempo que garantice la viabilidad financiera en el largo plazo.

A pesar de que se han hecho algunos esfuerzos en ese sentido, éstos no son suficientes ya que no han sido consistentes a lo largo del tiempo, por lo que es importante modificar la estrategia seguida por el Legislativo local de actualizar las cuotas en función principalmente de la inflación inmediata anterior y diseñar una nueva estructura que sea acorde con la intencionalidad ambiental de la política. Una propuesta para el diseño de una estructura alternativa está en el capítulo 6 “Hacia una metodología alternativa para la determinación de las tarifas aplicadas al consumo de agua en el sector doméstico urbano del Valle de México”, de este libro.

### ANEXO I CUOTA POR METRO CÚBICO

Volumen (m <sup>3</sup> )	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.1	0.39	0.33	0.35	0.33	0.33	0.33	0.33	0.34
20.1	0.63	0.54	0.39	0.36	0.36	0.37	0.36	0.37
30.1	0.46	0.39	0.48	0.49	0.49	0.50	0.49	0.50
50.1	0.60	0.51	0.63	0.65	0.64	0.65	0.65	0.65
70.1	0.72	0.61	0.76	0.78	0.78	0.79	0.78	0.79
90.1	0.86	0.73	0.90	0.93	0.92	1.00	1.00	1.01
120.1	1.29	1.10	1.37	1.41	1.40	1.45	1.45	1.46
180.1	1.96	1.67	2.08	2.14	2.13	2.23	2.22	2.24
240.1	2.64	2.26	2.82	2.90	2.89	3.09	3.03	3.05
420.1	3.83	3.27	4.09	4.21	4.20	4.43	4.41	4.45
660.1	4.65	3.97	5.06	5.20	5.20	5.48	5.46	5.51
960.1	5.33	4.55	5.76	5.92	5.91	6.24	6.21	6.27
1,500.1	6.11	5.22	6.71	6.90	6.89	7.27	7.24	7.30

Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por la Unidad Departamental de Planes Maestros de los Sistemas Hidráulicos, *Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM)*, 2004.

### BIBLIOGRAFÍA

- CNA (CONAGUA), *Subsector de agua potable en México, 2001-2006*.  
 DIRECCIÓN DE INFORMÁTICA DEL SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO,  
*Planes de Acciones Hidráulicas Delegacionales 2001-2005*.  
 INEGI, *Censo de Población y Vivienda, 2000*.

———, *Conteo General de Población*, 2005.

———, *Estados Unidos Mexicanos; cien años de censos de población*, 1996.

———, SCINCE, 2000.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, Academia de la Investigación Científica, A.C., Academia Nacional de Ingeniería, A.C., *El suministro de agua de la ciudad de México, mejorando la sustentabilidad*, Washington, DC, National Academy Press, 1995.

UNIDAD DEPARTAMENTAL DE PLANES MAESTROS DE LOS SISTEMAS HIDRÁULICOS, *Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM)*, 2004.

## CAPÍTULO 6

HILDA ROSARIO DÁVILA IBÁÑEZ  
Y ROBERTO M. CONSTANTINO TOTO\*

### *Hacia una metodología alternativa para la determinación de las tarifas aplicadas al consumo de agua en el sector doméstico urbano del Valle de México*

#### ANTECEDENTES

EN EL DISEÑO de respuestas institucionales para promover un uso social más adecuado de los acervos de agua con que cuenta actualmente el ámbito urbano, las estrategias de precio fijadas para los servicios públicos o tarifas, pueden ser un elemento importante para fortalecer los instrumentos de gobierno.

Sin embargo, referirse a los precios como un instrumento de la gestión gubernamental, es un asunto por sí mismo ya complicado, que se vuelve todavía más si lo asociamos con bienes de naturaleza pública, como en el caso del agua. Al respecto, debemos recordar que en las sociedades latinoamericanas contemporáneas, en general, y en la mexicana en particular; existe un relativo rechazo social a la utilización de los precios como un mecanismo de catalisis en la gestión urbana del agua.

Las razones que explican lo anterior son abundantes, y van desde consideraciones en torno de la desigualdad en la distribución del ingreso, la transparencia en la utilización de los recursos, y en la determinación de los niveles tarifarios que corresponden a los diferentes segmentos poblacionales, la credibilidad que justifica la existencia de subsidios cruzados y la poca credibilidad institucional.

\* Profesores-investigadores en el Departamento de Producción Económica de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco [hdavila@correo.xoc.uam.mx y rconstan@correo.xoc.uam.mx].

En este capítulo se abordarán algunas dimensiones metodológicas de la determinación de tarifas por concepto de consumo de agua potable que satisfacen condiciones sociales heterogéneas y que potencialmente promueven un uso más adecuado de los acervos de agua en el sector social.

El capítulo está dividido en cuatro apartados. En los tres primeros se presentan las consideraciones que facilitan la interpretación de las tarifas como un instrumento auxiliar y plausible en la gestión hidráulica urbana. En el primer apartado se aborda la diferencia entre los enfoques de la oferta y la demanda en la estrategia gubernamental de abastecimiento de agua. El segundo está orientado al análisis de los vínculos entre un patrón cuidadoso de aprovechamiento del agua y los precios. Asimismo, en la tercera sección se abordan las nociones teóricas e institucionales relevantes en torno a la demanda de agua por parte de los consumidores domésticos. El cuarto apartado está dedicado al análisis estrictamente metodológico de las diferentes opciones tarifarias que se pueden diseñar e instrumentar como parte de la estrategia de políticas públicas destinadas a la gestión de la demanda de agua.

AGUA Y GOBIERNO:  
DE LAS ESTRATEGIAS DE OFERTA  
A LAS DE GESTIÓN DE LA DEMANDA

EL ESCENARIO contemporáneo que presenta el agua como un asunto de la agenda institucional, no puede comprenderse de manera adecuada si no se considera el proceso evolutivo del que proviene.

La idea de utilizar vectores de precio como un mecanismo que complemente las capacidades gubernamentales para garantizar el acceso al agua entre la población, con la calidad y en las cantidades requeridas por el desarrollo social, tiene implicaciones más profundas, que van más allá de la noción de cobrar más por los consumos de bienes crecientemente escasos.

Al plantearse la iniciativa de incorporar a los precios como instrumentos auxiliares de la gestión hidráulica, se suele incurrir, deliberada o involuntariamente, en algunas imprecisiones que desvían la atención del asunto verdaderamente esencial, que es el del potencial que tienen los precios para desplazar las pautas de consumo de agua de algunos núcleos sociales en el corto plazo.

Es claro que la efectividad de los precios para acompañar y reforzar las políticas de gestión que promuevan un empleo más adecuado de los acervos de agua en una sociedad es diferencial, y siempre dependerá de la consistencia de la arquitectura institucional, de la capacidad tecnológica y del grado de compromiso de quienes se encargan de tomar decisiones. En la búsqueda de recursos de gobierno para mejorar el sector hidráulico en una sociedad, los precios pueden constituir un apoyo invaluable, al ampliar las opciones de gestión, no necesariamente generalizable.

El caso del agua no puede ser revisado únicamente con base en una dimensión analítica. En el problema social de su disponibilidad convergen un conjunto de determinantes que pueden resumirse en las condiciones estructurales de la oferta y demanda de los flujos de agua en el ámbito urbano.

En un esquema como el que se menciona, el balance social de agua en un núcleo urbano como el del Distrito Federal está caracterizado por las condiciones que acotan y restringen la oferta de agua y, de igual manera, por el conjunto de elementos estructurantes de la demanda. Entre las primeras, son significativas las condiciones de disponibilidad superficial y subterránea locales y foráneas, así como la capacidad tecnológica para extraer, potabilizar, bombear, distribuir y disponer; por supuesto, las finanzas públicas que se requieren para mantener el ciclo de abastecimiento.

Por su parte, entre los determinantes más importantes de la demanda están la disponibilidad de ingreso, y la manera en la que esto se traduce en un proceso de apropiación del territorio; los patrones culturales de aprovechamiento del agua para la satisfacción de las necesidades en el ámbito doméstico, y la inercia de la dinámica demográfica.

Aun cuando en el balance hidráulico de la ciudad de México, existe un aparente equilibrio entre el abastecimiento y el consumo de agua, subsisten diferencias importantes tanto en la disponibilidad como en los patrones de consumo entre sus habitantes. Todo lo anterior hace pensar que, al menos para el caso de esta área geográfica, la demanda efectiva de agua es superior a la oferta, dada la actual estructura del consumo y las notables deficiencias en el abastecimiento.

Para el caso de la cuenca del Valle de México, y en particular para el patrón de aprovechamiento de agua en el Distrito Federal –en el que el consumo de agua por parte de los usuarios domésticos es el origen de la demanda sectorial más importante– los precios pueden ser utilizados como un mecanismo compensatorio y homologador de dicho patrón entre los usuarios domésticos.

Pero, ¿cómo es que los recursos públicos parecieran no ser suficientes para el sector hidráulico en la ciudad de México? Si bien los precios pueden tener un objetivo mucho más amplio que el solo afán recaudatorio –como incentivar un uso más prudente del agua entre aquellos núcleos que tienen tasas de aprovechamiento superiores al promedio de la ciudad en su conjunto– no puede pasarse por alto que las finanzas públicas son finitas.

La estrategia para el abastecimiento de agua en la ciudad de México, ha estado constituida sobre la base de una política expansiva de la oferta. Es decir, el abastecimiento de agua se ha promovido con base en el crecimiento de la extracción de las fuentes de abastecimiento y con cargo al presupuesto público. Y no se han promovido incentivos para mejorar la eficiencia entre los usuarios. Ejemplos de ello los constituyen los procesos de deterioro y agotamiento de los acuíferos locales, las crecientes obras de infraestructura para el abastecimiento complementario por parte de efluentes externos y la subsistencia de patrones de aprovechamiento dispendiosos entre algunos grupos sociales.

Desde la perspectiva anterior, el proceso de transición de la política de abastecimiento de agua en el ámbito urbano de la ciudad de México –desde una política de oferta basada en la extracción de los recursos hídricos a un ritmo de crecimiento cada vez mayor,

hacia otra de gestión de la demanda, en la que fuera posible hacer más eficiente la utilización del agua destinada al sector doméstico, ampliar la cobertura del abastecimiento en la calidad y las cantidades requeridas sin aumentar en la misma tasa la extracción de recursos hidráulicos— puede ser promovido mediante el uso activo de tarifas.

Desde la perspectiva del cumplimiento de objetivos hidráulicos y de sustentabilidad ambiental, los precios pueden catalizar el cambio cultural requerido que desplace los patrones de aprovechamiento y facilite un proceso redistributivo del agua entre diferentes segmentos sociales, de manera que la reducción del consumo entre diferentes grupos sociales pueda convertirse en el incremento del caudal disponible en otros. Lo anterior, sin contar con que el fortalecimiento financiero del organismo operador puede mejorar la disponibilidad, al reducir la pérdida de flujos debidos a la falta de modernización y mantenimiento de las redes de distribución primaria y secundaria.

Una pregunta pertinente ante los planteamientos anteriores consiste en saber si los vectores de precio que pudieran construirse para atender objetivos ambientales e hidráulicos, podrían adaptarse para atenuar las condiciones de desigualdad social y exclusión, de forma tal que la arquitectura de un mecanismo institucional para promover un uso socialmente más precavido del agua no comprometiera los niveles de bienestar social, sino que por el contrario, pudiera contribuir a atenuar las diferencias, al menos desde la perspectiva del acceso al agua.

Es claro, sin embargo, que una estrategia de gestión urbana del agua no puede descansar únicamente en la construcción de vectores de precio. Una respuesta institucional en este sentido sería claramente incompleta. En algunas ocasiones, con un afán simplificador, se considera que la decisión de emplear de manera más activa la estrategia de precios de los servicios públicos tendería a sustituir las potestades del Estado frente a los ciudadanos en materia de responsabilidades sociales y de atención al problema de acceso, oportunidad, calidad y aprovechamiento de agua.

No obstante, revisar la utilidad social que puede tener el uso de un nuevo diseño de precios destinado al consumo de agua doméstica, induce a pensar en las responsabilidades de los ciudadanos frente al bien común. El diseño, la consistencia y la instrumentación de un vector de precios que persiga al mismo tiempo objetivos ambientales en materia de agua, de finanzas públicas para el fortalecimiento del sector y sociales de equidad y atenuación de la segregación, no tiene como fin la sustitución de las responsabilidades del Estado.

Es responsabilidad del Estado en su conjunto, y por supuesto del gobierno local, garantizar el acceso de los ciudadanos al consumo de agua, con la calidad y oportunidad adecuadas. Igualmente, el cumplimiento de estas responsabilidades tendría que transcurrir sin comprometer la calidad y la disponibilidad del capital natural.

En el esquema anterior, el diseño de una estrategia de precios con base en criterios deliberados y múltiples, orientada al mejor cumplimiento de las responsabilidades públicas no parece un asunto inadecuado. Todo lo contrario, si además se agrega a lo anterior el que mediante su implantación es posible inducir un proceso de corresponsabilidad social frente al bien común.

En efecto, una estrategia de precios administrable, transparente y creíble, en la que se establezca con claridad la estrategia subsidiaria por parte del gobierno con los diversos grupos sociales y entre diferentes sectores de usuarios, puede contribuir a modificar el patrón de aprovechamiento por parte de los usuarios domésticos. Al mismo tiempo, constituye un acto de transparencia gubernamental y de racionalidad política deliberada. En la actualidad no se conocen las razones ni los montos de los subsidios y las decisiones en materia de gestión en el abasto de agua para la ciudad de México.

#### EL AGUA, LOS PRECIOS Y LA ARQUITECTURA INSTITUCIONAL

LA PROBLEMÁTICA del agua tiene diferentes niveles de análisis. Confluyen en ésta una dimensión física, una institucional, una

tecnológica, una fiscal, una cultural, una circunstancia demográfica y una política. Las anteriores pueden ser agrupadas en tres diferentes componentes: la primera tiene que ver con las condiciones físicas que determinan el abasto de agua en un territorio. La segunda está constituida por las condiciones institucionales, fiscales y de infraestructura que determinan la capacidad de una sociedad para garantizar el acceso al agua a sus integrantes. La última está formada por los patrones de aprovechamiento que se han desarrollado a lo largo del tiempo en cualquier sociedad.

Aunque es posible que la agrupación anterior pudiera excluir algunos fenómenos específicos, es funcional para lograr un análisis holístico que permita situar a los precios como una herramienta complementaria en el diseño de políticas públicas, orientadas a mejorar la cobertura de los servicios de agua.

En el fondo, el problema social del agua se expresa como un déficit dinámico entre la oferta de agua y la demanda recurrente que plantea una sociedad. Y es aquí donde cobra sentido la agrupación de los determinantes de los problemas del agua, mismos que por simplicidad, podremos señalar como los precursores de la escasez de agua, es decir, una condición en la que los recursos que se disponen en una sociedad no son suficientes para garantizar el acceso a todos sus integrantes.

En relación con el primer componente, mismo que puede determinar el abasto de agua en una sociedad, se debe señalar que la escasez no está referida a una condición física absoluta, sino a una circunstancia social relativa con múltiples determinantes.

En términos físicos, existe una restricción en la disponibilidad de agua, determinada por los acervos efectivamente explotables en el corto plazo. Sin embargo, para el caso de la ciudad de México, la escasez física no parece ser un determinante que pudiera explicar por sí misma los desequilibrios entre la cobertura y la oferta pública de agua en relación con la demanda social.<sup>1</sup>

Ahora bien, el que se disponga de agua en términos relativos, sólo es indicador de no tener que contender socialmente con su

<sup>1</sup> Cfr. GEO World Data Base 1990-2003, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, EUA.

inexistencia como sucede en el norte de África o el medio oriente, regiones estas últimas en las cuales la escasez absoluta ha originado arreglos institucionales y tecnológicos que han implicado las mayores tasas mundiales de reutilización de aguas residuales tratadas.

En un sentido, en materia del aprovechamiento social del agua no basta con disponer con los acervos físicos de este recurso. Aun cuando esto es fundamental, es necesario contar con la infraestructura que garantice su cabal aprovechamiento.

En relación con el componente institucional, debe señalarse que la evidencia estadística pone de manifiesto que los gobiernos federal y local han interpretado como parte de sus responsabilidades la importancia que tiene el agua en el proceso de la articulación social. De esta manera, y en el contexto de la consolidación de las estrategias gubernamentales del Estado de bienestar, se logró crear un sistema de abastecimiento de agua, compatible con los objetivos de la modernización económica industrial, que consistió en el desarrollo de la infraestructura hidráulica pública de almacenamiento, potabilización y distribución, destinada al fortalecimiento de las capacidades productivas. Esto último facilitó la emergencia de un patrón de asignación social que originó a su vez un desequilibrio entre los ámbitos urbano y rural.

Un rasgo característico de la gestión gubernamental del agua durante la segunda mitad del siglo xx, fue el que ésta descansó fundamentalmente en una estrategia de oferta. Es decir, ante la creciente demanda dinámica de agua por parte de la sociedad, el gobierno respondió con un paulatino crecimiento de la capacidad de abasto extractivo por parte de las entidades responsables. Pero el patrón tradicional de gestión hidráulica desarrollado hasta entonces comenzó a ser ineficaz. Las razones de ello fueron, por un lado, las restricciones asociadas con el deterioro fiscal del gobierno; y por el otro, la cada vez mayor importancia que se concedió a los costos ambientales y ecológicos, derivados de una política extractiva.

Pero no hay que malinterpretar lo anterior. El objetivo de garantizar la dotación de agua tanto para el consumo doméstico

como para el productivo era y es correcto. Sin embargo, no considerar que en algún momento la tasa de crecimiento demográfico y de la actividad productiva comprometería la viabilidad de la estrategia de una creciente oferta de agua con base en la disponibilidad de los recursos físicos y fiscales, sí fue, por lo menos, una falta de previsión. Lo anterior, sin contar con el hecho de que dos condiciones adicionales que tenderían al agotamiento del modelo de gestión hidráulica –no menos importantes que las anteriormente citadas– serían los patrones de aprovechamiento a que dio lugar la política de abastecimiento de agua entre los sectores productivos y doméstico, y el notable deterioro del capital natural asociado con el modelo extractivo, que tendió a producir un acelerado deterioro de los ecosistemas que albergan los cuerpos de agua.

No es inadecuado señalar que la política de abastecimiento de agua basada en un modelo de gestión extractivo, dio como resultado el surgimiento de una cultura del agua poco precavida y dispendiosa, tanto entre los usuarios domésticos como entre las empresas. Al mismo tiempo, lo anterior generó desequilibrios sociales notables, debido a que se privilegió el abastecimiento en algunas áreas de la ciudad.

El patrón de asignación y aprovechamiento social del agua es el tercer componente sin el cual no es posible tener una perspectiva panorámica de las implicaciones para el bienestar, así como de la urgencia de una transición institucional y tecnológica en materia de agua.

La asignación del agua en el Distrito Federal se caracteriza porque los volúmenes de ésta se destinan predominantemente al consumo del sector doméstico sin consideración alguna a la tasa de concentración de contaminantes. Debe quedar claro que el proceso social de asignación del agua para usos alternativos es el resultado de una decisión política e institucional. No debe perderse de vista que la asignación de flujos en una sociedad es el efecto de la interacción de una gran cantidad de agentes que presionan para obtener condiciones más ventajosas en el desempeño de sus actividades.

El patrón institucional de gestión del agua no sólo promovió una cultura del agua acomodaticia entre los usuarios domésticos con acceso a las redes públicas. En términos del sector productivo, facilitó la consolidación de trayectorias tecnológicas extensivas en materia de agua, en ambos casos, sin ningún incentivo para moderar las presiones sobre la disponibilidad de agua y los correspondientes recursos fiscales destinados para este fin. Con lo anterior, ante acervos relativamente estables por las condiciones meteorológicas, de infraestructura y los patrones de aprovechamiento, la tasa natural de crecimiento de una sociedad conduce al incremento de la competencia entre usuarios.

Por supuesto, lo anterior no implica que los gobiernos no diseñaran sistemas de derechos y obligaciones en los que no se incorporaran restricciones para el uso inadecuado de los recursos hidráulicos. La tradición institucional y jurídica, en materia de agua, ha sido relativamente larga, exhaustiva y ha previsto sanciones para evitar los aprovechamientos socialmente inaceptables, sin embargo, sus instrumentos poco flexibles supusieron crecientes costos de transacción asociados con los costos administrativos, la vigilancia, verificación y sanción. En un sentido, las sanciones fueron poco relevantes, debido a que la probabilidad de ser sujeto de la acción de la ley es escasa, como lo es también la capacidad de vigilancia que tienen los gobiernos, sin importar qué tan alta fuera la pena.

Más aún, a pesar que desde hace tiempo existen las disposiciones para que los usuarios paguen los consumos de agua que efectúan, se presentan dos problemas: por un lado, el nivel y el fundamento detrás del monto del pago, y por el otro, la disponibilidad de las agencias gubernamentales para vigilar, medir, verificar y sancionar. Esto quiere decir que, la sociedad está consciente de la necesidad de establecer un cargo monetario que limite el uso dispendioso del agua. No obstante, una estrategia gubernamental para instrumentar precios por los diferentes usos del agua enfrenta varios obstáculos, entre los que destacan:

- No existe suficiente información por parte de los gobiernos hacia la población acerca de los mecanismos empleados para la determinación de la estructura tarifaria.

- No ha existido información para garantizar que los fondos que se recauden se destinen a fortalecer el financiamiento requerido en el sector.
- No hay información suficiente acerca de los subsidios cruzados entre diferentes sectores, como por ejemplo que a la agricultura se le subsidie prácticamente el 100 por ciento del consumo de agua, a diferencia de lo que sucede con los usuarios domésticos.
- No existe suficiente información para dar garantías de que los precios que se establezcan al agua no van a excluir a los segmentos más pobres.

El agua es un activo social importante y escaso. Su insuficiencia, salvo en algunas regiones, está asociada de manera directa con la disponibilidad de los recursos fiscales necesarios para el sostenimiento de un sistema de abasto que garantice la cobertura universal entre los constituyentes y la tasa de crecimiento de la infraestructura necesaria para extraer, potabilizar, almacenar, distribuir, tratar, y finalmente, disponer nuevamente de ésta en los cuerpos de agua receptores. Pero la escasez también está determinada por el patrón de aprovechamiento de los recursos entre los usuarios con acceso a la red, tanto para el consumo doméstico como para el de producción.<sup>2</sup>

En una sociedad que enfrenta una escasez relativa de agua, que se manifiesta en el déficit de cobertura de los servicios públicos de agua potable entre algunos segmentos de la sociedad y que mantiene una estructura de organización social con importantes asimetrías tanto en la distribución del ingreso, como en las oportunidades de acceso a los bienes públicos, es preciso examinar las características del ciclo de gestión del agua y revisar los instrumentos que puedan equilibrar el déficit en la cobertura de agua, no sólo desde la perspectiva del acceso, sino también en términos de las cantidades y calidades suficientes.

<sup>2</sup>Roberto Constantino, "Desempeño económico y sustentabilidad: los límites de la política económica en México", en F. Novelo, *La política económica y social de la alternancia*, México, Miguel Ángel Porrúa, 2000.

Una de las expresiones de las asimetrías del ingreso y la riqueza, la constituye el acceso a los servicios de agua potable. Es claro que éstas no se atenúan con la garantía de acceso al agua. Sin embargo, es un componente importante para elevar los niveles de bienestar de estos segmentos sociales.

Ahora bien, una de las formas probables en las que se puede corregir el desequilibrio entre la cobertura de la población con acceso a los servicios de agua y la demanda potencial de ésta en una sociedad, es mediante el diseño de instrumentos de precios que generen incentivos para modular la demanda efectiva y faciliten condiciones para un incremento de la disponibilidad de los recursos fiscales para el fortalecimiento del sector.

Podría parecer paradójico, y acaso contradictorio, el que en un contexto de asimetrías sociales importantes, los precios puedan emplearse como un mecanismo auxiliar en el diseño de las políticas públicas para garantizar el acceso de grupos sociales que no están incorporados a los sistemas públicos de abastecimiento de agua, regulares y de calidad. Tampoco se puede pasar por alto, que este es un tema polémico y sensible en el ámbito social.

Los precios no son bien aceptados por amplios grupos sociales cuando se plantea su incorporación como parte de las estrategias gubernamentales. Intuitivamente bien fundamentada, o sin razón alguna, se considera que los precios están relacionados con el abandono de las funciones, obligaciones y responsabilidades de los estados, en favor de los mercados. O bien, que una estrategia de este tipo es *prima facie* de naturaleza excluyente.

Vale la pena una breve digresión en torno de los precios. Se está acostumbrado a considerar que los precios son la expresión monetaria del valor de los artefactos. Esto, por supuesto, forma parte de un debate al interior de las diversas corrientes de la economía que alcanza los límites de la filosofía, y escapa a los límites de este documento. Sin embargo, es necesario establecer algunas consideraciones que permiten meditar en que los precios pueden ser utilizados como un dispositivo social eficaz, multipropósito en materia de la gestión de agua.

De manera general, podemos establecer que para las diversas corrientes de la economía, los precios son tasas de relación entre objetos o bienes con diferentes propiedades que se resuelven o determinan en los procesos de intercambio, pero también son un vehículo de información que está disponible para que aquellos que deseen emplear el activo en cuestión puedan tomar una decisión adecuada.

Si se considera al precio como un dispositivo institucional que no tiene como propósito reflejar el único y verdadero valor abstracto de un objeto, podemos pensar en éste como una herramienta que, toda vez que está a la disposición de las instituciones, puede facilitar con transparencia el proceso de toma de decisiones en materia de gestión del agua, y al mismo tiempo, promover la corresponsabilidad entre los beneficiarios.

Al referirse a los precios, normalmente se considera que existe un mismo precio para un mismo bien. Pero, esto solamente es cierto bajo la condición de mercados completos en los que los bienes están sujetos a transacciones privadas en un contexto de derechos y obligaciones de propiedad perfectamente especificados y verificables. Sin embargo, el agua no puede ser considerada bajo el régimen de bienes privados, sino como el resto de los bienes provistos por la naturaleza, debe incluirse en la categoría de bien público. Ello tiene una implicación importante: si se desea emplear los precios para mejorar la manera en la que se utilizan este tipo de bienes, no se puede esperar que los primeros los genere el mercado. Una entidad institucional debe construirlos y puede establecer no sólo un precio, sino varios, en atención a las diferencias entre los sectores que empleen el agua y a la heterogeneidad de la población.

De acuerdo con lo anterior, el agua es un bien social al que se puede dotar de un precio o un conjunto de precios artificiales que le diga a quién deba pagarlo acerca de las dificultades tecnológicas de su producción, la importancia de su escasez en términos sociales y las implicaciones medibles de los impactos ecológicos y ambientales, vinculadas con un consumo creciente. Este precio puede incorporar también la información acerca de las asimetrías

sociales. Es decir, en el caso del agua, es posible construir un vector en el que existan precios diferentes según las condiciones de asimetría de los diferentes segmentos poblacionales. De manera que la potestad subsidiaria del Estado con los segmentos sociales que lo requieran, se mantiene y puede ejercerse de manera transparente por medio de transferencias no reembolsables.

Ahora bien, ¿por qué se considera que los precios pueden ser un vehículo importante que favorezca la gestión social del agua? Una pregunta de esta naturaleza requiere de la breve revisión del ciclo institucional del abasto de agua en una sociedad.

Podemos convenir en la existencia de un ciclo institucional del abastecimiento de agua. Éste típicamente estaría formado por las acciones de educación para la preservación del recurso, el mantenimiento y la creación de una infraestructura necesaria para extraer, almacenar, potabilizar, distribuir, recolectar, tratar y disponer, según se trate de aguas limpias o ya utilizadas. La totalidad de este ciclo se conduce esencialmente mediante la utilización de los recursos fiscales que se disponen. Por supuesto, el ejercicio de estos recursos es limitado entre periodos y está sujeto a la disponibilidad presupuestal de la agenda gubernamental.

En el Código Financiero del Distrito Federal, desde tiempo atrás, se ha incorporado la obligatoriedad de pagos por derechos de agua para los usuarios domésticos, la idea no es nueva. Sin embargo, se ha demostrado que los montos de éstos no tienen relación alguna con la estructura de costos de la producción social del agua.

Es claro que un modelo de abasto de agua basado en la disponibilidad de la hacienda pública, está limitado por la tasa de crecimiento del presupuesto. Una de las razones por las cuales es necesario que se construyan alternativas de precio para mejorar el abasto de agua es, desde luego, presupuestaria, de tal manera que las agencias responsables puedan disponer de mayores recursos financieros que a su vez les permitan márgenes de acción más amplios.

Una estrategia de tarifas por el consumo de agua que complementa la política de abastecimiento es importante porque genera mejores condiciones para disponer de incentivos que favorezcan

un uso más eficiente entre los usuarios. Sin embargo, fijar precios que reflejen de mejor manera el creciente costo social que tiene el abasto de agua en una sociedad es apenas el principio de un modelo de transición hacia un funcionamiento socialmente más adecuado en materia de agua.

Por supuesto, la posible elevación del pago que tendrían que efectuar algunos usuarios de los servicios de agua en una sociedad, no pasará de ser una manifestación positiva de voluntad si, en paralelo, no se llevan a cabo reformas institucionales que garanticen transparencia en el procedimiento para fijar los montos, transparencia en el ejercicio de los recursos que sólo podrán ser empleados en beneficio del sector hidráulico, transparencia en los mecanismos de medición para facturar y resolver controversias, y un sistema de sanciones adaptado tecnológicamente para hacer creíble la acción institucional en esta materia.

Un modelo de transición institucional en materia de gestión de agua, atraviesa por estimular la corresponsabilidad ciudadana, y no sólo las responsabilidades gubernamentales, en el cuidado de los acervos de agua mediante la reducción de los volúmenes de consumo, pero también al facilitar la participación de los diferentes grupos de usuarios en los comités técnicos y de vigilancia de las entidades responsables de la red de abastecimiento y de tratamiento de las aguas. Un enfoque de gestión de la demanda no se puede concentrar únicamente en la instrumentación de precios como vehículo para lograr el cambio en el sector. Éstos son importantes pero constituyen sólo una parte del conjunto de acciones que deben llevarse a cabo en las sociedades para mejorar la cobertura, cantidad y calidad del agua que reciben los usuarios.

La construcción de los vectores de precio no implica, desde luego, que se trasladen todos los costos de la operación, del mantenimiento y de la creación de nueva infraestructura a los usuarios. Un modelo de transición de esta naturaleza requerirá del establecimiento de los límites a la corresponsabilidad, de manera que las facultades del Estado se fortalezcan con base en la acción social.

Junto con la determinación de las tarifas deben modificarse tanto la estructura jurídica, para incorporar con claridad la calidad

y los límites de la cantidad de agua que el Estado garantiza como un derecho a lo ciudadanos; además de la determinación de las responsabilidades de los usuarios que puedan ser verdaderamente verificadas. De esta manera los ciudadanos tendrían claro qué es lo que debe garantizarse como derecho en materia de agua y es exigible. Pero también, cuáles son las prácticas punibles por considerarse socialmente inaceptables.<sup>3</sup>

Existen diferentes formas para establecer vectores de precios en materia de agua. Algunas, provienen de la práctica en diferentes partes de América Latina. Se pueden fijar con la medición del volumen que se consume por unidad de toma, que no necesariamente corresponde a un hogar. Otras se pueden instrumentar a partir de bloques de consumo.

#### LOS PRECIOS Y LA CORRESPONSABILIDAD CIUDADANA EN EL USO DEL AGUA

AL SUPONER a las instituciones como reglas de interacción social, es decir, códigos y reglas de vinculación entre los agentes sociales, se establece un marco de referencia importante acerca de la naturaleza de la conducta de los agentes. Tal y como establece North,<sup>4</sup> las instituciones que dan origen a las prácticas cotidianas de relación de los individuos pueden ser formales o informales. Las primeras son reglas agrupadas en torno de la ley. Las segundas, corresponden al conjunto de valores que se transmiten transgeneracionalmente de manera informal y que nos identifican funcionalmente en los grupos.

Los procesos de transición institucional no sólo están referidos a la necesidad que da origen al cambio en las reglas de interac-

<sup>3</sup> Aunque es evidente que en cada sociedad el agua tiene un valor y un significado diferente, por prácticas socialmente punibles pueden entenderse aquellas que ponen en riesgo la disponibilidad, la calidad o la cobertura de los servicios de agua. Por ejemplo, una práctica indeseable susceptible de ser verificada y castigada puede ser el vertido de desechos sólidos peligrosos en áreas cercanas al abasto de agua.

<sup>4</sup> Douglass North, *Institutions, institutional change and economic performance*, EUA, Harvard University Press, 1990.

ción, sino también a la velocidad y la flexibilidad del cambio. En este sentido, el cambio institucional en materia de la gestión social del agua, que implica un modelo organizacional de gobierno diferente y también un nuevo esquema de derechos y obligaciones para los ciudadanos, no sólo debe procurar la transformación de los mecanismos formales de interacción, sino también el desplazamiento de las prácticas informales.

Lo anterior simplemente establece que el diseño de instrumentos de gestión para promover una mejor asignación del esfuerzo social y ampliar la cobertura para garantizar el acceso de los ciudadanos al agua, no se puede fundamentar únicamente en una estrategia de precios. Esto forma parte de la reinención de las instituciones formales. Sin embargo, será poco efectivo si los mecanismos de convencimiento y persuasión sociales no acompañan la transformación del modelo de consumo de agua a uno más precavido socialmente.<sup>5</sup>

El modelo de transición en la gestión del agua puede presentarse como uno que desplaza el centro de la gravedad de la estrategia gubernamental de la oferta de agua, a otro en el que se incorpora la gestión de la demanda de agua, vía los precios.

Para un fin como el anterior, los precios poseen características multipropósitos. De éstos se espera que, al utilizarlos activamente, permitan incorporar los impactos ambientales y ecológicos provocados por los patrones de consumo de agua, transfieran parte de las responsabilidades en el uso cuidadoso del agua a los usuarios y puedan contribuir al mejoramiento de la posición financiera de los organismos operadores.<sup>6</sup> El fortalecimiento financiero de los organismos operadores permitiría la ampliación de la cobertura de agua y garantizar el mantenimiento adecuado de la infraestructura requerida para el abasto y el tratamiento necesarios.

La gestión del agua a partir de los precios plantea retos institucionales, tecnológicos y sociales importantes. Sobre todo porque

<sup>5</sup> David Zilbermann y Karina Schoengold, "The use of pricing and markets for water allocation", *Canadian Water Resources Journal*, vol. 30, Canadá, 2005, pp. 47-54.

<sup>6</sup> Global water partnership, *Precios del agua y de los servicios del agua*, publicación electrónica en <[http://gwppforum.netmasters05.netmasters.nl/sp/content/tool\\_6B3B3808-24DA-4044-A26E-1B7FF518D0EC.html](http://gwppforum.netmasters05.netmasters.nl/sp/content/tool_6B3B3808-24DA-4044-A26E-1B7FF518D0EC.html)>, 2005.

el contexto de su instrumentación es el de sociedades con notables e importantes asimetrías. Por esta razón, para la construcción de vectores de precio es indispensable efectuar una evaluación previa que permita conocer cuál es el efecto que tiene en los niveles de ingreso el precio del agua. Los escenarios que se pueden construir, tienen que ver con el análisis comparativo de la proporción del ingreso destinado al pago de agua bajo tres circunstancias diferentes: el efecto de una estructura de tarifas sin reforma, el efecto de un incremento en el pago vinculado con algunos de los costos que se pueden pagar sin modificar la estructura tarifaria y, por último, una evaluación de pagos más elevados, incorporando algunos de los costos, pero también cambiando la estructura de cobro.

Una transición en el modelo de gestión del agua que emplee a los precios de manera activa, no puede desarrollarse si se pasa por alto la opinión de los ciudadanos acerca de su disponibilidad al pago por los consumos realizados. Aunque en el tema de la importancia social del agua y de la necesidad de la ampliación de la cobertura de abasto, existe relativo consenso solidario entre diferentes segmentos de la sociedad, siempre es pertinente evaluar si los consumidores están dispuestos a aceptar un cambio en el monto de las tarifas. Por supuesto, también debe tomarse en cuenta si en el gobierno existen tanto la estructura operativa para llevar a cabo el proceso de reestructuración tarifaria, como la estructura legal para sancionar a todos aquellos que no cumplan con la normatividad establecida por una nueva gestión de los recursos hídricos. Por ende, un cambio en el precio del agua debe ser cuidadosamente analizado con el fin de hacerlo accesible, aceptable y factible administrativamente.

El que la estructura de precios que pueda resultar de un análisis cuidadoso se considere accesible, aceptable y factible, implica:

1. Que los niveles de precio que se establezcan sean accesibles para los diferentes segmentos de usuarios tanto domésticos como productivos; es decir, no puede existir un solo precio sino diferentes para evitar que la heterogeneidad entre los usuarios implique la exclusión de algún segmento de la socie-

dad. Y en el que los subsidios que se ofrezcan a aquellos que no tienen capacidad de pago sean transparentes.

2. Una estructura de precios aceptable se refiere a que los pagos por consumo se diseñen para reducir los consumos extremadamente elevados entre el conjunto de usuarios similares.

3. Una estructura de precios diseñada y factible, se refiere a que pueda existir capacidad efectiva por parte del gobierno para administrar la información que se requiere para cobrar las facturas.

Es evidente que un cambio en la estrategia de gestión del agua debe incorporar a todo tipo de usuarios en una sociedad, no sólo a los domésticos. La presencia de subsidios cruzados, en los que las aportaciones de los usuarios industriales y de consumo doméstico compensan parte de los costos en los que se incurre para facilitar agua de bajo costo destinada a la agricultura, puede convertirse en un obstáculo para la instrumentación de mecanismos vía precios que intenten promover una mejor manera de emplear el agua en un país, o bien, puede conducir a la obtención de montos que sean insuficientes para ampliar la cobertura del servicio.<sup>7</sup>

El modelo de transición vía precios puede basarse en diferentes tipos de mecanismos para el cálculo de tarifas: pueden emplearse los mecanismos que se basan en los costos medios o los que se basan en los costos marginales. La propuesta metodológica que aquí se plantea se ha construido desde la perspectiva de los costos medios.

#### SISTEMA DE DERECHOS SOBRE USO DE AGUA POTABLE

EL SISTEMA de derechos puede ser autofinanciable o incluir subsidios, ello depende de los objetivos de política. Si se pretende que el sistema sea autofinanciable, la recuperación de costos puede abarcar la distribución, el desecho y los costos del tratamiento, así como otros aspectos que si bien no se devengan al momento del

<sup>7</sup>Andrei Jouraleev, "Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI", *Serie de Recursos Naturales e Infraestructura*, núm. 74, Santiago de Chile, CEPAL, 2004.

suministro, son generados por el proceso de extracción. Estos costos comúnmente son denominados en teoría económica como externalidades negativas, entre los que se cuentan los provocados por el hundimiento del suelo a causa de la sobreexplotación de los acuíferos y/o su contaminación. Incorporando todos los costos económicos, sabemos que la condición óptima para la asignación de precios sería la igualdad entre el ingreso y el costo marginal. Para el caso del agua, que es considerado un bien público y es suministrado de forma exclusiva por el gobierno, el precio óptimo se traduciría entonces en la igualdad entre precio medio (PM) y costo medio (CM):

$$PM^* = CM$$

La igualdad anterior puede traducirse en diversas estructuras de derechos, ello dependerá de los costos que se incorporen y de la forma de la estructura de derechos que se pretenda instrumentar: autofinanciable o subsidiada, y homogéneas o no homogéneas.

#### *Metodología para el establecimiento de las tarifas*

El agua potable es considerada como un bien público debido a su necesaria disponibilidad para todos los individuos en una sociedad, por lo que la regulación de la extracción y la fijación de los precios es competencia de los gobiernos, lo que le da a este sector el carácter de monopolio público.

De acuerdo con los criterios señalados en el apartado anterior y lo planteado por la teoría económica, la fijación de precios para un monopolio público se establece donde el costo medio sea igual al ingreso medio, lo que permite reproducir las condiciones de competencia perfecta que optimizarían el bienestar social.

$$IMe = CMe = CE + CA \quad (1)$$

Lo anterior plantea dos problemas para el tomador de decisiones, uno, determinar los costos medios en la producción de un bien que tiene externalidades, y el segundo, fijar las tarifas en un monto tal

que cumpla el requisito de la igualdad anterior para que la sociedad no incurra en pérdidas de bienestar.

### *Determinación del costo medio*

El costo medio del abastecimiento del agua potable debe involucrar todos los costos que se derivan de la prestación del servicio, los que se pueden establecer de la siguiente forma:

$$CMe = CE + CA \quad (2)$$

Donde:

*CMe*: Costo medio.

*CE*: Costo económico medio, que incluye todos aquellos costos que pueden ser contabilizados por el mercado.

*CA*: Costo ambiental medio, es una estimación de las externalidades negativas en que se incurre para el abastecimiento del servicio.

El costo económico medio comprende:

$$CE = Co + Cadm + Cmant + Cinf + Ck \quad (3)$$

Donde:

*Co*: Costo de operación (que comprende las actividades de extracción, bombeo, potabilización, distribución y disposición del líquido de agua potable).

*Cadm*: Costos de administración (costos de facturación, cobranza, etcétera).

*Cmant*: Costo de mantenimiento (costo para mantener en funcionamiento el sistema).

*Cinf*: Costo de infraestructura de las nuevas inversiones.

*Ck*: Costos financieros.

Por su parte, el costo ambiental puede ser expresado de la siguiente forma:

$$CA = Ct + Da \quad (4)$$

Donde:

*Ct*: Costo por el tratamiento del agua residual.

*Da*: Costo en el que se incurre para mantener de manera funcional el acuífero y, en general, el conjunto de costos en que se incurre por los desequilibrios generados en los sistemas ambientales al extraer el agua potable.

*Determinación de estructura de tarifas para sistemas autofinanciables*

Estos sistemas presentan la característica de que los ingresos que se perciben por el cobro del servicio deben ser suficientes para cubrir los costos. El cumplimiento de la igualdad del costo medio y el precio del agua potable implica que el sistema es autofinanciable, lo anterior permitiría garantizar los criterios de eficiencia económica y ambiental, lo cual se puede alcanzar de diferentes formas, bien a partir de una tarifa homogénea o bien mediante una estructura de tarifas heterogéneas en función del volumen y/o el ingreso.

La ecuación que describe un sistema autofinanciable es la siguiente:

$$CT = CMeV = IMeV = IT \quad (5)$$

Donde los costos totales (*CT*), quedarán cubiertos por el producto del costo medio (*CMe*) que multiplica al volumen total (*V*), esto debe ser igual al producto del ingreso medio (*IMe*) por el volumen total consumido, con lo que los costos totales se igualan a su vez con el ingreso total (*IT*).

### Tarifa homogénea

Una tarifa homogénea implica que el precio por metros cúbicos de agua es el mismo para todos los usuarios, independientemente del volumen consumido o cualquier otra característica. Lo que se puede expresar con la siguiente ecuación:

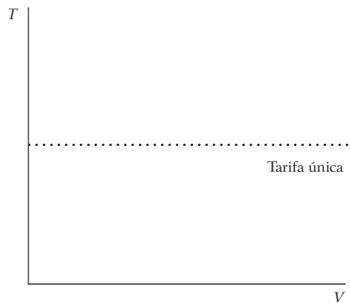
$$IMe = CMe = T \quad (5.1)$$

Donde:

$IMe$  es el ingreso medio por metro cúbico de agua potable, el cual debe ser igual al costo medio por metro cúbico  $CMe$  y, por tanto, esta condición define el valor que tomará la tarifa  $T$ .

En la gráfica 1 esto se puede representar de la siguiente manera:

GRÁFICA 1  
ESQUEMA DE TARIFA ÚNICA



Fuente: Elaboración propia.

Una estructura homogénea de precios tendría ventajas y desventajas. Entre las primeras se encuentran:

- Simplicidad en el diseño.
- Simplicidad en la aplicación.
- Un mejor control en el sistema.

### Desventajas:

- No considera las diferencias de ingreso de los individuos y, por lo tanto, condiciones de equidad.
- No estimula un uso más eficiente de este recurso escaso, porque el costo de oportunidad por metro cúbico permanece constante.
- Obliga al gobierno a colocar sistemas de medición para cada uno de los usuarios.

### *Tarifa no homogénea*

Las tarifas no homogéneas pueden ser progresivas en función del volumen, del ingreso u otro tipo de criterios. En esta alternativa se pueden incorporar criterios ambientales que promuevan un uso más eficiente del recurso, o criterios de ingreso o equidad. La garantía de que el sistema sea autofinanciable se puede lograr mediante transferencias cruzadas entre los diferentes usuarios.

Al igual que en el caso de las tarifas homogéneas éstas tienen ventajas y desventajas. Entre las ventajas podemos mencionar:

Disponer de una estructura de precios del agua potable que promueva un uso más eficiente mediante el diseño de tarifas progresivas en función del volumen y/o garantizar un acceso a la disponibilidad del agua a la totalidad de la población mediante el establecimiento de tarifas crecientes en función del ingreso.

### Desventajas:

- Hace más complejas las actividades de diseño, administración y control del sistema de abastecimiento de agua potable.

### *Tarifas escalonadas*

Se puede diseñar un sistema de tarifas escalonadas<sup>8</sup> en función del volumen, en el que, a diferentes intervalos de consumo de

<sup>8</sup>En el documento se desarrolla el caso de tarifas escalonadas en función del volumen consumido, el mismo ejercicio se puede aplicar considerando el nivel de ingreso.

agua corresponderá una tarifa diferente por metro cúbico, lo que se puede expresar de la siguiente manera:

$$\sum_{i=1}^n T_i v_i = CMe \times V \tag{6}$$

Donde:

$T_i$  corresponde a la tarifa establecida para cada uno de los intervalos de consumo ( $v_i$ );  $CMe$  es el costo medio por unidad de volumen y  $V$  es la suma de todos los consumos individuales.

Simplificando la expresión 6 se obtiene:

$$\begin{aligned} \frac{T_1 v_1}{V} + \frac{T_2 v_2}{V} + \dots + \frac{T_n v_n}{V} &= CMe \\ T_1 \frac{v_1}{VCMe} + T_2 \frac{v_2}{VCMe} + \dots + T_n \frac{v_n}{VCMe} &= 1 \\ \frac{T_1}{CMe} \frac{v_1}{V} + \frac{T_2}{CMe} \frac{v_2}{V} + \dots + \frac{T_n}{CMe} \frac{v_n}{V} &= 1 \end{aligned} \tag{7}$$

Si se establecen las tarifas como una proporción  $c_i$  de costo medio se tiene:

$$T_i = c_i CMe \tag{8}$$

En donde  $c_i$  debe ser mayor que cero para garantizar tarifas positivas. Sustituyendo 8 en 7 se tiene que:

$$\begin{aligned} \frac{c_1 CMe}{CMe} \frac{v_1}{V} + \frac{c_2 CMe}{CMe} \frac{v_2}{V} + \dots + \frac{c_n CMe}{CMe} \frac{v_n}{V} &= 1 \\ c_1 \frac{v_1}{V} + c_2 \frac{v_2}{V} + \dots + c_n \frac{v_n}{V} &= 1 \end{aligned} \tag{9}$$

Si:

$c_i < 1$ : La tarifa que se paga por metro cúbico es inferior al costo medio.

$c_i = 1$ : La tarifa que se paga por metro cúbico es exactamente igual al costo medio.

$c_i > 1$ : La tarifa que se paga por metro cúbico es superior al costo medio.

Con la construcción de una estructura tarifaria que se establezca de esta manera se puede considerar la aplicación de coeficientes  $c_i$  menores a 1 en los intervalos de menor consumo de agua potable, y con valores mayores a 1 en los de mayor consumo, a partir de lo cual se buscaría desincentivar a los consumos mayores. La garantía de que el sistema sea autofinanciable se logra mediante transferencias cruzadas entre los diferentes niveles de consumo.

Una estructura de estas características debe cumplir con una restricción dada por la ecuación 9; es decir, la suma de todas las  $c_i$  por la proporción del volumen de ese estrato debe ser igual a la unidad.

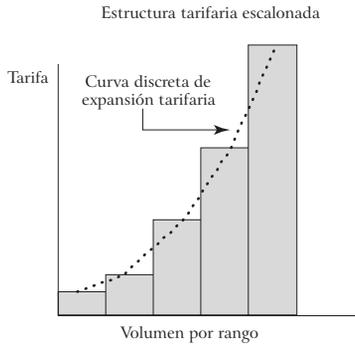
En un sistema de esta naturaleza la decisión política que debe asumir la autoridad gubernamental consiste en definir los valores  $c_i$  en función de cómo se quiera desincentivar los volúmenes consumidos. Sin embargo, debemos señalar que para poder cumplir la restricción señalada en el párrafo anterior uno de los valores  $c_i$  estaría predeterminado.<sup>9</sup>

Una de las desventajas que presenta un sistema escalonado de tarifas, cuyo objetivo sea desincentivar el consumo, es que a lo largo de cada uno de los intervalos definidos para el consumo, la tarifa permanece constante; razón por la cual no existe ningún incentivo para racionalizar el consumo al interior de cada uno de los intervalos.

A medida que el número de intervalos en una estructura de tarifas escalonadas es mayor, el problema antes mencionado se reduce. En el límite, cuando el número de intervalos de con-

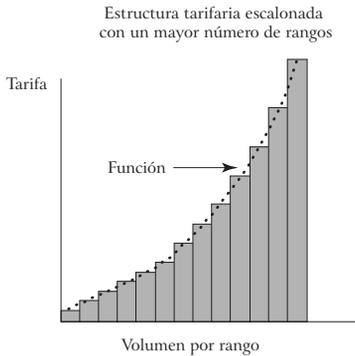
<sup>9</sup> Si el establecimiento de las tarifas está en función de los niveles de ingreso, la estimación de los coeficientes  $c_i$  dependerá de qué tanto se quiera garantizar el consumo hacia los grupos de población con menores ingresos.

### GRÁFICA 2 ESTRUCTURA ESCALONADA 1



Fuente: Elaboración propia.

### GRÁFICA 3 ESTRUCTURA ESCALONADA 2



Fuente: Elaboración propia.

sumo tiende a ser infinito, la estructura tarifaria se convierte en una función continua,<sup>10</sup> como se puede observar en las gráficas 2 y 3.

<sup>10</sup>Con la disponibilidad de sistemas de cómputo, la instrumentación de un sistema de tarifas escalonadas o continuas presenta prácticamente el mismo grado de dificultad.

### *Tarifas continuas*

El establecimiento de un sistema de cuotas que está determinado de manera continua implica la utilización de una función para establecer las cuotas a cobrar sobre el volumen consumido, donde la variable independiente será el volumen. Es decir, la tarifa  $T = f(v)$  (véase gráfica 4).

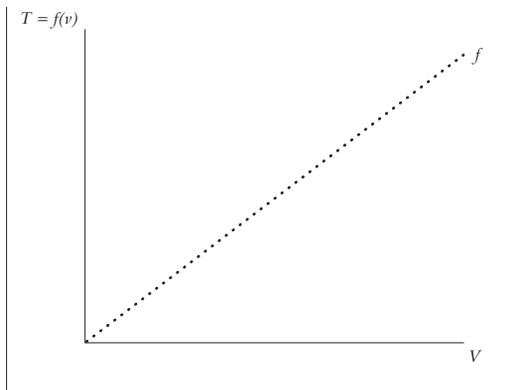
La manera más simple mediante la cual se puede llevar a cabo el análisis de las condiciones de una función continua para establecer las tarifas del consumo de agua potable es mediante una expresión lineal de la forma  $T = a + bv$ . Por simplicidad la ordenada al origen se considerará igual a cero sin que ello implique una reducción de la capacidad explicativa.

A partir de lo anterior se deduce que:

$$T = f(v) = bv \quad (10)$$

Con la intención de generar un sistema autofinanciable, los costos totales deben ser cubiertos por la recaudación del suministro y aprovechamiento del servicio de agua potable. Es decir, la

GRÁFICA 4  
ESQUEMA DE FUNCIÓN DE TARIFA



Fuente: Elaboración propia.

suma de los consumos por la tarifa correspondiente debe cubrir los costos totales.

La recaudación por cada individuo  $i$  sería igual a:

$$I_i = v_i T_i = v_i f(v) = v_i (bv) \quad (11)$$

El monto total de lo recaudado debe ser igual al costo total que está dado por la expresión:

$$IT = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n V_i T_i = \sum_{i=1}^n v_i (bv) = CT = CMeV$$

Donde:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i \quad (12)$$

El término de la izquierda es la sumatoria de la recaudación total, la cual incorpora todos los ingresos provenientes por los consumos de agua potable que efectúan todos los usuarios, que van de 1 al  $n$ ésimo usuario.

La intencionalidad de la política de gestión del agua potable puede observarse a partir de la elección que se haga del tipo de función para determinar el monto de las tarifas. Éstas pueden ser, además de la función lineal, las funciones logarítmica, exponencial o logística. Las que describen costos de oportunidad diferentes para los volúmenes de agua consumidos.

A diferencia de la función lineal, la cual describe una política en la que el cambio en los costos de oportunidad permanece constante para cualquier cambio en el volumen de agua consumido, la función exponencial supone cambios crecientes en los costos de oportunidad.

Dentro de este esquema de tarifa es posible establecer un consumo mínimo de agua potable por usuario que garantice un nivel de confort o bienestar aceptable ( $Vc$ ), por el que se pagaría una tarifa constante  $Tnc$ , a partir de este nivel de consumo se aplicaría la función de tarifas  $T = f(v) = bv$ , para el consumo adicional por metro cúbico. Quedando expresado de la siguiente manera:

$$Tnc \text{ si } V_i \leq V_c$$

$$T = T_e \text{ si } V_i \text{ mayor que } V_c$$

$$\text{Donde } V_e = V_i - V_c$$

$$\text{Donde } Tnc = k; \quad T_e = bv$$

En donde  $V_e$  es el volumen excedente dado por la diferencia del volumen total menos el volumen que se determine como de confort. Ahora la tarifa  $Tnc$  es una constante  $K$ , y  $T_e$  que es la tarifa aplicada a los volúmenes excedentes toma la forma de una función  $bv$ , donde  $b$  es la pendiente y  $v$  el volumen consumido.

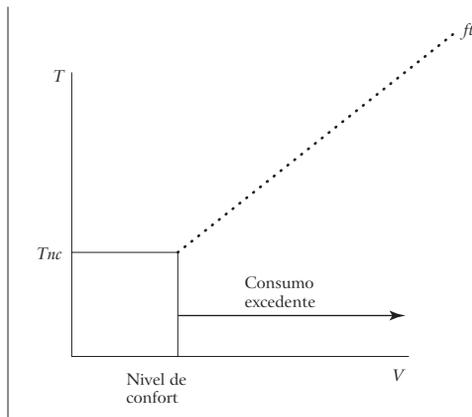
Por lo tanto, para un individuo el pago estará determinado de la siguiente manera:

$$I_i = TncV_c + (T_e)V_e$$

$$I_i = TncV_c + (bv)V_e$$

La gráfica 5 representa esta situación:

GRÁFICA 5  
FUNCIÓN DE TARIFA INCLUYENDO NIVEL DE CONFORT



Fuente: Elaboración propia.

La expresión matemática que describe los ingresos totales obtenidos de esta manera es la siguiente:

$$IT = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n [TncVc + (bv)Vé]_i = CT \quad (13)$$

Donde el ingreso total ( $IT$ ) debe ser igual a la sumatoria de la tarifa de confort más la tarifa  $f(v)$  aplicada por el consumo excedente para cada uno de los usuarios, dentro del sistema autofinanciable esta recaudación debe ser igual a los costos totales.

#### SISTEMAS AUTOFINANCIABLES EN FUNCIÓN DEL INGRESO Y EL VOLUMEN

SE PUEDE diseñar una estructura tarifaria que no sólo esté en función del volumen, sino también en función del ingreso de los usuarios, tal que a distintos niveles de ingreso correspondería una tarifa diferente al nivel de confort y, a partir de éste, una función en la cual la tarifa por unidad de consumo excedente fuera creciendo. Esto daría por resultado que  $Tnc$  podría tener tantos valores como estratos de ingreso ( $j$ ) se decidiera determinar;<sup>11</sup> a partir de aquí nombraremos a estas cuotas como  $k_j$ , que será el precio que se pagará por metro cúbico de agua consumido dentro del nivel de confort. Lo anterior se puede describir mediante la siguiente ecuación y la gráfica 6.

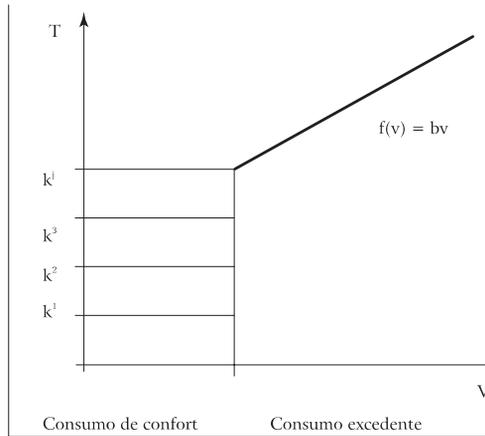
$$Ct = \sum_{j=1}^m k_j Vc_i + \sum_{j=1}^m (bv)Vé_i \quad (14)$$

La estrategia de gestión de la demanda del agua potable, a partir del diseño de sistemas de tarifas como el señalado anteriormente, conduce al gobierno a tomar decisiones en tres ámbitos:

- En primer lugar debe determinar el nivel de confort que considera adecuado para todos y cada uno de los usuarios.

<sup>11</sup>La forma más sencilla de definir los estratos de ingreso sería mediante el valor catastral de las viviendas.

GRÁFICA 6  
FUNCIÓN DE TARIFA ESCALONADA  
INCLUYENDO NIVEL DE CONFORT



Fuente: Elaboración propia.

- En segundo lugar debe determinar los estratos de ingreso y el monto de las tarifas de confort que se consideran adecuados con base en criterios de equidad.
- En tercer lugar debe decidir el tipo de función que se empleará como regla para desestimular los niveles elevados de consumo de agua.

Desde el punto de vista de una política de gestión de la demanda, cuyo objetivo sea la promoción del uso más racional del agua potable, una función como la señalada anteriormente es la más adecuada, ya que la estructura del sistema que se define de esta manera presiona a todos los usuarios independientemente de su nivel de ingreso al limitar su consumo.

Partiendo de la ecuación (14) y relacionándola con las ecuaciones de costos se puede determinar qué tipo de costos serán cubiertos por la recaudación producto de los volúmenes de confort y cuáles por la recaudación de volúmenes excedentes; lo anterior será una deci-

sión de política determinada por las autoridades responsables de la gestión del agua potable.

$$\begin{aligned}
 CT &= CMeV = IMeV = IT \\
 CMe &= CE + CA \\
 CMe &= Co + Cadm + Cmant + Cinf + Ck + Ct + Da
 \end{aligned}$$

De las ecuaciones anteriores y la ecuación (14) se puede separar en:

$$Cot = CoVc = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n k_j Vc_i \tag{15}$$

$$Ce = CT - Cot = \sum_{i=1}^n (bv) Vc_i \tag{16}$$

Para la ecuación (15), se deben determinar los valores de  $k$ , que es el precio por metro cúbico de volumen de confort que pagará cada uno de los usuarios de acuerdo con el estrato de ingreso en que se encuentre, que son una decisión de política dentro de las restricciones impuestas para cumplir el requisito de autofinanciamiento, dado por la ecuación (15), que también se puede expresar de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 CoVc &= \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n k_j Vc_i \\
 CoVc &= k_1 Vc_i + k_2 Vc_i + k_3 Vc_i + \dots + k_m Vc_i \\
 \frac{CoVc}{Vc} &= \frac{k_1 Vc_i}{Vc} + \frac{k_2 Vc_i}{Vc} + \frac{k_3 Vc_i}{Vc} + \dots + \frac{k_m Vc_i}{Vc} \tag{17}
 \end{aligned}$$

Se puede definir:

$$k_j = \beta Co \tag{18}$$

$$\delta_j = \frac{Vc_j}{Vc} \tag{19}$$

Sustituyendo (18) y (19) en (17) se obtiene la ecuación (20)

$$1 = \beta_1\delta_1 + \beta_2\delta_2 + \beta_3\delta_3 + \dots + \beta_m\delta_m \quad (20)$$

Donde  $\delta_j$  es una variable exógena determinada por el porcentaje de volumen de agua de confort consumida por cada estrato de usuarios y  $\beta_j$  es una variable que se determina a partir de criterios de política y mediante la cual se fijan los niveles de transferencia entre los diferentes grupos, sin embargo debemos señalar que para que el criterio sea autofinanciable al menos uno de los valores  $\beta_j$  está predeterminado.

Una forma alternativa para estimar el modelo es introducir un coeficiente alfa que garantice que la restricción se cumpla:

$$\beta_j = \alpha\lambda_j \quad (21)$$

Donde  $\beta_j$  que es el coeficiente de transferencias se divide en un factor  $\lambda_j$ , que es una decisión de política y una constante  $\alpha$  que garantiza que el sistema sea autofinanciable y cuyo valor se determina a partir de:

$$1 = \alpha\lambda_1\delta_1 + \alpha\lambda_2\delta_2 + \alpha\lambda_3\delta_3 + \dots + \alpha\lambda_m\delta_m \quad (22)$$

de donde:

$$\alpha = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \lambda_j \delta_j} \quad (23)$$

$$k_j = Co\alpha\lambda_j \quad (24)$$

$$Co_m = \alpha Co_m \sum_{i=1}^n (\delta_i \lambda_i) \quad (25)$$

Una vez que se ha establecido la parte de los costos que se cubrirá por el volumen de confort, el siguiente paso consiste en la determinación de la forma funcional con la que se cubrirán los costos restantes, que son financiados por el consumo excedente; y al mismo tiempo hacer que estas cuotas incentiven la reducción en el consumo de agua potable por usuario hasta el nivel de con-

fort. Esto se lograría con una función en donde las tarifas sean crecientes en función de los volúmenes consumidos, el tipo de función seleccionada para este ejercicio es lineal del tipo  $bv$ , que inicia en el estrato más alto de ingreso.

Por otra parte, la igualdad entre los costos excedentes y los ingresos obtenidos a partir de los pagos por los volúmenes excedentes se determina a partir de la ecuación (16) que se puede expresar como:

$$Ce = \sum_{i=1}^n [k_m + bVe_i] Ve_i$$

En donde  $Ce$  son los costos excedentes que se determinan por la diferencia de los costos totales menos los costos de operación;  $k_m$  es la cuota de confort por metro cúbico del rango más alto de ingreso;  $b(Ve_i)$  es la función que determina el sobreprecio por volumen de consumo excedente, donde  $b$  es la pendiente de dicha función; y  $Ve_i$  es el volumen excedente de consumo sobre el nivel de confort de cada usuario  $i$ .

$$\begin{aligned}
 Ce - \sum_{i=1}^n k_m Ve_i &= \sum_{i=1}^n b(Ve_i^2) \\
 Ce - \sum_{i=1}^n k_m Ve_i &= b \sum_{i=1}^n b(Ve_i^2) \\
 b &= \frac{Ce - \sum_{i=1}^n k_m Ve_i}{\sum_{i=1}^n (Ve_i^2)} \tag{26}
 \end{aligned}$$

De esta manera queda determinado el valor de  $b$  y se cuenta con todos los elementos para establecer una estructura tarifaria que permita la recuperación de los costos totales, al mismo tiempo que incentive a los usuarios a disminuir su consumo.

Por otro lado, es factible que la pendiente se determine exógenamente como un instrumento de política, ya que al ser muy difícil de estimar el costo creciente que se genera al extraer mayores volúmenes de agua del subsuelo, se podría incrementar la pendiente de la función de forma tal que las tarifas aumenten con

mayor rapidez que las requeridas para que el sistema sea autofinanciable, lo que implicaría que este componente de las tarifas se tratase más como un impuesto que como una estricta recuperación de los costos.

#### DETERMINACIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE TARIFAS PARA SISTEMAS NO AUTOFINANCIABLES

LA METODOLOGÍA para diseñar un sistema de tarifas autofinanciables puede ser utilizada para el diseño o definición de un sistema subsidiado o no autofinanciable; para ello, al costo medio estimado se le restaría el monto del subsidio que se decida otorgar a los usuarios.

Establecer tarifas a partir de esta metodología permite cuantificar con precisión la parte de los costos que se quiera subsidiar.

Por otra parte, la determinación del monto subsidiado permite establecer una política de largo plazo que tenga como meta disminuir gradualmente el monto de los subsidios para convertir al sistema tarifario en autofinanciable.

Lo anterior se puede representar mediante las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} CMe &= CE + CA \\ CSme &= CMe - SMe \end{aligned} \quad (27)$$

Donde:

$CSme$  es el costo subsidiado medio, éste se obtiene de la diferencia del costo medio menos un subsidio por unidad de volumen.

Dentro del sistema de tarifas subsidiadas puede ser aplicada la misma metodología de los sistemas autofinanciables, dependiendo hacia qué sectores de la sociedad se desee dirigir el subsidio. Si éste se quiere aplicar indiscriminadamente, entonces las cuotas homogéneas serían el instrumento más efectivo. Si se quiere

subsidiar a los usuarios con menores ingresos entonces un sistema de cuotas en función de los estratos de ingreso es el más indicado. Si al mismo tiempo se quiere desincentivar el consumo, el sistema de cuotas en función del sistema de ingreso y volumen es el más apropiado, ya que los subsidios se canalizan a los grupos de población seleccionados y, además, se garantiza que solamente se subsidie el volumen correspondiente para satisfacer los niveles de confort.

## BIBLIOGRAFÍA

- CONSTANTINO, Roberto, “Desempeño económico y sustentabilidad: los límites de la política económica en México”, en F. Novelo, *La política económica y social de la alternancia*, México, Miguel Ángel Porrúa, 2000.
- GEO World Data Base 1990-2003, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, EUA.
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP, *Precios del agua y de los servicios del agua*, en: <[http://gwpforum.netmasters05.netmasters.nl/sp/content/tool\\_6B3B3808-24DA-4044-A26E-1B7FF518D0EC.html](http://gwpforum.netmasters05.netmasters.nl/sp/content/tool_6B3B3808-24DA-4044-A26E-1B7FF518D0EC.html)>, 2005.
- JOURALEEV, Andrei, “Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI”, *Serie de Recursos Naturales e Infraestructura*, núm. 74, Santiago de Chile, CEPAL, 2004.
- NORTH, Douglass, *Institutions, institutional change and economic performance*, EUA, Harvard University Press, 1990.
- ZILBERMANN, David y Karina Schoengold, “The use of pricing and markets for water allocation”, *Canadian Water Resources Journal*, núm. 30, Canadá, 2005, pp. 47-54.

## CAPÍTULO 7

JORGE A. MORALES NOVELO\*

LILIA RODRÍGUEZ TAPIA\*

Y ABELARDO GONZÁLEZ ARAGÓN\*\*

### *Demanda de agua por la industria manufacturera del Área Metropolitana del Valle de México*

#### INTRODUCCIÓN

**T**RADICIONALMENTE, hasta inicios de los años noventa, la política hidráulica en la cuenca del Valle de México había sido tratada como una cuestión de abastecimiento sistemático de la demanda, y el agua era considerada como un bien público con pocas restricciones para su suministro. Esta visión dio como resultado la configuración de una disponibilidad siempre decreciente del recurso en el Área Metropolitana del Valle de México (AMVM) que se ha prolongado hasta hoy. Enfatizar el abastecimiento indiscriminado por encima de la utilización de instrumentos que configuran la demanda, había sido la práctica habitual de la política hidráulica en el AMVM.

Sin embargo, a partir de que se ha reconocido la escasez de los recursos hídricos, se aplican tarifas en el suministro de agua potable, y para el caso de la industria manufacturera que es el objetivo de este capítulo, el criterio básico para su determinación es cobrar más a medida que aumenta el volumen de consumo del recurso. Respecto al suministro de agua autoabastecida –aquella que

\* Profesores-investigadores en el Departamento de Economía de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco [jamn@correo.azc.uam.mx y lrt@correo.azc.uam.mx].

\*\* Profesor-investigador en el Departamento de Energía de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco [gaa@correo.azc.uam.mx].

Los autores agradecen la valiosa colaboración de la IBQ Patricia Zavala Vargas en la organización de la información estadística.

las empresas extraen directamente de cuerpos de agua básicamente subterráneos— la información disponible no tiene el detalle suficiente para realizar un diagnóstico de esta fuente de suministro que enfrenta niveles elevados de sobreexplotación.

El objetivo de este capítulo consiste en examinar el comportamiento de la industria manufacturera ubicada en el AMVM que usa agua en sus diversos procesos productivos. Los principales aspectos a considerar son sus fuentes de abastecimiento y el volumen suministrado de agua, el uso consuntivo del recurso, el volumen de agua residual generado, el grado de contaminación de sus descargas, y la magnitud del agua de reuso. Lo aquí expuesto se refiere básicamente a la situación existente durante el 2004, sin embargo, cuando no se cuenta con la información requerida se hace referencia a información de algún año próximo. La información básica proviene de las *Estadísticas del Agua 2005*, Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala, Región XIII (Semarnat-Conagua), Censos Económicos de 1994 a 2004 (INEGI), *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala* (Conagua), XV Censo Industrial *Industrias Manufactureras, Materias Primas y Productos*, *Censo Económico 1999* (INEGI) y el *Primer Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua de 1999* (INEGI).

El capítulo está organizado en cinco apartados: en el primero se describe la importancia de la industria manufacturera usuaria de agua en el AMVM, al tiempo que se dimensiona su presencia dentro de la industria manufacturera de todo el país y dentro de la cuenca del Valle de México. En el segundo se compara el suministro de agua de la industria manufacturera respecto de los otros usuarios —uso público, agrícola, diversos usos— en la cuenca del Valle de México. Se da cuenta de cómo la industria manufacturera de la cuenca del Valle de México se concentra en el AMVM, y se describe su vocación por el agua subterránea respecto del agua superficial y su mayor recurrencia en el agua de primer uso respecto al agua de reuso.

En el tercer apartado se analiza la utilización de agua potable por la industria manufacturera, se precisan las actividades procli-

ves a demandar este tipo de recurso, y se mencionan las actividades potenciales usuarias de agua tratada. Asimismo, se analizan las tarifas que se cobran a las industrias por el uso del agua potable contrastando las tarifas medias en el Distrito Federal con las del estado de México. En el cuarto apartado se describe cómo la industria manufacturera extrae agua de primer uso y cómo se realiza su ciclo hasta volver a cuerpos de agua. Este proceso describe el perfil de la industria manufacturera respecto de su grado de racionalidad en la gestión del agua en el AMVM, su tasa de generación de agua residual, su tasa de tratamiento y su tasa de reuso.

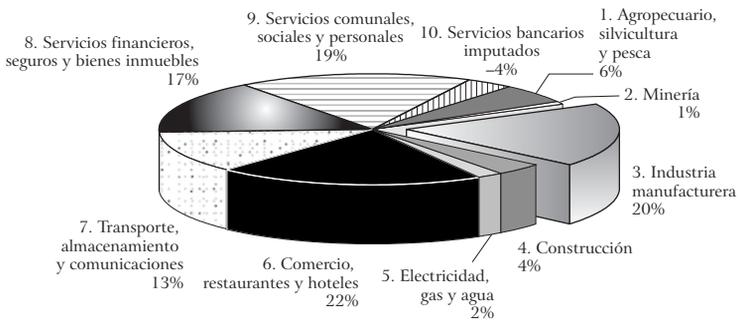
Por último, en el quinto apartado se resumen los principales rasgos del uso del agua en la industria manufacturera del AMVM y se ofrecen algunas sugerencias para que la industria sea más eficiente en el uso del agua y coopere en el abatimiento de la escasez en la misma región.

#### PERFIL INDUSTRIAL DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

COMO SE muestra en la gráfica 1, en el 2004 en México la industria manufacturera explica una quinta parte del producto interno bruto (PIB), lo que permite posicionarlo en el contexto de los países con una economía de desarrollo industrial intermedio. Este sector ocupa el segundo lugar en importancia en su participación dentro del PIB del país después del comercio, restaurantes y hoteles.

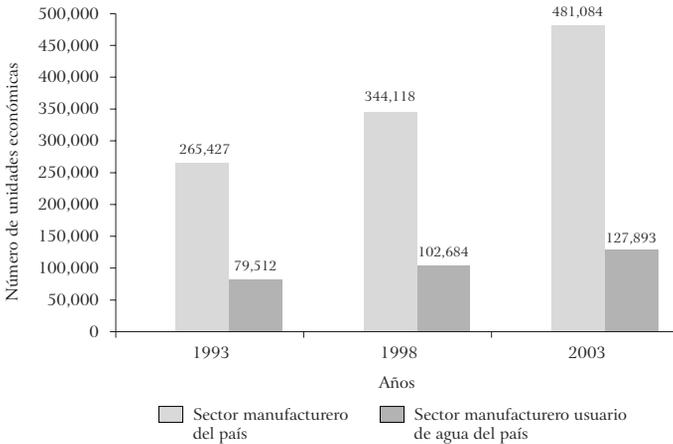
La industria manufacturera en México, en términos del número de establecimientos industriales, ha crecido de manera importante en los últimos años. El número de establecimientos ha aumentado de 265,000 en 1993 a 481,000 para 2003; es decir en 10 años desarrolló 215,000 nuevas unidades económicas, lo que representa un incremento del 81 por ciento. En particular, las industrias manufactureras que usan agua como insumo en sus procesos productivos han crecido 61 por ciento, al pasar de 79,512 establecimientos en 1993 a 127,893 en 2003, lo que incrementa directamente la demanda industrial del agua que debe abastecer a las empresas ya establecidas así como a las que se van incorpo-

GRÁFICA 1  
PARTICIPACIÓN DE LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS  
EN EL PIB DE MÉXICO, 2004



Fuente: <http://dgenesyp.inegi.gob.mx/cgi-win/bdieintsi.exe>

GRÁFICA 2  
EVOLUCIÓN EN UNIDADES ECONÓMICAS DEL SECTOR  
MANUFACTURERO Y USUARIAS DE AGUA, 1993-2003



Fuente: INEGI, *Censos económicos 1993, 1998, 2003*. INEGI, *XV Censo industrial, Industrias manufactureras, Materias Primas y Productos*, México, 2000. *Censos económicos 1999, materias primas y productos, 1999*, Aguascalientes, Aguascalientes, 2000.

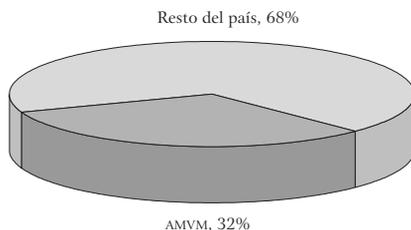
rando al desarrollo de nuevas actividades manufactureras (véase gráfica 2).

A pesar de que la industria usuaria de agua creció 20 por ciento menos que la industria en su conjunto en los 10 años considerados, su incremento ha sido relativamente importante, y más aún cuando interesa evaluar sus requerimientos de agua y su impacto sobre los cuerpos que la abastecen.

En México, una de cada cuatro empresas manufactureras (26.5 por ciento) usaban agua como insumo en sus procesos de producción en 2003. El ritmo de crecimiento de la industria manufacturera usuaria de agua es un factor determinante en el crecimiento de la demanda de agua por parte de este sector. La demanda por agua se presenta por regiones específicas, de acuerdo con la localización de las industrias; en particular, aquí interesa el caso de la industria manufacturera ubicada en el AMVM, que se concentra en el Distrito Federal y en la región urbana aledaña del estado de México. En tanto que la industria manufacturera ubicada en el estado de México se concentra en la región colindante con el Distrito Federal, en este capítulo los establecimientos industriales del AMVM se definen como los establecimientos ubicados en el estado de México y en el Distrito Federal. De acuerdo con esta consideración, la concentración industrial en el AMVM es la más importante de México, puesto que para 2004 en esta región se generaba 32 por ciento del PIB manufacturero en su conjunto. En este sentido, la importancia del sector industrial en el AMVM es central para el desempeño no sólo de las variables económicas y ambientales de la región, sino también de la totalidad de la economía mexicana (véase gráfica 3).

En lo que se refiere al subconjunto de la industria manufacturera que usa agua como insumo directo en sus procesos en el AMVM, de los 127,893 establecimientos industriales que en 2003 utilizaban agua potable como insumo directo en los procesos productivos en el país, 20,626 se ubicaron en el Distrito Federal y en el estado de México, es decir 16 por ciento del total de los establecimientos usuarios de agua de todo el país se concentró dentro de esta demarcación (véase gráfica 4). Este subconjunto de esta-

GRÁFICA 3  
PARTICIPACIÓN DEL PIB  
MANUFACTURERO DEL AMVM  
EN EL PIB MANUFACTURERO NACIONAL, 2004



Fuente: <<http://dgcnesyp.inegi.gob.mx/cgi-win/bdieints.exe>>

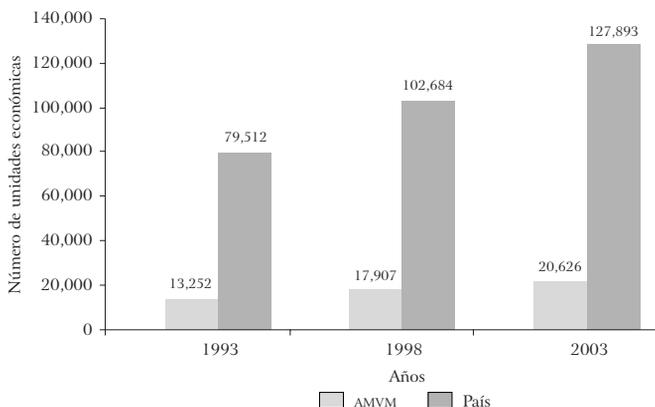
blecimientos usuarios de agua del AMVM, explica 20 por ciento del PIB producido en México, lo que muestra su importancia en la actividad industrial de toda la economía.

El número de establecimientos indica la importancia que tiene la industria manufacturera usuaria de agua en el contexto del territorio y en el AMVM, por lo que es primordial garantizar un desempeño adecuado de esta clase de industria considerando los impactos directos e indirectos en las variables económicas, así como en las variables ambientales, especialmente las descargas de agua residual. En esas condiciones, es fundamental examinar los riesgos que enfrenta el crecimiento de esta industria respecto al abastecimiento de agua en el futuro, en tanto que existe un problema general en el AMVM para cubrir las necesidades de agua de todos los usuarios de este recurso natural en el mediano y largo plazo.<sup>1</sup>

En términos prácticos, y atendiendo el orden de prelación de abastecimiento del agua, en un contexto de baja dotación la industria sería abastecida prácticamente al final de la lista de usuarios. Esta situación representa una restricción que se debe considerar para aquellas industrias nuevas con alta dependencia del agua en sus procesos productivos que pretendan ubicarse dentro del AMVM, y que afectarán indudablemente el crecimiento de la industria a los ritmos con los que lo ha venido haciendo en los últimos años.

<sup>1</sup>Véase Rodríguez y Morales, capítulo 1 de este libro.

GRÁFICA 4  
 UNIDADES ECONÓMICAS USUARIAS DE AGUA POTABLE  
 DISTRITO FEDERAL + ESTADO DE MÉXICO  
 Y A ESCALA NACIONAL



Fuente: INEGI, *Censos económicos, 1994, 1999 y 2004*.

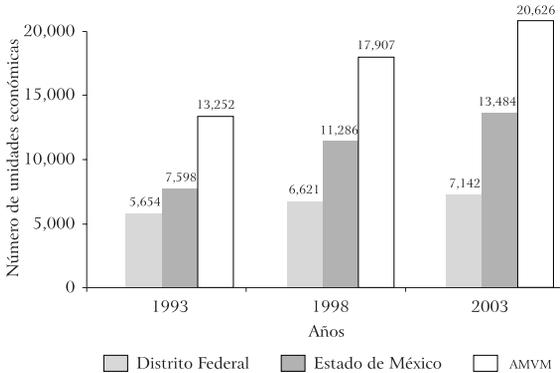
De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales (2003):

El Consejo de Cuenca en coordinación con el Organismo de Cuenca que corresponda, propondrá a “la comisión” el orden de prelación de los usos del agua para su aprobación, el cual se aplicará en situaciones normales, para el otorgamiento de concesiones y asignaciones de la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, superficiales y del subsuelo, atendiendo a lo dispuesto en los artículos 13 bis 3, y 14 bis 5 de esta ley. El uso doméstico y el uso público urbano siempre serán preferentes sobre cualquier otro uso.<sup>2</sup>

El universo de establecimientos industriales usuarios de agua potable en el AMVM tuvo una tasa de crecimiento aproximada de 4.5 por ciento promedio anual en 10 años al pasar de 13,252 a una cifra de 20,026 unidades entre 1993 y 2003 (véase gráfica 5).

<sup>2</sup>México, Ley de Aguas Nacionales, 2003, artículo 22, tercer párrafo.

GRÁFICA 5  
 NÚMERO DE UNIDADES ECONÓMICAS  
 PARA EL DISTRITO FEDERAL, ESTADO DE MÉXICO  
 Y ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO



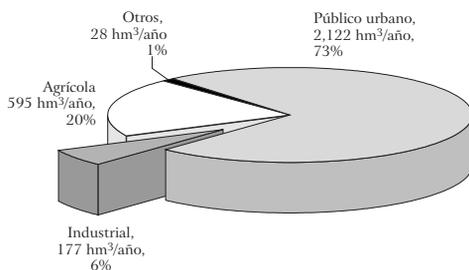
Fuente: INEGI, *Censos económicos, 1994, 1999 y 2004*.

El análisis de los datos arroja que mientras el Distrito Federal aumentó a una tasa de 2.3 por ciento, el estado de México lo hizo a un ritmo de 5.9 por ciento en el mismo periodo de referencia, lo que reflejó la nueva dinámica experimentada por la reciente expansión de empresas en el AMVM.

Los ritmos de crecimiento de los sectores industriales en ambos espacios urbanos especifican el comportamiento de sus respectivas demandas, y en consecuencia, sus descargas de agua residual a diferentes cuerpos de agua así como el comportamiento de otras variables ambientales. En tales condiciones, la mayor parte de la demanda de agua y, en consecuencia, el incremento de las descargas de agua residual las explica el estado de México, sede actual de una de las configuraciones de la industria más relevante a escala nacional.<sup>3</sup> La nueva tendencia del crecimiento industrial que favo-

<sup>3</sup> La pérdida de dinamismo de la industria en el Distrito Federal no debe confundirse con su pérdida de importancia económica que en muchos aspectos relevantes aumenta de manera coherente con las necesidades de una economía que se integra con el norte de América al paso que se globaliza. El Distrito Federal se ha destacado por desarrollar actividades típicas de ciudades globalizadas, como las de servicios al productor, finanzas, administración de firmas globales que se han asentado en diversas regiones de México y buscan servicios de out

GRÁFICA 6  
EXTRACCIÓN TOTAL DE AGUA EN LA CUENCA  
DEL VALLE DE MÉXICO POR TIPO DE USUARIO, 2004



Fuente: *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Conagua, México, 2004.

rece al estado de México ha determinado que la demanda de los recursos hídricos de agua potable para la industria se haya inclinado a favor de este último.

#### REQUERIMIENTOS DE AGUA POR LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

LA EXTRACCIÓN total de agua en la cuenca del Valle de México se obtiene de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos<sup>4</sup> de la misma cuenca, así como de la importación de agua de la cuenca del Lerma y del Balsas y del reuso del agua residual tratada. En 2004 la extracción total de agua para todos los usuarios de la cuenca del Valle de México fue de 2,922 hectómetros cúbicos. De acuerdo con los derechos de explotación del agua, en la cuenca del Valle de México (véase gráfica 6), los volúmenes asignados a cada tipo de usuario son, público urbano que tiene un suministro de

*sourcing*, mercados de valores para la diversificación de portafolios y la utilización de diferentes instrumentos financieros y bancarios.

<sup>4</sup>De acuerdo con la información que proporciona el Registro Público de Derechos del Agua (Repda) que cuantifica los volúmenes de agua concesionados o asignados a los usuarios de aguas nacionales.

2,122 hectómetros cúbicos, e incluye los usos doméstico y el uso propiamente público urbano y está ligado al crecimiento de la población; el uso agrícola representa 596 hectómetros cúbicos, el uso industrial 177 hectómetros cúbicos, y otros usos que requieren de la extracción de 28 hectómetros cúbicos.

La extracción de agua para la industria manufacturera representa 6 por ciento respecto a la extracción total que se realiza en la cuenca del Valle de México. No obstante su baja participación, su abastecimiento para el mediano y largo plazos no está garantizado dado el escenario de escasez del recurso dentro del AMVM que, como ya se comentó, puede poner en peligro su abastecimiento dado que en caso de extrema escasez, este sector sería el más vulnerable de acuerdo con el orden de prelación consignado en la Ley de Aguas Nacionales (LAN). Un problema importante se presentaría si el crecimiento de la industria usuaria de agua fuera muy dinámico y ejerciera una mayor presión en la distribución del recurso entre los diferentes usos.<sup>5</sup>

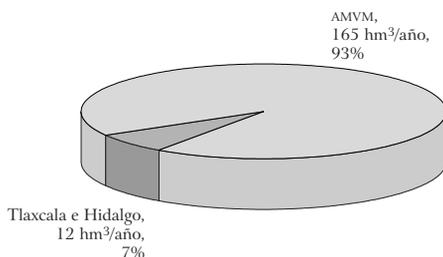
La principal fuente de abastecimiento para la industria manufacturera la constituyen los cuerpos de agua subterráneos, cuya explotación se obtiene mediante el otorgamiento de derechos y el pago de tarifas, de acuerdo con los volúmenes de consumo; otra fuente de suministro es el agua tratada con fines de reuso, aun cuando en esta región éste sea de menor importancia.

### *Concentración de la industria manufacturera usuaria de agua del AMVM*

En la cuenca del Valle de México la industria manufacturera usuaria de agua como insumo se concentra básicamente en el estado de México, seguido del Distrito Federal, y de manera secundaria se localiza los estados de Hidalgo y Tlaxcala. Esta ubicación geográfica influye en la forma en que se distribuyen los 177 hectómetros cúbicos de agua que extrae la industria en la cuenca: 93 por

<sup>5</sup> La LAN define muy claramente el orden de prelación en el caso de haber disputas por el uso del recurso: el uso doméstico y público urbano tiene prioridad antes de los usos de tipo comercial. La LAN también contempla cambios en el orden de prelación cuando todas las partes involucradas lo aprueben incluyendo a la Conagua.

GRÁFICA 7  
 EXTRACCIÓN DE AGUA POR INDUSTRIA MANUFACTURERA  
 EN LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO, 2004  
 (hm<sup>3</sup>)



Fuente: *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Conagua, México, 2004.

ciento se destina para la industria ubicada en el Distrito Federal y el estado de México, y el 7 por ciento restante se destina a los estados de Hidalgo y de Tlaxcala, que también albergan industrias de manufacturas (véase gráfica 7).

Los 20,626 establecimientos industriales usuarios de agua pertenecientes al AMVM, se ubican en el Distrito Federal y en la región urbana del estado de México que colinda con esta demarcación. La extracción de agua por estos establecimientos alcanzó los 165 hectómetros cúbicos en 2004. Los establecimientos de la industria de Tlaxcala e Hidalgo demandan agua por un volumen de sólo 12 hectómetros cúbicos y toda se extrae de cuerpos de agua subterráneos.

El agua para la industria ubicada en el AMVM proviene de tres fuentes de abastecimiento: agua subterránea, agua superficial y agua residual tratada para reuso. Como se muestra en el cuadro 1, la principal fuente de abastecimiento de agua a la industria del AMVM son los cuerpos de agua subterráneos al representar dos terceras partes de la extracción total de la región (69.5 por ciento). En segundo lugar, la industria se abastece de agua tratada para reuso que explica una quinta parte (17.5 por ciento) y, por último, de agua superficial de la que se extrae sólo 12.4 por ciento. Este comportamiento industrial se diferencia del comportamiento general de

la extracción total de la cuenca, en el sentido de que la industria consume agua de reuso y no realiza importaciones directas de agua de cuencas aledañas.

CUADRO I  
FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA  
DEL SECTOR INDUSTRIAL, 2004

<i>Fuente</i>	<i>Industrial</i>		
	<i>m³/s</i>	<i>hm³/año</i>	<i>%</i>
Aguas subterráneas	3.9	123.0	69.5
Aguas superficiales	0.7	22.0	12.4
Reuso	1.0	31.0	17.5
Importación otras cuencas	–	–	0.0
Total	5.6	177.0	100.0

Fuente: *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Conagua, México, 2004.

*Fuente de suministro de agua de primer uso  
y agua de reuso en la industria manufacturera  
del AMVM*

La red de abastecimiento público de agua potable suministra agua a las viviendas, comercios, servicios y a la industria manufacturera conectada a la red dentro del AMVM. De los 2,122 hectómetros cúbicos extraídos para el uso público urbano en 2004, a la industria se le suministra vía la red 87 hectómetros cúbicos, mismos que representan el 4 por ciento, mediante tomas industriales que permiten medir y cobrar las tarifas establecidas con una cobertura cercana al 100 por ciento.

El agua potable y el agua autoabastecida se califican como agua de primer uso debido a su origen; es decir, se trata de agua que se extrae por primera vez de cuerpos de agua superficial y subterránea. El agua potable suministrada a la industria por 87 hectómetros cúbicos sumada al agua autoabastecida por 134 hectómetros cúbicos –tanto agua subterránea como agua superficial– explican

un volumen de agua de primer uso de 221 hectómetros cúbicos (véase cuadro 2).

El agua que se usa más de una vez se denomina agua de reuso, y ésta es de consumo común en la industria, dependiendo del uso específico que se requiera y del grado de tratamiento dado al agua residual. Esta última, previo tratamiento, se convierte en una fuente de abastecimiento para determinadas actividades industriales como es el enfriamiento, el mantenimiento y la limpieza de maquinaria.

Para 2004, la industria en el AMVM registró un consumo de agua de reuso de 31 hectómetros cúbicos, lo que representa sólo 14 por ciento del total de agua de primer uso. Lo anterior hace suponer que este porcentaje se incremente considerablemente, dada la presión que existe sobre el agua de primer uso en la región. El volumen de 221 hectómetros cúbicos de agua de primer uso representa 88 por ciento del abastecimiento total (252 hm<sup>3</sup>), mientras el 12 por ciento restante (véase cuadro 2) es agua de reuso (31 hm<sup>3</sup>), composición que en principio sugiere la posibilidad de modificarse en forma importante a favor del agua de reuso, y lo cual es un indicador indirecto de que la industria asentada en la región muestra un perfil no sustentable con el uso del agua.

CUADRO 2  
AGUA DE PRIMER USO Y DE REUSO  
EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA EN EL AMVM

<i>Fuente de abastecimiento</i>	<i>hm<sup>3</sup>/año</i>	<i>%</i>
Agua de primer uso	221	88
Agua potable	87	35
Agua autoabastecida	134	35
Reuso	31	12
Total	252	100

Fuente: *Compendio Básico del Agua 2004*, Gerencia regional XIII, Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala, Conagua, México, 2004.

La composición del agua que usa la industria en agua de primer uso y de reuso sugiere que la industria manufacturera no está adoptando un comportamiento ambiental responsable con este recurso natural, en tanto que en este sector económico es factible un mayor uso de agua tratada, lo que permitiría también un mayor grado de independencia de las fuentes de suministro de agua de primer uso, mismas que resultan cada vez más escasas, y que es donde se presentan conflictos por el acceso al agua. En este contexto, es impostergable que la industria amplíe el consumo de agua de reuso para el tipo de actividades que la pueden adoptar sin menoscabo de la calidad de sus procesos productivos y las actividades que desempeña regularmente.

*Sobreexplotación de los cuerpos de agua que abastecen a la industria del AMVM*

La elevada dependencia de la industria manufacturera del agua de primer uso representa un riesgo para su funcionamiento en el futuro inmediato, esta fuente de suministro se enfrenta a límites por la elevada sobreexplotación a que se han sometido los cuerpos de agua en la cuenca del Valle de México. De acuerdo con el cuadro 3, la industria del AMVM requiere 221 hectómetros cúbicos de agua de primer uso. De este volumen, tres quintas partes se extraen como agua autoabastecida (61 por ciento), y casi dos quintas partes (39 por ciento) es agua potable suministrada por la red del servicio público urbano. Esto indica, en primer lugar, que la principal fuente de abastecimiento industrial de agua de primer uso proviene de fuentes subterráneas y que el agua potable que se obtiene por medio del abastecimiento público, si bien presenta menor importancia relativa, no deja de desempeñar un papel central dada su participación en el total de agua de primer uso.

En el mismo cuadro 3 se precisa cómo en 2004 la industria se autoabastece con un volumen de 134 hectómetros cúbicos de agua de primer uso, conformado prácticamente por cuerpos de agua subterráneos (112 hm<sup>3</sup>), y de manera secundaria, por cuerpos de agua superficiales (22 hm<sup>3</sup>) que se presenta sólo en el caso del

estado de México. Estos datos indican claramente cómo la industria participa activamente en la generación del gran problema del AMVM que es la sobreexplotación de los cuerpos de agua subterráneos, por lo que es importante la evaluación del uso que la industria le da a esta agua para diseñar medidas que ayuden a disminuir su presencia en la sobreexplotación de los acuíferos, minimizando los impactos negativos sobre el desempeño de la industria en el futuro. La extracción de agua superficial representa un porcentaje de aproximadamente 10 por ciento del consumo total de agua de primer uso y sólo lo hace la industria del estado de México, lo que sugiere explorar la opción de aumentar las obras de captación de agua superficial en lugares estratégicos dentro del AMVM para aprovechar los escurrimientos superficiales de agua que a la fecha entran y salen de la cuenca sin ningún aprovechamiento. Esta vía es muy polémica en el sentido de que existe carencia de espacios físicos para realizar las obras mencionadas, sin embargo esta propuesta se ubica dentro de la opciones que buscan aportar soluciones estructurales para reducir el déficit de agua dentro de la misma cuenca.

CUADRO 3  
ORIGEN DEL AGUA DE PRIMER USO PARA LA INDUSTRIA  
EN EL AMVM, 2004

<i>Fuente de abastecimiento</i>	<i>hm<sup>3</sup>/año</i>	<i>%</i>
Agua autoabastecida	134	61
Aguas subterráneas	112	51
Aguas superficiales	22	10
Agua potable suministrada	87	39
Total	221	100

Nota: El agua de primer uso extraída por la industria usuaria de agua en el Distrito Federal y el estado de México se contabiliza como agua de la industria del AMVM.

Fuente: Estadísticas del Agua 2005, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala, Región XIII*, Secretaría de Medio Ambiente, Conagua, 2005.

*I Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua, Censo Económico 1999*, México, INEGI, 1999.

Las empresas extraen agua a partir de derechos otorgados para explotar cuerpos de agua subterráneos –pozos–, y tienen bien defi-

nidas las cuotas de extracción en los títulos del derecho. Sin embargo, la supervisión del tipo de uso y el cumplimiento de las cuotas de extracción otorgadas no son muy claras ni están bien supervisadas, aspecto que es muy importante evaluar ya que existe la sospecha de que los volúmenes de extracción son mayores a los establecidos en los derechos.

La otra fuente de abastecimiento de primer uso es el agua potable suministrada por el sistema de aprovisionamiento público urbano, y desempeña asimismo un papel central en el abastecimiento de cierto tipo de industrias, como se verá más adelante. Los graves problemas que se tienen para garantizar un suministro de agua potable a la población del AMVM en el presente y en el futuro inmediato se trasladan al suministro de agua potable a la industria y en realidad, como se comentó antes, ésta compite por el recurso con el resto de usuarios en una posición desventajosa. La industria no recurre a la importación de agua de otras cuencas, sin embargo podría decirse que al recibir agua potable del abastecimiento público urbano la recibe indirectamente.

#### ACTIVIDADES MANUFACTURERAS USUARIAS DE AGUA POTABLE EN EL AMVM

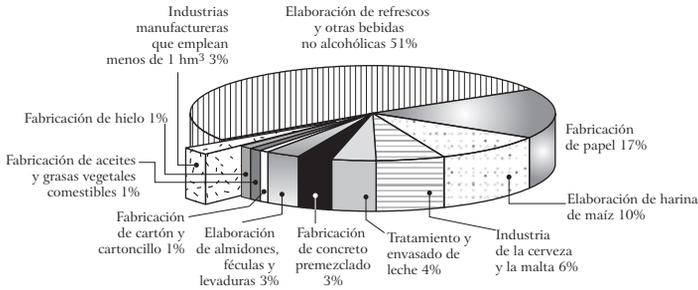
LA PLANTA industrial del AMVM está integrada por 20,626 establecimientos manufactureros usuarios de agua potable que en conjunto demandan 87 hectómetros cúbicos. La clasificación de estos establecimientos de acuerdo con su rama industrial y por la intensidad en el uso de agua potable –considerando la información del agua usada como insumo en sus respectivos procesos–, permite concluir que el uso del agua potable en la industria del AMVM se encuentra claramente concentrado en pocas ramas industriales.<sup>6</sup> Así, son sólo 10 ramas industriales las que concentran el uso del agua potable en el AMVM, mismas que explican 97 por ciento del agua potable suministrada en la región, y sólo cuatro ramas que concentran 87 por ciento de la demanda total de ese recurso (véase gráfica 8).

<sup>6</sup>Este análisis no se puede realizar para el agua autoabastecida por falta de información.

Las cuatro actividades industriales grandes consumidoras de agua del AMVM son: elaboración de refrescos y otras bebidas no alcohólicas, fabricación de papel, elaboración de harina de maíz e industria de la cerveza y la malta.

En la gráfica 8 se muestran las 10 clases de actividad industrial del AMVM que más agua potable utilizan, y posteriormente se describe la situación de cada una de las cuatro industrias grandes consumidoras del recurso.

**GRÁFICA 8**  
**INDUSTRIAS MANUFACTURERAS USUARIAS**  
**DE AGUA POTABLE UBICADAS EN EL ÁREA METROPOLITANA**  
**DEL VALLE DE MÉXICO, 1998**



Fuente: INEGI, XV Censo Industrial, Industrias Manufactureras, México, 2000. *Censo Económico 1999, Materias Primas y Productos, 1999*, Aguascalientes, Aguascalientes, 2000.

*Elaboración de refrescos y otras bebidas no alcohólicas*

Para 2004, el uso de agua potable se concentró en la industria abocada a la elaboración de refrescos y otras bebidas no alcohólicas, lo que la reveló como la gran usuaria, en vista de que utilizó más de la mitad (53 por ciento), equivalente a 37 hectómetros cúbicos de todo el suministro de agua potable de las industrias manufactureras.

Cabe mencionar que la mayor presión ejercida sobre el agua la enfrenta el estado de México que debe suministrar alrededor del 70 por ciento de la demanda de agua potable de esta industria.

En la industria para la elaboración de refrescos y otras bebidas no alcohólicas, el agua es un insumo primario que pasa a formar parte del producto final y representa una proporción muy pequeña del valor del costo de producción.<sup>7</sup> Los aumentos en los volúmenes de producción y el crecimiento mismo de la industria, están directamente vinculados a la oportuna satisfacción de su demanda de agua potable, razón por la que las limitaciones para su aprovisionamiento –presente y futuro– las obliga a desplazarse a zonas donde la oferta de agua no sea una restricción importante y el recurso puede obtenerse a un precio comparativamente menor.

Hasta ahora, esta industria ha trasladado su abastecimiento desde el Distrito Federal hacia el estado de México, lo cual de todas maneras sólo resuelve el costo de la demanda en el corto plazo. Sin embargo, en el mediano y largo plazos se debe considerar que la oferta de agua potable proviene de los mismos cuerpos de agua de la cuenca del Valle de México y que más temprano que tarde el estado de México habrá de enfrentar límites semejantes al abastecimiento de agua potable que en el Distrito Federal. En consecuencia, el gobierno estaría obligado a aplicar una política más estricta y a ajustar al alza sus tarifas de cobro a la industria, entre otras medidas.

### *Fabricación de papel*

La industria de fabricación de papel es igualmente una gran usuaria de agua potable, y para 2004 demandó un volumen equivalente a los 12.2 hectómetros cúbicos lo que representó 17 por ciento del agua potable abastecida a la industria del AMVM. Esta industria reusa en forma importante el agua, así como también demanda agua autoabastecida, sin embargo, no se cuenta con información que confirme esta situación. Sus descargas de agua han sido más o menos reguladas mediante el establecimiento de sus propias plantas de tratamiento.

<sup>7</sup>Un análisis sobre intensidad en el uso del agua potable por clase de actividad se encuentra en Morales y Rodríguez, "Perspectivas de seguridad...", *op. cit.*, pp. 249-259.

El 55 por ciento de los establecimientos se localizan en el Distrito Federal y el resto en el estado de México (véase gráfica 9). Para ambos espacios geográficos, eventualmente surge la necesidad de la creación de un mercado de agua residual y tratada que tienda a operar con base en el principio de trueque de agua residual por agua tratada de primer uso.<sup>8</sup>

#### *Elaboración de harina de maíz*

La mayoría de los establecimientos (82 por ciento) de la industria para la elaboración de harina de maíz, se ubican en el estado de México. En este sector, la demanda de agua potable en el 2004 fue de casi 8 hectómetros cúbicos, lo que representa 11 por ciento del suministro total de la industria del AMVM. Se trata de la tercera en importancia en términos de volumen de agua demandada y sus descargas de agua residual contienen componentes orgánicos que debieran procesarse antes de vertirse al sistema de drenaje municipal.

#### *Productora de cerveza*

La industria productora de cerveza, para el mismo 2004, demandó agua potable por un volumen aproximado de 5 hectómetros cúbicos lo que representa 6 por ciento de la demanda total del recurso del AMVM. La mayor parte de su demanda la explican los establecimientos ubicados en el estado de México (65 por ciento) y en realidad sus descargas de agua residual son magras comparadas con las de muchos sectores de la industria. En tales condiciones, su perfil de descarga de agua residual es similar a la industria de refrescos, dada su elevada tasa de uso consuntivo del recurso.

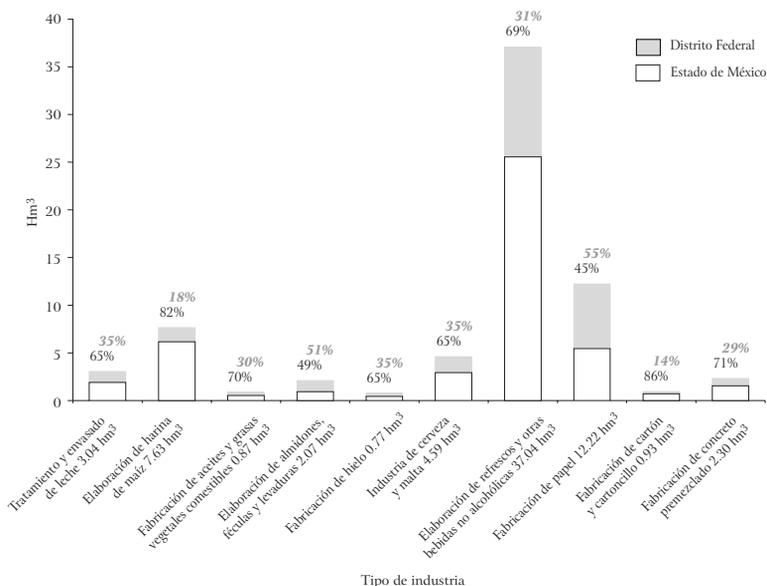
Además de las cuatro ramas antes mencionadas, se adicionan otras seis que demandan agua en un porcentaje que oscila entre 1 y 4 por ciento, y son las siguientes, en orden de importancia:

<sup>8</sup> Este mercado operaría mediante intercambio de agua residual por agua tratada, y esto último lo convierte en un amortiguador del creciente volumen de oferta de agua potable, utilizable para fines que eventualmente pueden no demandar un alto grado de pureza.

tratamiento y envasado de leche; fabricación de concreto premezclado; elaboración de almidones; féculas y levaduras; fabricación de cartón y cartoncillo; fabricación de aceites y grasas vegetales comestibles, y fabricación de hielo.

En la gráfica 9 se presentan las 10 ramas industriales consumidoras de agua potable que explican 97 por ciento del total suministrado en el AMVM, al tiempo que se muestran los porcentajes de empresas ubicadas en el Distrito Federal y en el estado de México. Es claro en la gráfica 9 que la mayoría de las industrias se ubican en el estado de México, lo que es resultado de un proceso de crecimiento de la industria y de la relocalización de algunas

GRÁFICA 9  
INDUSTRIAS DEL AMVM USUARIAS INTENSIVAS  
DE AGUA POTABLE UBICADAS EN EL DISTRITO FEDERAL  
Y EN EL ESTADO DE MÉXICO



Fuente: *I Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua, Censo Económico 1999, Censo Industrial XV, Industrias Manufactureras, México, INEGI, 2000. Censo Económico 1999, Materias Primas y Productos, 1999, Aguascalientes, 2000.*

ramas que han migrado del Distrito Federal al estado de México, o bien que desde el inicio han elegido asentarse en este último espacio territorial.

Aunado a lo anterior, en el cuadro 4, se mencionan las industrias que usan agua potable en un volumen inferior a 1 hectómetro cúbico anual, y que en conjunto explican 3 por ciento del total del consumo de agua potable. Se considera relevante mencionarlas en tanto que es posible que estas actividades industriales demanden agua autoabastecida y agua potable, lo que sería interesante investigar dado que a la fecha esta información no se encuentra disponible. Gran parte de estas industrias adquieren relevancia por los niveles de contaminación de sus aguas residuales descargadas.

CUADRO 4  
INDUSTRIAS MANUFACTURERAS  
EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO  
QUE EMPLEAN AGUA POTABLE  
EN UN VOLUMEN MENOR A 1 HM<sup>3</sup>/AÑO

<i>Industrias</i>	<i>hm<sup>3</sup></i>	<i>%</i>
Tortillerías	0.543	0.74
Elaboración de cal	0.270	0.37
Preparación y envasado de frutas y legumbres	0.262	0.36
Preparación y envasado de conservas de pescados y mariscos	0.249	0.34
Elaboración de helados y paletas	0.245	0.33
Fabricación de cemento hidráulico	0.183	0.25
Fabricación de mosaicos, tubos, postes y similares a base de cemento	0.107	0.15
Fabricación de azulejos o losetas	0.103	0.14
Molienda de nixtamal	0.041	0.06
Fabricación de ladrillos, tabiques y tejas de arcilla no refractarios	0.030	0.04
Elaboración de yeso y sus productos	0.024	0.03
Elaboración de concentrados, jarabes y colorantes naturales para alimentos	0.021	0.03
Fabricación de partes prefabricadas de concreto para la construcción	0.020	0.03
Alfarería y cerámica	0.007	0.01

CUADRO 4 (*Continuación*)

<i>Industrias</i>	<i>hm<sup>3</sup></i>	<i>%</i>
Corte, pulido y laminado de mármol y otras piedras	0.007	0.01
Elaboración de galletas y pastas alimenticias	0.005	0.01
Congelación y empaque de pescados y mariscos frescos	0.004	0.00
Fabricación de artículos sanitarios de cerámica	0.001	0.00
Total	2.120	2.88

Fuente: Tabla de elaboración propia con datos de: INEGI, Censo Industrial XV, *Industrias Manufacturadas*, México, 2000. *Censo Económico 1999, Materias Primas y Productos*, 1999, Aguascalientes, Aguascalientes, 2000.

La aplicación de medidas para regular el uso de agua potable en la industria es factible, dada la concentración de las industrias usuarias de agua potable, al mismo tiempo que las grandes usuarias presentan en su mayoría una organización industrial oligopólica.

*¿Qué tarifas se aplican a los establecimientos industriales que usan agua potable y operan en el AMVM?*

La estructura de tarifas del agua potable suministrada por los organismos operadores a la industria se caracteriza por ser la más elevada comparada con las del conjunto de los usuarios del recurso en el AMVM. Otra característica es que las tarifas aumentan a medida que los volúmenes de consumo de agua se incrementan dentro de rangos de consumo, de modo que el monto a pagar es una función de la cantidad demandada. La industria en el AMVM es el usuario de agua que presenta el mayor coeficiente de pago al agua suministrada.

Esto es particularmente cierto para los segmentos industriales localizados en el AMVM que pagan la tarifa fijada por los organismos operadores, y de hecho su contribución es clave en la captación de recursos que se orientan al abastecimiento de agua potable tanto a la propia industria, como al resto de los sectores económicos –como los hogares– que en general se caracterizan por una

elevada irregularidad en el cumplimiento del pago del suministro del recurso. Es un hecho que el pago del agua industrial genera ingresos que subsidian el consumo de los otros usuarios, lo que se traduce en una situación de subsidios cruzados.<sup>9</sup> En el AMVM existen dos sistemas de tarifas, una para el Distrito Federal y otra para el estado de México, no obstante que la mayoría de las veces las fuentes de suministro y los costos del recurso son las mismas. Lo que explica la diferencia en las tarifas es la aplicación de políticas hidráulicas diferenciadas para cada delimitación político-geográfica, y la inexistencia de un criterio de gestión de agua, basado en la administración del recurso en la misma cuenca hidrológica.

RECUADRO 1  
EL AGUA ES UN COSTO DE PRODUCCIÓN  
PARA LA INDUSTRIA

Los establecimientos industriales demandan agua potable para usarla como insumo en sus procesos productivos, esto explica en parte que presenten funciones de demanda de agua inelásticas.<sup>10</sup> Esto quiere decir que los cambios en los precios del agua potable no modifican la magnitud de su demanda de agua y aunque en el mediano y largo plazo pueden realizar algunas modificaciones para hacer un uso más eficiente del recurso, su demanda no depende incluso del cambio técnico sino, del nivel, o de sus planes de producción. Por descontado es que sus planes de producción efectiva dependen del conjunto de variables que configuran la rentabilidad de la empresa.

<sup>9</sup> Sería motivo de un estudio aparte examinar hasta qué punto, a nivel macroeconómico, la industria puede estar subsidiando el consumo de agua que la gran agricultura de riego no paga.

<sup>10</sup> En tales condiciones la elasticidad precio de la demanda se formula como:

$$e = \frac{\Delta Q / \bar{Q}}{\Delta P / \bar{P}} = \frac{(Q_1 - Q_2) / (Q_1 + Q_2) / 2}{(P_1 - P_2) / (P_1 + P_2) / 2}$$

Donde  $\Delta Q$  es el cambio en la cantidad demandada y  $\Delta P$  es el cambio en el precio. Los subíndices 1 y 2 se refieren a los dos puntos sobre una curva de demanda; la barra sobre  $Q$  y  $P$  representa la cantidad y el precio medio, respectivamente, entre los puntos 1 y 2 en una curva de demanda. La elasticidad inelástica significa valores de  $e < 1$ .

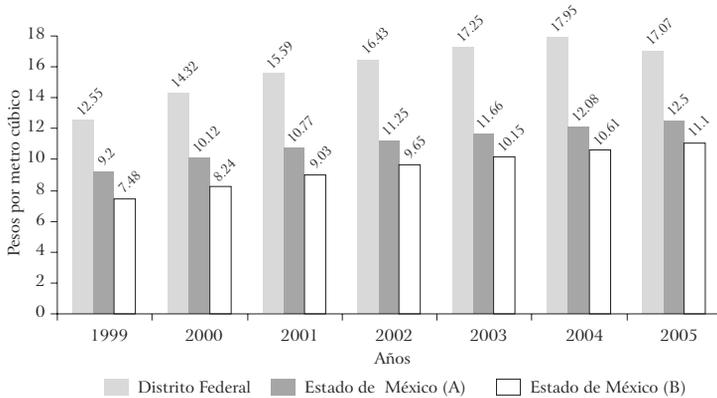
En tales condiciones, puesto que el uso del agua potable es un costo de producción para la empresa, ésta siempre tendrá la posibilidad de transferir al consumidor final los aumentos en los precios de este insumo directo, razón por la que podría resultar indiferente para el sector industrial el tener que pagar el “valor real” del agua potable,<sup>11</sup> lo cual resulta más claro para las industrias de tipo monopólico u oligopólico. Los aumentos de precio del agua potable se reflejarán en un aumento porcentual en los precios de los bienes finales, especialmente cuando se trata de industrias en las que el agua potable constituye un insumo de producción directo como la refresquera. Sin embargo, en esa perspectiva, un incremento elevado en la tarifa del agua puede provocar eventualmente una caída de la demanda del bien en cuestión, lo que afectaría de manera directa, al menos en teoría, las ganancias de este tipo de industria.

En la gráfica 10 se presentan las tarifas promedio anual del consumo industrial por metro cúbico de agua potable a pesos corrientes para el Distrito Federal y el estado de México. Destacan dos hechos, el primero es que en el periodo 1999-2005 las tarifas del Distrito Federal fueron más altas en un 30 por ciento en promedio respecto de la zona “A” del estado de México y hasta 40 por ciento respecto de la zona “B”. El segundo hecho es que las tarifas del Distrito Federal en el mismo periodo crecieron más rápidamente que las del estado de México, en vista de que los ajustes al alza en las tarifas del Distrito Federal fueron mayores, en tanto que las del estado de México aumentaron con menor rapidez, puesto que los ajustes se realizan de acuerdo con los incrementos en los salarios mínimos y éstos han tenido un crecimiento raquítico. El resultado de ambas conductas se traduce en la ampliación de la brecha entre ambas tarifas a lo largo del tiempo.

<sup>11</sup> En otros términos, la industria manufacturera usuaria de agua potable no responde a las “señales del mercado” que pretenderían desalentar el crecimiento en el consumo del recurso.

GRÁFICA 10

COMPARATIVO DE LAS TARIFAS PROMEDIO DE AGUA POTABLE PARA LA INDUSTRIA MANUFACTURERA EN EL DISTRITO FEDERAL Y EN LAS DOS ZONAS GEOGRÁFICAS DEL ESTADO DE MÉXICO, 1999-2005



Fuente: Código Financiero del Distrito Federal, 2005; *Gaceta del Gobierno del Estado de México*, 2004.

Las tarifas en el Distrito Federal se determinan con el criterio de que aumentos en el volumen de agua potable consumida aumentan asimismo el precio por metro cúbico en una estructura escalonada y el objetivo central de esta estructura tarifaria consiste en desalentar el consumo dispendioso e irracional, consuntivo y/o no consuntivo de agua por parte de las empresas.

En el estado de México también se aplica el criterio de aumentar los precios por metro cúbico de agua potable. A medida que aumenta el volumen consumido por establecimiento industrial, se determinan las tarifas de acuerdo con diversos rangos de consumo, aplicando la regla de multiplicar un factor fijo de precios por el valor del salario mínimo vigente<sup>12</sup> de tal modo que al elevarse los diferentes rangos de consumo de agua se obtienen mayores tarifas. En el estado de México existen dos estructuras tarifarias para dos áreas geográficas diferentes: la zona “A”, colindante con el Distrito

<sup>12</sup>El cálculo de las tarifas a cobrar anualmente en el estado de México se efectúa con base en el Código Financiero de 1998 para la región.

Federal, y la zona “B” que agrupa al resto de las localidades; las tarifas se determinan a partir de coeficientes fijos aplicados a los salarios mínimos vigentes para cada una de las zonas del estado de México. El salario mínimo aplicado a la región “A” se corresponde con el salario mínimo nacional, mientras que el salario mínimo aplicado a la región “B” es similar al salario mínimo correspondiente a la región “C” en todo el país.

En el estado de México la industria manufacturera se asienta fundamentalmente en la zona “A”, donde para 2004 la tarifa promedio por metro cúbico de agua potable fue de 12 pesos, mientras que la del Distrito Federal alcanzó un monto cercano a los 18 pesos metro cúbico, lo que explica un costo 50 por ciento mayor que en el estado de México. De esta manera se tiene que el agua suministrada por los mismos acuíferos deriva en tarifas diferentes,<sup>13</sup> situación esta última que sugiere la existencia de importantes tensiones institucionales para acordar la aplicación de una política homogénea entre el Distrito Federal y estado de México que conforman el AMVM.

La distribución de agua potable la efectúan cuatro empresas privadas a partir de la figura jurídica de “contratación de servicios”, pero son las legislaturas del Distrito Federal y del estado de México las que tienen la facultad de fijar y revisar las tarifas, incluyendo por supuesto el caso de la industria, y en los últimos siete años se observa un aumento sostenido de las tarifas en términos nominales, como se registra en la gráfica 10.<sup>14</sup>

La situación actual de tarifas origina ventajas para el estado de México al resultar atractiva para las empresas usuarias de agua potable, de tal forma que cada vez más empresas del Distrito Federal se desplazan hacia esa zona del AMVM. Sin embargo, desde el punto de vista de la administración sustentable del recurso, esta diferenciación de tarifas no ayuda en nada en tanto que son

<sup>13</sup>Esta situación es un elemento que contribuye a la explicación del porqué las empresas usuarias de agua potable han tendido en el último lustro a localizarse de manera preferencial en el estado de México.

<sup>14</sup>El valor de la tarifa promedio para 2005 no aumentó de acuerdo con la tendencia del período, debido a que ese año se realizó un ajuste a los rangos de consumo correspondientes a las tarifas, lo que afectó adversamente el valor promedio de la tarifa estimada por metro cúbico de agua potable.

los mismos cuerpos de agua dentro de la cuenca del Valle de México los que abastecen ambas localidades.

En la situación vigente, resulta absurdo entender que existan empresas que, ubicadas en la zona limítrofe entre ambas localidades, tengan que pagar cuotas diferentes por el mismo recurso, pues a menudo entre dos empresas hay una distancia menor a los 100 metros. Esto último sólo muestra la manera irracional con que se ha administrado el agua y la importancia de homogeneizar las tarifas para lograr una política que envíe señales correctas a los usuarios del recurso, en este caso las empresas.

La administración de la demanda de agua potable en la industria no sólo se logra con el manejo adecuado de tarifas, se requiere además de medidas complementarias que hagan atractiva la relocalización de las grandes industrias usuarias de agua hacia regiones con mayor disponibilidad del recurso. Este es el caso de la industria para la elaboración de refrescos y otras bebidas no alcohólicas, que es la gran usuaria de agua potable y consume alrededor de la mitad de este recurso que demanda la industria al año.

#### CICLO DEL AGUA DE PRIMER USO POR LA INDUSTRIA EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

EN 2004, los 20,626 establecimientos industriales ubicados en el AMVM extrajeron agua de primer uso por un volumen de 221 hectómetros cúbicos; el consumo consuntivo<sup>15</sup> de estas industrias fue del orden de 160 hectómetros cúbicos, lo que generó agua residual por 60 hectómetros cúbicos (véase gráfica 11). El agua residual industrial representó 27 por ciento respecto al volumen del agua de primer uso en la industria, lo que contrasta con el valor del mismo indicador a nivel de la industria del país que alcanzó un valor de 54 por ciento. Esta diferencia sugiere como se comentó en un primer análisis, que el agua residual que se reporta en el

<sup>15</sup>Esta forma de uso se refiere al consumo del agua en el proceso productivo en razón que se incorpora al mismo producto como es el caso de las bebidas y alimentos, así como al agua que se evapora durante el proceso de producción y que no pasa a formar parte del agua residual que se desecha.

AMVM se subregistra, lo que es más evidente en el caso del Distrito Federal, situación que complica el problema del cálculo económico del nivel de contaminación del agua por la industria del AMVM. Sin embargo, es cierto que considerar parte de la diferencia mencionada se explica por la presencia de ramas industriales consumidoras de agua potable en el AMVM, en donde la mayoría del agua demandada se queda en el producto. Sin embargo, para el agua autoabastecida no contamos con la información que determine el tipo de industria que la requiere, lo que complica una conclusión al respecto. Lo que es un hecho es que el nivel de tratamiento de las descargas industriales es mínimo.

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) regulan la calidad de las descargas de aguas residuales para todos los usuarios, y para el caso de la industria las normas que corresponden son NOM-001-Semarnat-1996<sup>16</sup> y NOM-002-Semarnat-1996<sup>17</sup> que establecen que los establecimientos industriales deben realizar sus descargas a los cuerpos de agua y bienes nacionales, y/o al sistema del drenaje municipal cumpliendo con los límites permisibles de contaminantes de acuerdo con los criterios de cada norma. La mayoría de las veces, las aguas residuales industriales requieren de un tratamiento antes de descargarlas a los cuerpos de agua correspondientes, ya que éstas se caracterizan por su alto contenido de partículas y residuos peligrosos que a su vez dependen del tipo de actividad manufacturera. Sin embargo, como se observa en la gráfica 11, en el AMVM sólo se tratan 38 hectómetros cúbicos –que representan 63 por ciento del total del agua residual–, mientras los restantes 22 hectómetros cúbicos de agua industrial no reciben ningún tipo de tratamiento y se descargan directamente al sistema de alcantarillado o a los cuerpos de agua, lo que contribuye al aumento de la contaminación de la cuenca del Valle de México.<sup>18</sup>

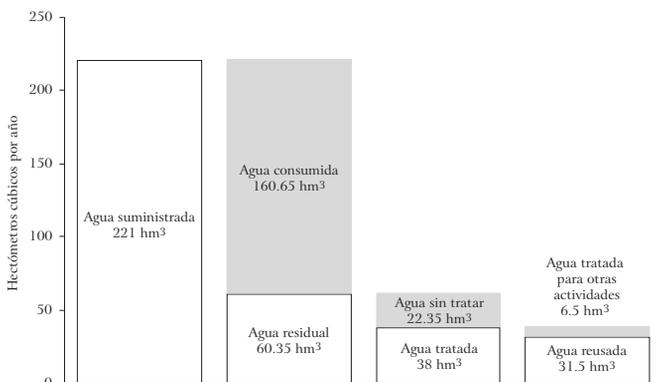
<sup>16</sup>Esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales.

<sup>17</sup>Esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

<sup>18</sup>La industria manufacturera “limpia” da tratamiento a sus descargas de aguas residuales e incorpora en el precio de su producto los costos del tratamiento, por lo que el precio del bien final aumenta. Por el contrario, la industria que evade pagar el agua potable o la paga

## GRÁFICA 11

## FASES DEL AGUA DE PRIMER USO EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO, 2004



Fuente: *Estadísticas del Agua 2005*, Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala, Región XIII. Conagua, Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala, México, 2005.

El incumplimiento de la normatividad en términos de descargas de agua residual es un factor determinante de importantes daños –probablemente irreversibles– a los cuerpos de agua de la cuenca del Valle de México que no sólo afecta la disponibilidad del recurso, sino que también constituye una amenaza sobre la salud y la agricultura asentada alrededor del AMVM.<sup>19</sup>

El ciclo del agua de primer uso en el AMVM debe mejorar. Un mejor control de los volúmenes de descarga de agua residual de los usuarios industriales contribuiría a regular de manera más eficaz el cumplimiento en su nivel de tratamiento, lo que redundaría en

---

a un precio siempre por debajo de su precio real, y descarga agua residual sin tratamiento evadiendo la “internalización” de sus costos –ambientales– por el uso y contaminación del recurso, se traduce en precios más bajos en sus bienes finales. En otras palabras, el comportamiento diferenciado entre empresas que asumen los costos ambientales y las que no lo hacen, produce ventajas comparativas y “competitivas” en la misma rama industrial, lo cual constituye una falla de mercado evidente, ya que los costos de la contaminación que las empresas se reapropian bajo la forma de beneficios privados se transfieren a la sociedad. Este es el escenario que se presenta en la industria en el AMVM y más aún en el país.

<sup>19</sup> Son bastante conocidos los daños provocados por el uso de agua residual sin tratamiento en zonas como la del Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo.

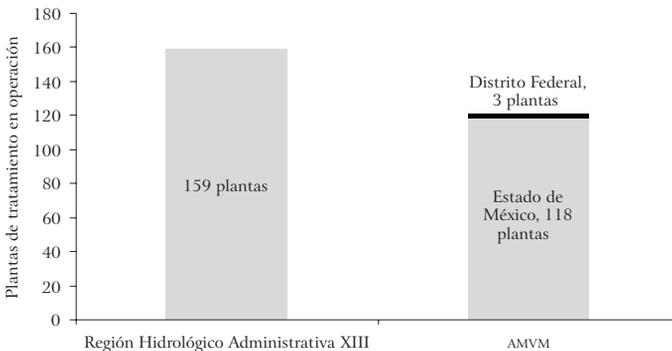
la mitigación de los impactos ambientales negativos sobre la cuenca del Valle de México.

Con un volumen mayor del agua residual generada y tratada adecuadamente en la región sería posible aumentar considerablemente el agua de reuso, y de un monto de 31 hectómetros cúbicos podría pasar a volúmenes superiores a los 60 hectómetros cúbicos, lo que significaría liberar agua de primer uso en un monto equivalente, misma que se destinaría a satisfacer necesidades más urgentes. Es claro que una política hidráulica integral tiene un amplio horizonte que alcanzar en gran número de estos aspectos.

El volumen de agua reusada representa 83 por ciento del agua tratada en toda el AMVM. El reuso representa otra fuente de extracción y es agua destinada tanto a la misma industria como a usos públicos municipales. Es posible y deseable aumentar el agua de reuso, la política hídrica debería apuntar en esta dirección; en la actualidad este proceso de reutilización tiene mayor incidencia en el estado de México respecto a las prácticas que se siguen en el Distrito Federal. El número de plantas de tratamiento industrial es

GRÁFICA 12

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA INDUSTRIAL  
EN LA REGIÓN HIDROLÓGICA XIII VALLE DE MÉXICO  
Y SISTEMA CUTZAMALA Y EN EL ÁREA METROPOLITANA  
DEL VALLE DE MÉXICO, 2004



Fuente: *Estadísticas del Agua 2005. Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, Región XIII, Conagua, México, 2005.

el mejor indicador del énfasis que las industrias han puesto sobre el problema del tratamiento y reuso del agua; mientras que para 2004 el estado de México, con 118 plantas, cubrió 37 hectómetros cúbicos de agua tratada al año, el Distrito Federal, con tres plantas, sólo trató 1 hectómetros cúbicos. Esta muy seria limitación, muestra la urgencia de que la industria en el Distrito Federal considere el problema del tratamiento y reuso de sus aguas industriales como un tema urgente en lo inmediato (véase gráfica 12). Sin embargo, conviene subrayar que de las 159 plantas de tratamiento de agua industrial existentes en la Región Hidrológica Administrativa XIII, el 76 por ciento se concentra en el AMVM.

## CONCLUSIONES

LA INDUSTRIA manufacturera en México ha crecido en forma importante en los 10 años considerados en el estudio –de 1993 a 2003. En concordancia, el subconjunto de establecimientos de la industria manufacturera usuaria de agua también ha crecido, aun cuando lo ha hecho a un ritmo menor al de la industria en su conjunto. Para 2003, el número de establecimientos que usaron agua como insumo en México alcanzó la magnitud de 127,893, y se requirió un volumen importante de agua para sus procesos, lo que significó una presión considerable sobre los cuerpos de agua que la abastecieron y la generación de contaminación por sus aguas residuales industriales.

Una quinta parte del PIB del país lo generó la industria manufacturera, lo que muestra la importancia de ésta dentro de toda la economía. En este sentido, es claro el interés del gobierno por garantizar el buen desempeño de esta actividad industrial en el país, y en particular en el AMVM, sin embargo en el logro de este objetivo hay que cuidar –no afectar– la disponibilidad natural del recurso agua y el entorno natural en que se desempeña esta actividad.

El crecimiento de la industria de manufacturas usuaria de agua en el AMVM se ha presentado con un ritmo de 4.5 por ciento promedio anual, de tal forma que de 13,252 establecimientos

industriales en 1993 alcanzó la cifra de 20,026 unidades para 2003. Estos establecimientos representan 16 por ciento del total de los establecimientos industriales del país que usan agua como insumo en sus procesos. El dinamismo de las manufacturas se explica por el comportamiento de la industria en el estado de México, que ha crecido a un ritmo de 5.9 por ciento mientras en el Distrito Federal los establecimientos crecen a una tasa de 2.3 por ciento. Esto último describe la nueva dinámica experimentada por la reciente expansión de empresas en esta región.

Los 20,026 establecimientos industriales del AMVM extraen 252 hectómetros cúbicos de agua para sus diversas actividades manufactureras. Este volumen representa 6 por ciento de la extracción total en la cuenca del Valle de México, y el porcentaje contrasta con la elevada participación del uso público urbano (73 por ciento) que es con el cual la industria disputa el agua de la región, con la desventaja de que en un escenario de escasez extrema el uso público urbano tiene prioridad de acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales. Por su parte, el crecimiento industrial en el AMVM debe enfrentar una fuerte restricción frente al crecimiento del uso público en la disputa por el recurso natural agua. El otro uso importante es el agrícola, pero no existe competencia por parte de la industria puesto que se ubica principalmente fuera del AMVM.

La industria en el AMVM obtiene agua de dos fuentes de extracción, agua de primer uso y agua de reuso, como su nombre lo indica la primera es aquella que se extrae directamente de cuerpos de agua y la segunda es la que ya fue usada previamente en alguna actividad económica o servicio específico y que sirve para una segunda actividad, ya sea de tipo industrial o de uso público urbano, entre otras. La industria extrae el agua de primer uso de dos fuentes de abastecimiento, de cuerpos de agua naturales –subterráneos y superficiales– y de la red de abastecimiento público urbano. El agua de reuso se obtiene básicamente de las aguas residuales de las industrias o del sistema de drenaje público, y se utiliza después de un tratamiento que puede ser primario, secundario y terciario, dependiendo del nivel de limpieza que las plantas de tratamiento de uso industrial o uso públicos puedan aplicar. El agua residual de la

ciudad se reusa en la agricultura sin ningún tratamiento, lo que representa un grave problema para la salud de los agricultores, entre otros afectados.

De la extracción de 252 hectómetros cúbicos de agua que realiza el sector industrial en el AMVM, 88 por ciento es de primer uso y 12 por ciento de reuso. Esta composición de la extracción de agua sugiere que la industria manufacturera no está adoptando un comportamiento ambiental responsable con el agua, en tanto que un mayor uso de agua tratada, permitiría a su vez un mayor grado de independencia de las fuentes de suministro de primer uso, que es en donde se están dando verdaderos conflictos por el acceso al agua.

Resulta impostergable, pues, que la industria aumente el uso del agua de reuso para las actividades que la puedan aprovechar sin afectar la eficiencia de sus procesos. El agua residual, previo tratamiento, se convierte en una fuente de abastecimiento para determinadas actividades industriales. En el 2004, la industria registró un volumen de agua de reuso de 31 hectómetros cúbicos. El incremento del reuso de agua es posible en tanto que su fuente de abastecimiento crece al aumentar los flujos de agua residual generada, tal como se hace en otros países y en la Región Hidrológica VI Río Bravo en México.

El límite que la industria enfrenta para su abastecimiento de agua es en el suministro de agua de primer uso. En esta fuente de extracción existen dos formas de abastecimiento, el autoabastecimiento en el que las mismas empresas extraen el agua de los cuerpos de agua por medio de permisos o derechos otorgados a las industrias para realizar la extracción directamente, ya sea de fuentes de agua subterráneas o superficiales, y el suministro de agua potable, que se logra por la red de abastecimiento público urbano. Para 2004 el agua potable suministrada a la industria por 87 hectómetros cúbicos aunada al agua autoabastecida por 134 hectómetros cúbicos explican un volumen de agua de primer uso de 221 hectómetros cúbicos. La red pública urbana de agua potable suministró agua a la industria manufacturera a partir de tomas industriales que permitieron medir y cobrar la tarifa establecida logrando una cobertura de cobranza elevada dentro del AMVM. El agua

autoabastecida se asignó por medio de permisos o derechos otorgados a las industrias para extraer directamente agua de fuentes de agua subterráneas o superficiales.

De acuerdo con la importante participación del agua autoabastecida en la industria, es claro que esta fuente de abastecimiento de agua de primer uso fue fundamental en el desempeño de sus actividades. Del total de agua de primer uso tres quintas partes fueron extraídas directamente por los mismos establecimientos; se registró como agua autoabastecida (61 por ciento), y casi dos quintas partes (39 por ciento) fueron agua potable suministrada por el servicio público urbano. La industria en 2004 extrajo directamente 134 hectómetros cúbicos de agua (autoabastecimiento), de este volumen prácticamente toda se obtuvo de cuerpos de agua subterráneos (112 hm<sup>3</sup>) y de manera secundaria de cuerpos de agua superficiales, que es el caso de la industria del estado de México (22 hm<sup>3</sup>). Estos datos describen la importante participación de la industria en el gran problema del AMVM que es la sobreexplotación de los cuerpos de agua subterráneos. Es necesario considerar su participación para diseñar medidas que ayuden a disminuir su papel en la generación del problema de la sobreexplotación de los acuíferos del AMVM. Las empresas extraen agua directamente de cuerpos de agua subterráneos (pozos) a partir de derechos de explotación otorgados. En éstos se les asignan las cuotas de extracción, sin embargo no existe una buena supervisión del cumplimiento de las cuotas de extracción, por lo que es posible que éstas se rebasen. Un mejor control de los derechos de explotación y de volúmenes de extracción es posible, y en este punto el mejorar el control, la supervisión y vigilancia y la eliminación de la corrupción de los órganos competentes es urgente e indispensable.

La importancia de las fuentes de suministro del agua a la industria de manufacturas del AMVM está definida, la extracción de agua se hace principalmente de cuerpos de agua subterráneos que representan dos terceras partes de su extracción (68 por ciento); en segundo lugar está el reuso, por esta vía se extrae una quinta parte (19 por ciento), y por último, la extracción de agua superficial que alcanza 13 por ciento. En este perfil de sus fuentes de extrac-

ción destaca el que la industria no recurra a la importación de agua de cuencas aledañas, como es el caso del uso público urbano en esta región.

Las industrias usuarias de agua potable en el AMVM están detectadas. Sólo cuatro ramas son las grandes industrias consumidoras de agua, elaboración de refrescos y otras bebidas no alcohólicas, fabricación de papel, elaboración de harina de maíz y la industria de la cerveza y la malta. Éstas concentran 87 por ciento del agua potable suministrada a la industria. A las cuatro actividades anteriores se le adicionaron seis que demandan 10 por ciento del agua industrial para integrar el grupo de 10 ramas industriales, mismas que explican 97 por ciento del agua potable suministrada en la región.

El abastecimiento de agua potable para la industria compite con el suministro de agua potable a la población del AMVM. A la fecha, el aumento del primero significa una disminución de agua a la población, por lo que son claros los límites para la industria, y como se comentó antes, la industria compite con los otros usuarios por agua potable en una posición desventajosa. Esta situación sugiere el que las cuatro grandes actividades usuarias de agua potable deben reubicarse hacia regiones en donde la disponibilidad de agua sea alta, antes de enfrentar una disputa por el recurso con los usuarios domésticos. Lo mismo pero con menor urgencia es el caso de las otras actividades industriales usuarias de agua potable. Sin embargo, el hecho de que la industria pague una cuota más alta que el servicio doméstico y presente una cobertura de recuperación cercana al 100 por ciento, en contraste con la baja recuperación del servicio doméstico, explica la inclinación de los organismos operadores por cubrir su abastecimiento. De hecho, la contribución de la industria es clave en la captación de recursos que se orientan al abastecimiento de agua potable tanto para la misma industria como para el resto de los sectores económicos como los hogares. Estos últimos se caracterizan por una baja tasa de recuperación de sus tarifas, y por una gran irregularidad en el cumplimiento del pago de su consumo de agua. La tarifa más alta entre el conjunto de los consumidores de agua potable corresponde

al sector industrial, particularmente el segmento localizado en el Distrito Federal.

En el AMVM existen dos estructuras de tarifas de agua potable para la industria, no obstante que la fuente de suministro forma parte de una misma infraestructura hidráulica, una para el Distrito Federal y otra para el estado de México. El criterio central de su diferenciación es que responden a dos delimitaciones políticas con criterios diferentes de gestión del recurso.

En el periodo 1999-2005, las tarifas de la industria en el Distrito Federal fueron 30 por ciento más altas en promedio respecto de la zona "A" del estado de México y hasta en un 40 por ciento respecto de la zona "B". Las tarifas del Distrito Federal en el mismo periodo crecieron más rápidamente que las del estado de México, en vista de que los ajustes al alza en las tarifas del Distrito Federal fueron mayores, mientras que las tarifas en el estado de México aumentaron más lentamente debido a que los ajustes se realizaron respecto a los incrementos en los salarios mínimos. El resultado de ambas conductas se traduce en la amplificación de la brecha entre ambas a lo largo del tiempo.

Desde el punto de vista económico y ambiental, resulta irracional el que empresas que se ubican en la misma área urbana paguen diferentes cuotas por el mismo recurso. Esto ha desvirtuado la conducta de las industrias que pretenden obtener agua al precio más bajo, valorando indebidamente el agua, buscando obtener agua barata por cualquier medio, por lo que es necesario uniformar la tarifa en toda el AMVM y lograr una política que envíe señales correctas a los usuarios del recurso, en este caso las industrias.

Respecto a la contaminación que la industria genera en el AMVM a partir de las descargas de sus aguas residuales, se tiene que en el 2004 sus descargas alcanzaron un volumen de 60 hectómetros cúbicos, que representa 27 por ciento respecto a los volúmenes de agua de primer uso suministrados, porcentaje que comparado con el que la industria del país registra en promedio (54 por ciento) resulta ser muy bajo. Los 60 hectómetros cúbicos del agua residual deberían tratarse antes de su descargas a los ductos del alcantarillado –o a los cuerpos de agua destinados a este fin– como lo requieren

las normas ambientales, sin embargo en el AMVM sólo se tratan 38 hectómetros cúbicos que representa 63 por ciento del total del agua residual, con lo que 22 hectómetros cúbicos no reciben ningún tipo de tratamiento y contaminan de manera directa y alarmante los cuerpos de agua superficiales de la cuenca del Valle de México.

El registro del agua residual debe mejorarse, pues los datos reportados sugieren un elevado nivel de subdeclaración entre las industrias, lo que es más evidente en el caso del Distrito Federal que en el caso del estado de México. Un mejor registro del agua residual permite controlar de manera más eficiente las descargas y el cumplimiento de las normas de descarga, lo que redundaría en la mitigación de las consecuencias ambientales negativas para la cuenca del valle de Tula que es donde finalmente se exporta dicha agua. Con el gran volumen de agua residual generada en la región es posible aumentar considerablemente el agua de reuso que de un monto de 31 hectómetros cúbicos podría pasar a volúmenes superiores a los 60 hectómetros cúbicos, esto implicaría liberar agua de primer uso en un monto equivalente. Es claro que la política hídrica tiene mucho que hacer en estos aspectos.

El volumen de agua de reuso por 31.5 hectómetros cúbicos representa 83 por ciento del agua tratada en toda el AMVM, y se contabiliza como otra fuente de extracción, destinada a la industria y a usos públicos municipales. Este proceso de reuso es privativo del estado de México y sólo de manera marginal en el Distrito Federal. Huelga decir que este proceso debe ser fomentado dentro de toda el AMVM.

El tratamiento de las aguas residuales industriales en el AMVM debe alcanzar una cobertura del 100 por ciento, de tal forma que se cumplan las normas de descarga de sus aguas residuales a los ductos del alcantarillado y a los cuerpos de agua en los que se tenga permiso de descarga. Para lograr lo anterior es necesario el diseño de un sistema combinado de plantas de tratamiento antes y al “final del tubo” y una supervisión eficiente y eficaz de cumplimiento estricto de la normatividad, lo que no se satisface en el Distrito Federal y en el estado de México.

El tema del financiamiento para las plantas de tratamiento conduce, directa e ineludiblemente, a plantear mecanismos de generación de ingresos que permitan normalizar y sistematizar el proceso de tratamiento del agua residual. Además, se debe explorar la viabilidad de crear mercados de agua tratada por los gobiernos locales que permitan aumentar el abastecimiento de la industria en procesos para los que no se necesita un alto grado de pureza. Los organismos operadores, los gobiernos y las empresas en el AMVM tampoco se han ocupado de estudiar el tema de intercambiar agua residual por agua potable, o el intercambio de derechos que también permitiría ampliar la magnitud del suministro, ya no sólo para la industria sino para los hogares y el resto de los sectores económicos.

La problemática del agua en el AMVM lleva a plantear la urgencia de revisar la política hidráulica y en particular el caso de la industria. Es urgente aplicar medidas que conduzcan a un uso más eficiente del agua, así como a alcanzar niveles de tratamiento del agua del 100 por ciento. Esto último, evidentemente implica aumento en los costos tanto para el sector privado como para el gobierno, y en última instancia para la población quien es finalmente la que absorbe el proceso de internalización de las externalidades ambientales generadas por la industria. Sin embargo, retrasar estas medidas plantea la necesidad de enfrentar procesos de regeneración de cuerpos de agua contaminados que resultan ser más costosos, o aceptar la pérdida de cuerpos de agua en donde los niveles de contaminación son extremos. La relocalización industrial también debe contemplarse cuando las industrias son grandes usuarias de agua o sus descargas de aguas residuales son altamente contaminantes; esta opción es cara en el corto plazo, pero en el largo los beneficios obtenidos, más que justifican la decisión.

Es necesario conjugar todos y cada uno de los elementos que configuran la demanda de agua de la industria, desde el reciclamiento de agua residual por las empresas individuales y finalmente lograr descargas con una calidad aceptable al drenaje o a los cuerpos de agua dispuestos para este fin, pasando por los incentivos individuales –empresas– o colectivos –ramas industriales–, mediante ciertas

exenciones a los impuestos a los activos fijos, aceleración contable de la depreciación de la maquinaria que induzca el cambio técnico, o bien, reduciendo impuestos a la importación de tecnología que reduzca explícitamente el uso de los recursos hídricos; en fin, otorgando premios a la contribución a la sustentabilidad ambiental, similares a los que ya se otorgan, hasta campañas de educación permanente acerca de la bondad y la condición indispensable del agua. En ese contexto, parece claro que la disponibilidad aumentaría, se modificarían las formas de uso por la industria y aumentaría la tasa de eficiencia mediante el reuso del agua.

## BIBLIOGRAFÍA

- BREÑA PUYOL, Agustín F., “Gestión integral del recurso agua”, en Marco A, Jacobo Villa y Elsa Saborío Fernández (coords.), *La gestión del agua en México: los retos para un desarrollo sustentable*, México, Miguel Ángel Porrúa, Universidad Autónoma Metropolitana, 2004.
- Censo Industrial XV, *Industrias manufactureras*, México, INEGI, 2000.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, *Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales*, México, 2003.
- y Gerencia Regional XIII, *Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, México, 2004.
- y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, *Estadísticas del Agua en México*, México, 2004.
- y *Programa Nacional Hidráulico, 2001-2006*, México, 2001.
- GLEICK, Meter H., “The Changing Water Paradigm”, *Water International*, vol. 25, núm. 1, marzo de 2000.
- GRIFFIN C., Ronald, *Water Resource Economics*, Cambridge, Mass., MIT Press, 2006.
- INEGI, *Censos económicos, 1994-2004, Aguascalientes, Aguascalientes*.
- , *Censo Económico 1999, Aguascalientes, Aguascalientes*.
- , *Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua 1999, Aguascalientes, Aguascalientes*.
- MORALES, J.A. y L. Rodríguez, “Perspectivas de seguridad nacional: el agua y la estructura industrial en México”, en R. Constantino (ed.), *Agua, seguridad nacional e instituciones. Conflictos y riesgos para el diseño de políticas públicas*, México, IILSEN-UAM, 2006.

- OLMSTEAD, Sheila M., W. Michael Hanemann y Robert N. Stavins, *Do Consumers React to the Shape of Supply? Water Demand under Heterogenous Price Structures*, Discussion Paper 05-092005, Washington, DC, Resources for the Future.
- ROEMER, Andrés, *Derecho y economía: políticas públicas del agua*, México, Miguel Ángel Porrúa, 1997.
- SOPHOCLEOUS, Marios, "Global and Regional Water Availability and Demand: Prospects for the Future", *Natural Resources Research*, vol. 13, núm. 2, junio de 2004.
- THOMPSON, Stephen A., *Water Use Management and Planning in the United States*, San Diego, Academia Press, 1999.

Tercera parte

*Desempeño  
de la industria manufacturera  
y organismos operadores  
en el manejo del agua*

JULIO GOICOECHEA MORENO\*

*Desempeño económico  
en la península de Yucatán:  
agua potable y organismos operadores*

INTRODUCCIÓN

EL PRESENTE trabajo analiza el desempeño económico de los organismos que administran y operan los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento en la península de Yucatán, a partir de información estadística oficial. A este respecto, el punto de partida lo constituyen los organismos de manera individual, agrupándolos para su análisis primero por entidad federativa, es decir, los establecimientos existentes en los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán, y posteriormente de acuerdo con su desempeño económico, en organismos económicamente autosuficientes y aquellos que incurren en pérdidas en cuanto a su operación económica.<sup>1</sup>

Una vez establecida la dicotomía referida en cuanto a resultados económicos, en la primera parte se efectúa la caracterización de los establecimientos, para después establecer relaciones funcionales de variables económicas básicas que tipifican a los organismos operadores. Dichas variables son: valor agregado, productividad, remuneración de asalariados, empleo, salarios y superávit de operación.

\* Profesor-investigador en el Departamento de Economía de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa [goicochea123@yahoo.com.mx].

<sup>1</sup> Para una clasificación no paramétrica de los organismos operadores en México, véase Pineda Pablos (2006). Este autor plantea tres perfiles de desempeño: autosuficiencia financiera, predominantemente subsidiado y el de transición. Este último corresponde a una situación donde sólo se cobra lo que se puede, de acuerdo con el autor (p. 15).

A lo largo del trabajo se presenta una serie de hallazgos sobre la naturaleza económica de dichos organismos. Los datos utilizados en el presente análisis provienen de la última información censal disponible (INEGI, 2000). Por ejemplo, clasificando el desempeño económico de los organismos operadores de agua en la península de Yucatán de acuerdo con su nivel de eficiencia en autosuficientes y deficitarios, se observa una serie de características que es conveniente resaltar. El tamaño de la planta es un elemento fundamental en la explicación del déficit en que incurren los organismos operadores, el cual está asociado a una baja participación en la producción bruta agregada, exigua planta laboral, demanda minoritaria de consumo intermedio y un bajo nivel de activos fijos netos. Los organismos operadores deficitarios constituyen un conjunto marginal en términos de participación agregada, no obstante ser numéricamente importantes. En contraste, los organismos operadores autosuficientes muestran holgados márgenes de superávit de operación. Los márgenes alcanzados por los organismos autosuficientes en Quintana Roo y Yucatán y, en menor grado, Campeche, se asemejan al comportamiento nacional. Todo parece indicar que dicho margen, el cual duplica y más que triplica al observado en las manufacturas, se asocia con una posición monopolista, derivada de imperativos tecnológicos, así como de ubicación geográfica. Este es el caso independientemente de la forma legal de los organismos operadores, es decir, sin importar si se trata de empresas públicas o privadas, sea en forma parcial o total, con lo cual las opiniones vertidas en torno a que el precio del agua es insuficiente y, por ende, requiriendo incrementos sustanciales, se presentan como carentes de fundamento en el caso de Yucatán.

Posteriormente, y centrándose en organismos operadores autosuficientes, se estiman relaciones funcionales referidas a valor agregado, productividad, remuneración de asalariados, empleo, salarios y superávit de operación. Si bien dichas funciones no son significativas para todas las entidades consideradas, evidencian algunos aspectos a destacar. En el caso de Campeche y Quintana

Roo, el valor agregado es positivo y ligeramente elástico (0.86) con respecto a la productividad. En las tres entidades el salario es positivo y elástico (1.18) respecto de la productividad, e inelástico y negativo (-0.63), por lo que se refiere al superávit de operación por persona ocupada, sugiriendo un conflicto distributivo. Por otra parte, tanto en Campeche como en Quintana Roo dicho superávit es positivo y elástico (1.29) con respecto a la productividad. Esta última se confirma como una palanca que estimula la generación de valor agregado, el salario y el superávit de operación. Dada la naturaleza técnica de los organismos operadores, se requieren incrementos sustanciales de materias primas y auxiliares, y más aún de capital fijo, para incidir en la generación de valor agregado, productividad, empleo e incluso superávit de operación.

## CARACTERIZACIÓN GENERAL

### *Producción bruta y sus componentes*

Como entidad federativa, en la península de Yucatán se observa una considerable heterogeneidad tanto por lo que se refiere al número de organismos operadores, como al monto de la producción bruta total. De acuerdo con el censo de 1998, el estado de Campeche registró 11 organismos operadores, mientras que en el caso de Quintana Roo encontró ocho (véase cuadro 1). Por contraste, en Yucatán operaron 105 organismos. A este respecto, existe una relación estrecha entre el número de municipios y el número de establecimientos dedicados a esta actividad.

En cuanto a producción bruta por entidad federativa, el mayor valor lo registró Quintana Roo, con 580 millones de pesos, seguido de Yucatán, con 209.1 millones de pesos. En el último lugar en cuanto a monto producido se encuentra Campeche, con 66.9 millones de pesos.

En el ámbito nacional, la base de análisis del presente trabajo incluye 1,824 organismos operadores, con una producción bruta agregada de 26,760.4 millones de pesos. En la península de Yucatán

CUADRO I

ORGANISMOS OPERADORES. ESTABLECIMIENTOS, PRODUCCIÓN BRUTA,  
CONSUMO INTERMEDIO Y REMUNERACIÓN AL TRABAJO, 1998  
(Número, millones de pesos y participación)

	Campeche		Quintana Roo		Yucatán		México	
	Número	%	Número	%	Número	%	Número	%
<i>Número y participación</i>								
Establecimientos	11	100.00	8	100.00	105	100.00	1,824	100.00
Autosuficientes	3	27.30	5	62.50	21	20.00	1,130	62.00
Deficitarios	8	72.70	3	37.50	84	80.00	694	38.00
<i>Millones de pesos y participación</i>								
Producción bruta	66.9	100.00	580	100.00	209.1	100.00	26,760.40	100.00
Autosuficientes	63.0	94.20	578	99.60	202.1	96.70	26,287.00	98.20
Deficitarios	3.9	5.80	2	0.40	7	3.30	473.4	1.80
Consumo intermedio	28.7	100.00	103.3	100.00	47	100.00	6,032.20	100.00
Autosuficientes	22.2	77.30	94.9	91.90	30.8	65.60	5,486.00	90.90
Deficitarios	6.5	22.70	8.4	8.10	16.2	34.40	546.3	9.10
Remuneración laboral	15.5	100.00	42.7	100.00	32	100.00	3,574.50	100.00
Autosuficientes	12	77.30	39.1	91.60	26.6	83.20	3,349.50	93.70
Deficitarios	3.5	22.70	3.6	8.40	5.4	16.80	225	6.30
Cuenta de resultados	22.7	78.60	434.1	97.80	130.1	89.90	17,153.60	98.30
Autosuficientes	28.9	100.00	444	100.00	144.7	100.00	17,451.50	100.00
Deficitarios	-6.2	-21.40	-10	-2.20	-14.6	-10.10	-297.9	-1.70

Fuente: Estimado con base en INEGI (2000).

se asentó 6.8 por ciento de los organismos operadores en el país, lo que generó 3.2 por ciento de la producción bruta nacional.

### *Organismos autosuficientes*

Dado que el grueso de la población reside en un número reducido de localidades, la producción bruta se concentra en unos cuantos organismos. Éstos, a su vez, sistemáticamente operan con superávit. Es decir, generan un remanente que rebasa los costos de producción en que incurren.<sup>2</sup> Por ejemplo, de los 11 organismos que operan en Campeche, si bien sólo tres son autosuficientes, éstos generan 94.2 por ciento de la producción bruta y utilizan 77.3 por ciento tanto del consumo intermedio como de la remuneración al trabajo pagada. Queda de manifiesto que estos organismos, por demás autosuficientes, tienen un peso determinante en el total regional.

El estado de Yucatán contó con 21 organismos operadores autosuficientes. Si bien conforman apenas la quinta parte del total en el estado, representaron 96.7 por ciento de la producción total bruta, absorbiendo prácticamente dos terceras partes (65.6 por ciento) del consumo intermedio, y erogando 83.2 por ciento de la nomina salarial.

Por lo que se refiere a Quintana Roo, los cinco organismos autosuficientes (62.5 por ciento del total), muestran un peso omnímodo dentro de la producción estatal en el ramo. Dichos organismos concentran 99.6 por ciento de la producción bruta en el estado, 91.9 por ciento del consumo intermedio, así como 91.6 por ciento de la remuneración al trabajo, como participación estatal. Valga agregar que Quintana Roo presenta una semejanza considerable con el país en su conjunto. De los 1,824 organismos considerados en todo el país, 62 por ciento de los organismos autosuficientes representaron 98.2 por ciento de la producción bruta; 90.9 por ciento del consumo intermedio, y 93.7 por ciento de la remuneración laboral.

<sup>2</sup> Con base en la información disponible, los costos de producción comprenden remuneración de asalariados y consumo intermedio. Este último se refiere a materias primas y auxiliares.

### *Organismos con déficit*

Por contrapartida, si bien pueden ser numerosos, los organismos que incurren en déficit en su cuenta de resultados tienen un peso reducido en las diversas variables económicas agregadas. En el caso de Campeche, no obstante que representa 72.7 por ciento de los organismos, su producción bruta fue de 5.8 por ciento dentro del total, además de que participó con 22.7 por ciento tanto en consumo intermedio, como en remuneración al trabajo. Por lo que se refiere a Yucatán, 84 organismos deficitarios, que constituyen cuatro quintas partes (80 por ciento) del total, representaron 3.3 por ciento de la producción bruta; utilizaron 34.4 por ciento del consumo intermedio, y pagaron 16.8 por ciento por remuneración laboral.

En lo que respecta a Quintana Roo, el peso de los deficitarios es menor en comparación con las otras dos entidades federativas.<sup>3</sup> Constituidos por tres organismos, y representando 37.5 por ciento del total estatal, concentraron 0.4 por ciento de la producción bruta, 8.1 por ciento del consumo intermedio y 8.4 por ciento de las remuneraciones laborales.

En el ámbito nacional, se confirma el paralelismo con las tres entidades consideradas. Pese a que numéricamente representan casi dos quintas partes del total (38 por ciento), los organismos deficitarios para México en su conjunto, concentraron 1.8 por ciento de la producción bruta total; 9.1 por ciento del consumo intermedio, y 6.3 por ciento de la remuneración a los trabajadores.

Los datos anteriores muestran cómo los organismos que operan con déficit, si bien pueden llegar a constituir un contingente grande en número, tienen participaciones reducidas a agregados económicos, aunadas a exiguas escalas de producción.

### *Cuenta de resultados*

La magnitud del déficit, en su caso, se puede evaluar en contexto. Por ejemplo, el déficit mayor se registra en Yucatán y es de 14.6

<sup>3</sup>Es decir, Campeche y Yucatán.

millones de pesos. Por contrapartida, en esta entidad los organismos operadores autosuficientes registraron 144.7 millones de pesos. El déficit estatal es una décima parte (10.1 por ciento) del superávit de los organismos correspondientes.

Un segundo lugar en términos de magnitud del déficit lo registra Quintana Roo, con 10 millones de pesos. Este monto representa 2.2 por ciento del superávit estatal (444 millones de pesos). La menor magnitud en cuanto a déficit se observa en Campeche, con 6.2 millones de pesos, equivalente al 21.4 por ciento del superávit, el cual fue de 28.9 millones de pesos.

En el ámbito nacional, el monto del déficit de los organismos operadores fue de 297.9 millones de pesos. Esta magnitud representó 1.7 por ciento de los 17,451.5 millones de pesos en cuanto a superávit de operación, agregado de aquellos autosuficientes.<sup>4</sup>

Considerando que la mayoría de los organismos operadores de agua potable y saneamiento constituyen una entidad de servicio público, y por ende sin fines de lucro, el déficit constituye un fenómeno recurrente asociado a comunidades pequeñas. En estos casos se proporciona un servicio básico para la comunidad, y se requiere de un monto relativamente menor de recursos públicos para subsanar el déficit. Todo lo anterior, sin considerar la eficiencia con la que se proporciona el servicio correspondiente, tanto en términos de calidad como de cobertura, dada la disponibilidad de información estadística.<sup>5</sup> Eliminar dicho déficit, asociado a comunidades rurales frecuentemente aisladas y con bajos niveles de ingreso, más allá de que su monto es relativamente modesto, podría presentar dificultades tanto sociales, como políticas.

Si consideramos que el Estado, la nación, representa a la sociedad en su conjunto en sus diversos ámbitos municipal, estatal y

<sup>4</sup>Cuando Pargal y Guasch (2001), aseguran que frecuentemente los organismos operadores no cubren sus costos de operación y gestión, entre otros, pareciera que no han examinado las cuentas económicas de aquéllos a escala nacional o regional.

<sup>5</sup>En el 2000, el porcentaje de cobertura de agua potable en viviendas alcanzó 82.7 por ciento a escala nacional, siendo de 73.1 por ciento para drenaje (Goicoechea, 2004). La brecha a cubrir es aún considerable. Para juzgar la calidad del servicio, el 64 por ciento de las aguas residuales producidas en México, se vierten al mar sin tratar (Tudela, 2005).

federal, el suministro de agua puede estar a la par de servicios como los de administración o de seguridad pública local, los cuales inciden en el bienestar de la localidad, y no necesariamente representan una fuente abundante de superávit de operación, como los datos parecen sugerir.<sup>6</sup>

## INDICADORES ECONÓMICOS DE ORGANISMOS OPERADORES

### *Activos fijos*

Con el propósito de destacar diferencias adicionales entre los organismos, de acuerdo con la cuenta de resultados autosuficiente o negativa, a continuación se presentan algunas relaciones básicas. En términos de activos fijos, los organismos operadores autosuficientes en Campeche alcanzan valores de 22,609 millones de pesos por establecimiento (véase cuadro 2). Por contrapartida, en los organismos deficitarios esta cifra fue de 3,726 millones de pesos por establecimiento. Es decir, la diferencia entre ambos conlleva un múltiplo de 6.1.

En Yucatán, los activos fijos por organismo autosuficiente promediaron 18,959 millones de pesos por establecimiento, mientras que en los deficitarios fueron de 0.767 millones de pesos. El diferencial de ambos es de 24.7 veces. En Quintana Roo, si bien las diferencias entre ambos grupos son menores, los organismos autosuficientes alcanzaron 9,746 millones de pesos por establecimiento, y se redujo a 2,356 millones en aquellos que operaron con déficit, lo que resultó en un múltiplo de 4.1. El promedio nacional de los organismos autosuficientes fue de 40,110 millones

<sup>6</sup>En Camdessus *et al.* (2004) se hace alusión a dos principios extremos referidos al agua potable. Por una parte, se percibe como un bien público gratuito, lo cual en opinión de los autores significa, de hecho, ausencia de dotación de agua, particularmente en países en desarrollo. Por otra, siguiendo un principio de rigurosa ortodoxia financiera, el agua bajo recuperación cabal de costos (*full cost recovery*), lo cual sería a su vez inaplicable de acuerdo con los autores, debido a consideraciones redistributivas. Derivado del examen de datos en el presente trabajo, coexisten organismos con remanentes económicos que rebasan con creces los costos de recuperación, al lado de organismos deficitarios en comunidades menores.

CUADRO 2

INDICADORES ECONÓMICOS SELECTOS POR ORGANISMO OPERADOR. ACTIVOS FIJOS,  
CONSUMO INTERMEDIO, REMUNERACIÓN LABORAL Y PERSONAL OCUPADO, 1998.

	Campeche	Quintana Roo	Yucatán	México
<i>Miliones de pesos por organismo operador</i>				
Activos fijos/O.O.	8,876	6,975	4,405	26,082
Autosuficientes	22,609	9,746	18,959	40,110
Deficitarios	3,726	2,356	.767	3,240
Múltiplo	6.1	4.1	24.7	12.4
Consumo intermedio/O.O.	2,611	12,909	0,448	3,307
Autosuficientes	7,400	18,978	1,468	4,855
Deficitarios	0,815	2,796	0,193	0,787
Múltiplo	9.1	6.8	7.6	6.2
Remuneración laboral/O.O.	1,408	5,332	0,304	1,960
Autosuficientes	3,993	7,811	1,267	2,964
Deficitarios	0,439	1,201	0,064	0,324
Múltiplo	9.1	6.5	19.8	9.1
<i>Número de personas por organismo operador</i>				
Personal ocupado/O.O.	47	141	12	43
Autosuficientes	112	206	40	63
Deficitarios	22	33	5	11
Múltiplo	5	6.2	7.4	5.7

Fuente: Estimado con base en INEGI (2000).

de pesos por organismo, mientras que aquellos que operaron con déficit arrojaron 3,240 millones de pesos. En el ámbito nacional, la diferencia conlleva un múltiplo de 12.4.

### *Consumo intermedio*

Con referencia al consumo intermedio, en Quintana Roo cada organismo con superávit demandó un promedio de 18,978 millones de pesos por establecimiento, contrastando con los 2,976 de pesos que en promedio requirieron los deficitarios, y un múltiplo de 6.8 del primero en relación con el segundo. En Campeche, los requerimientos de consumo intermedio fueron de 7,400 millones de pesos para los organismos autosuficientes, superior en 9.1 veces a los 0.815 millones de pesos que los deficitarios incorporaron.

Por lo que toca al estado de Yucatán, los requerimientos de consumo intermedio por parte de los organismos con superávit fueron de 1,468 millones de pesos, monto 7.6 veces mayor en comparación con los 0.193 millones de pesos en promedio para los organismos deficitarios. En el ámbito nacional, el consumo intermedio fue de 4,855 millones de pesos por establecimiento, a su vez 6.2 veces mayor a los 0.787 millones de pesos, que en promedio utilizaron los establecimientos deficitarios.

### *Remuneración laboral*

En promedio, la mayor remuneración laboral por organismo con superávit se registró en Quintana Roo, con 7,811 millones de pesos anuales. Este monto es 6.5 veces mayor al observado en los establecimientos que generaron déficit (1,201 millones de pesos). En Campeche, la remuneración a los trabajadores en organismos con superávit fue de 3,993 millones de pesos, 9.1 veces mayor a los 0.439 millones de pesos en promedio que alcanzaron los organismos con déficit.

La península de Yucatán registró una nómina salarial de 1,267 millones de pesos en los organismos autosuficientes. Este monto

conlleva un múltiplo de 19.8 veces, comparado con una nómina promedio de 0.064 millones de pesos por establecimiento en organismos deficitarios. Una cifra de esta magnitud sugiere que los trabajadores promedio de establecimientos deficitarios trabajan un tiempo parcial en el organismo, o bien desarrollan labores sin devengar ingresos. En el ámbito nacional, la remuneración de trabajadores fue de 2,964 millones de pesos por establecimiento autosuficiente. La diferencia con los deficitarios fue de 9.1 veces, en tanto fue necesario erogar 0.324 millones de pesos por organismo para cubrir el déficit.

### *Personal ocupado*

El mayor número de trabajadores promedio por organismo operador autosuficiente se observa en Quintana Roo, con 206 personas. El contraste con los deficitarios es de importancia, pues estos últimos tuvieron una plantilla promedio de 33 trabajadores. En consecuencia, el múltiplo de 6.2 muestra la divergencia entre ambos. En Campeche, el personal por organismo autosuficiente fue de 112 personas, cinco veces más que los 22 trabajadores que en promedio fueron ocupados por los establecimientos que generaron pérdidas.

En el caso de Yucatán, los organismos autosuficientes ocuparon un promedio de 40 trabajadores. Este monto es 7.4 veces superior a los cinco trabajadores que en promedio ocupan los deficitarios. Por otra parte, para el país en su conjunto, las plantas autosuficientes promediaron 63 trabajadores. Dado que los deficitarios operaron con 11 personas por establecimiento, el múltiplo entre el primero y el segundo es de 5.7.

Tanto por lo que se refiere a las tres entidades que integran la península de Yucatán, como al país en su conjunto, el que un organismo registre un déficit está asociado al tamaño de la planta, así como a la dimensión de la localidad correspondiente. En consecuencia, operar con déficit se convierte en un problema relacionado con la escala de producción. Por otra parte, elevar los precios

que se cargan por el servicio podría eliminar los déficit en los organismos correspondientes, pero no aseguraría los fondos necesarios para mejorar el equipamiento y la calidad del servicio.

Toda vez que se ha mostrado que el problema de déficit en organismos operadores está vinculado a cuestiones que rebasan la habilidad administrativa o la destreza técnica en la operación, podemos concentrarnos en el papel que desempeñan los organismos autosuficientes. Por añadidura, dichos organismos representan un peso menor en la economía del agua potable y el saneamiento.

## ORGANISMOS AUTOSUFICIENTES

### *Estructura de costos y margen sobre ventas*

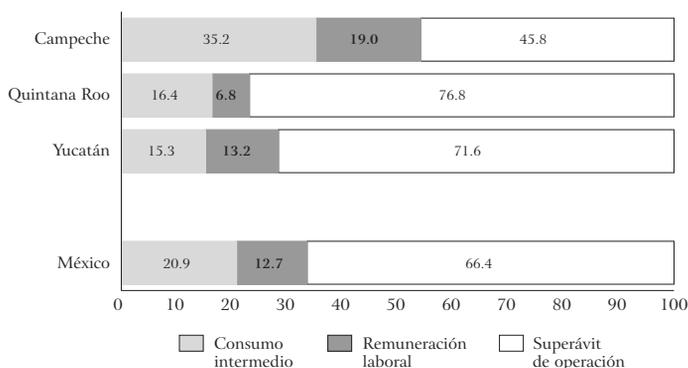
Para hacer comparables los montos de autosuficiencia económica obtenida en el ámbito estatal, se expresa esta última así como el consumo intermedio y la remuneración laboral a porcentajes del total. Es decir, se compara la participación que tienen dichos elementos de costo en la producción bruta, para mostrar el monto del superávit. Campeche es la única entidad donde éste representa menos de la mitad del valor de la producción bruta. En otras palabras, del valor de la producción, 45.8 por ciento constituye el superávit bruto (véase gráfica 1). El porcentaje restante se divide en 35.2 por ciento destinado a consumo intermedio, y 19 por ciento a remuneración laboral.

Quintana Roo y Yucatán muestran semejanzas, en tanto que por cada peso vendido, se obtiene un margen de 76.8 por ciento en el caso de Quintana Roo y 71.6 por ciento en Yucatán. Consumo intermedio y remuneración laboral constituyen conjuntamente fracciones minoritarias dentro de la producción bruta.

En el caso del país en su conjunto, 66.4 por ciento de la producción bruta está integrada por el superávit de operación.<sup>7</sup> En un

<sup>7</sup> Si bien existen planteamientos de que un organismo operador, o en su caso una empresa de agua tiene como objetivo primordial garantizar la estabilidad del desarrollo económico y social, y no necesariamente ganar dinero (Polo, 2004), la evidencia encontrada sugeriría un énfasis en lo último.

GRÁFICA 1  
ORGANISMOS OPERADORES SUPERAVITARIOS.  
PRODUCCIÓN BRUTA POR COMPONENTE, 1998  
(Porcentajes)



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2000).

segundo plano entra la remuneración de asalariados, con 12.7 por ciento del total y 20.9 por ciento destinado al consumo intermedio. Los altos márgenes que logran los organismos operadores, ilustran la capacidad para fijar precios que les fueron permitidos a las autoridades locales o estatales, o en su caso a los concesionarios del servicio. Los resultados económicos aquí presentados contrastan con afirmaciones en el sentido de que el precio por unidad de producto, es decir, el metro cúbico de agua, generalmente se vende por debajo de su valor (OCDE, 2003).<sup>8</sup> En el mismo tenor, arguye que sólo entre 35 y 65 por ciento del agua producida genera recursos financieros (Aguilar, 2003). En cuanto a recuperación de cuotas, se afirma que el agua pagada puede constituir 29 por ciento del total suministrado por organismos operadores (OCDE, 1998).

La magnitud obtenida por los organismos operadores es sustancialmente superior, por ejemplo, con el superávit sobre ventas

<sup>8</sup>O bien los organismos operadores deberían alcanzar márgenes incluso superiores para no vender el agua normalmente por debajo de su valor, o los precios por unidad de producto precisan nuevas estimaciones.

obtenido por la actividad manufacturera en su conjunto para el mismo año. Éste fue de 20.9 por ciento,<sup>9</sup> lo cual es una fracción de lo obtenido por los organismos en cuestión. Se requeriría, en un esfuerzo posterior, examinar las relaciones entre el precio del producto en cuestión y el desempeño manifiesto de los organismos operadores, con el fin de dilucidar esta cuestión.

### Modelo

A continuación se presenta un modelo de cinco ecuaciones con el fin de estimar relaciones funcionales básicas en los organismos operadores de la península de Yucatán.

#### ESPECIFICACIÓN

CON EL OBJETO de determinar las relaciones entre variables económicas para los organismos operadores, se presenta un modelo de análisis. En primer término, la generación de valor agregado se especifica del siguiente modo:

$$va = f(va/po, ci, k_{fijo}) \quad (1)$$

donde  $va$  se refiere al valor agregado bruto,  $va/po$  a la productividad, es decir, al valor agregado en relación con el personal ocupado,  $ci$  es el consumo intermedio, y  $k_{fijo}$  son los acervos de capital fijo netos de depreciación.

Por lo que se refiere a la función de productividad, la ecuación planteada es:

$$va/po = f(ci/po, k_{fijo}/po) \quad (2)$$

en la cual  $va/po$  es el valor agregado bruto en relación con el personal ocupado, o la productividad. Adicionalmente,  $ci/po$  es el con-

<sup>9</sup>En términos de miles de millones de pesos, el superávit de operación (382.1), estimado como la diferencia entre valor agregado bruto (581.1) y la remuneración laboral (199), el cual en relación con una producción bruta de 1,829, arroja el porcentaje antes referido (INEGI, 2001).

sumo intermedio en relación con el personal ocupado, y  $k_{fijo}/po$  constituye el acervo de capital fijo neto de depreciación en relación con el personal ocupado.

La función de remuneración de asalariados se plantea como:

$$ra = f(po, ci, va) \quad (3)$$

en la cual  $ra$  es la remuneración que perciben los asalariados,  $po$  es el personal ocupado,  $ci$  se refiere al consumo intermedio y  $va$  al valor agregado.

La función de demanda de empleo por los organismos correspondientes, es:

$$po = f(ci, ra/po, k_{fijo}) \quad (4)$$

en donde  $po$  es el personal ocupado,  $ra/po$  es la remuneración de asalariados en relación con el capital ocupado y  $k_{fijo}$  es el acervo de capital neto de depreciación.

La función salarial se estima como:

$$w = f[va/po, (va-ra)/po] \quad (5)$$

donde  $w$  es el salario medio,  $va/po$  es la productividad, referida como el cociente entre valor agregado y personal ocupado. Por otra parte  $(va-ra)/po$  se refiere al superávit de operación por persona ocupada.

La última ecuación estima la función del superávit de los organismos operadores del siguiente modo:

$$va-ra = f[va/po, (k_{fijo} + ci), ra/po] \quad (6)$$

en la cual  $va-ra$  es el superávit de operación,  $va/po$  es la productividad y  $k_{fijo} + ci$  es la suma del capital fijo y el consumo intermedio, y  $ra/po$  se refiere al salario medio, en tanto cociente entre remuneración de asalariados y personal ocupado.

## *Resultados*

A continuación se examinan los resultados de las ecuaciones antes expresadas.

### FUNCIÓN DE VALOR AGREGADO

LA ELASTICIDAD del valor agregado respecto de la productividad es prácticamente elástica (0.86), tanto para los organismos operadores de Campeche como para los de Quintana Roo.<sup>10</sup> Por otra parte, el valor agregado muestra un coeficiente de 0.40 respecto al consumo intermedio en el caso de Campeche, con un valor semejante (0.57) por lo que se refiere a Quintana Roo. En consecuencia, para estos dos estados, el valor agregado es inelástico respecto de las erogaciones concernientes al consumo intermedio. Por lo que se refiere al capital fijo, éste muestra un impacto cercano a cero (0.13), en la generación de valor agregado, tanto en el caso de Campeche como en el de Quintana Roo. En la presente función de valor agregado, no se obtuvieron resultados significativos para el caso del estado de Yucatán.

### FUNCIÓN DE PRODUCTIVIDAD

LA ELASTICIDAD de la productividad respecto al consumo intermedio por persona ocupada, fue de 0.44 en el caso de Quintana Roo y 0.49 en cuanto a Yucatán (véase cuadro 4 del apéndice C). Por otra parte, la elasticidad de la productividad respecto del capital fijo por persona ocupada, si bien es positiva, es particularmente inelástica (0.12) en el caso de Quintana Roo, y de -0.43 por lo que se refiere a Yucatán. Por ejemplo, en este último caso, incrementos en los acervos de capital fijo por persona ocupada inciden negativamente en la productividad. Esto puede ser debido a la sobrecapitalización de activos fijos por persona ocupada en el

<sup>10</sup>Los resultados estadísticos se reportan en el apéndice C, cuadro 3.

caso de Yucatán.<sup>11</sup> No hubo resultados significativos en la función de productividad para Campeche.

#### FUNCIÓN DE REMUNERACIÓN DE ASALARIADOS

LA REMUNERACIÓN de asalariados respecto al personal ocupado es inelástica (0.68) en el caso de Yucatán (véase cuadro 5 del apéndice C). En consecuencia, incrementos en el personal ocupado inciden en su remuneración, pero en forma menos que proporcional. En el caso de Campeche, la elasticidad de la remuneración de asalariados es negativa respecto al empleo. En consecuencia, incrementos en el empleo inciden negativamente en la nomina salarial, por ejemplo. Por otra parte, la remuneración de asalariados es inelástica respecto al consumo intermedio y al valor agregado, con un coeficiente de 0.25 y 0.23, respectivamente, tanto para Campeche como para Yucatán. En consecuencia, cambios en el consumo intermedio y en el valor agregado, no inciden prácticamente en la nómina salarial. Para Quintana Roo, no se encontraron resultados significativos referidos a la presente función.

#### FUNCIÓN DE EMPLEO

POR LO QUE se refiere a la función de empleo, la elasticidad de éste respecto al consumo intermedio es de 0.59 para los organismos operadores en Quintana Roo (véase cuadro 6 del apéndice C). Para los organismos operadores de la misma entidad, la elasticidad del empleo respecto al salario es de  $-0.20$ . Es decir, la demanda derivada para el número de trabajadores, si bien inelástica, muestra el signo esperado. El valor del coeficiente sugiere un bajo nivel promedio de entrenamiento del personal utilizado en su conjunto. Es de subrayarse la baja incidencia del capital fijo en el personal ocupado, con un coeficiente de 0.13. No se obtuvieron

<sup>11</sup> En el cuadro 2, se observa que el promedio de activos fijos por organismo en Yucatán fue de 18,959 millones de pesos, duplicando el nivel de Quintana Roo (9,746 millones de pesos), y cercano a Campeche (22,609 millones de pesos). Por otra parte, el contingente de personal ocupado es de 40 en promedio, inferior a los 112 en Campeche y 206 en Quintana Roo.

resultados significativos para los organismos operadores en Campeche y Yucatán en esta función.

#### FUNCIÓN DE SALARIOS

EN CUANTO a la remuneración media al trabajo, se registra un coeficiente de 1.18 con respecto a la productividad (véase cuadro 7 del apéndice C). En consecuencia, incrementos en ésta inciden en el salario más que proporcionalmente, y viceversa. Este resultado se refiere tanto a Campeche como a Yucatán. En el caso de Quintana Roo, la elasticidad del salario medio respecto de la productividad es negativa (-0.43). Cabe señalar que no obstante se hayan registrado incrementos en la productividad, el efecto en la remuneración de asalariados es negativo, y viceversa.

Por lo que se refiere a la elasticidad del salario medio respecto del superávit de operación por persona ocupada, éste es negativo e inelástico (-0.63). En consecuencia, esta relación inversa e inelástica sugiere un conflicto de distribución, si bien de manera inelástica. Es decir, incrementos en el superávit bruto por persona ocupada redundan en decrementos en el salario medio, y viceversa. Este resultado es válido para los organismos operadores en los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán.

#### FUNCIÓN DE SUPERÁVIT DE OPERACIÓN

LA ELASTICIDAD del superávit de operación respecto de la productividad es manifiestamente elástica (1.29), tanto en el caso de Campeche como en el de Quintana Roo (véase cuadro 8 del apéndice C). Por otra parte, la elasticidad de dicho superávit respecto de la suma de capital fijo y consumo intermedio, es positiva e inelástica (0.63), a su vez para los dos estados antes mencionados. El salario muestra un impacto negativo, si bien inelástico (coeficiente de -0.26) en el superávit de operación para el caso de Quintana Roo. Es decir, si bien la relación es cercana a cero, muestra una relación proporcional inversa entre salarios y superávit de operación. En el caso de Campeche, la elasticidad del

superávit de operación respecto del salario medio es de  $-3.75$ . Dicho coeficiente, excepcionalmente alto, exhibe una marcada relación manifiesta inversa entre salarios y superávit de operación.

## CONCLUSIONES

LOS ORGANISMOS económicamente autosuficientes representan de manera agregada más del 94 por ciento de la producción bruta, y utilizan al menos dos terceras partes del consumo intermedio y tres cuartas partes de la nómina laboral. Con la excepción de Quintana Roo, los organismos autosuficientes constituyen en Campeche y Yucatán una minoría numéricamente hablando (27.3 y 20 por ciento respectivamente).

Por contrapartida a lo anterior, los organismos deficitarios se distinguen por ser una mayoría numérica en los dos últimos estados mencionados. Sin embargo, su participación en la producción bruta es marginal, así como en el consumo intermedio; en el caso de Campeche, la remuneración a asalariados es cuando mucho del 22.7 por ciento.

Al analizar indicadores económicos en relación con los organismos operadores, el perfil antes mencionado se confirma, tanto por lo que se refiere a activos fijos, como a consumo intermedio, remuneración laboral y personal ocupado. En consecuencia, los organismos operadores deficitarios están asociados a localidades poco pobladas, y operan con economías de escala reducidas.

Los organismos autosuficientes muestran márgenes sobre ventas de 46.8 por ciento en el caso de Campeche, y alcanzan niveles superiores al 70 por ciento en los casos de Quintana Roo y Yucatán. Si se considera que el margen para la industria manufacturera en su conjunto fue de 20.9 por ciento para el mismo año, se puede ver fácilmente que los organismos operadores constituyen una fuente de liquidez formidable, sea como entidades públicas, o como establecimientos parcial o totalmente concesionados al sector privado. Estos datos contrastan con afirmaciones en el sentido de que es necesario elevar el precio unitario del agua, debido

a que se vende por debajo de su costo, o a la frecuente baja eficiencia en el cobro. Esta paradoja está pendiente de ser dilucidada.

Con referencia a las relaciones funcionales de variables fundamentales para organismos operadores autosuficientes, cabe destacar que el valor agregado es positivo y elástico (0.86) respecto de la productividad en el caso de Campeche y Quintana Roo. La elasticidad de la remuneración de asalariados respecto del empleo fue positiva y elástica (0.68) en los casos de Campeche y Yucatán.

En las tres entidades, el salario es positivo y elástico (1.18) respecto de la productividad, e inelástico y negativo (-0.63) respecto del superávit de operación por persona ocupada, lo que sugiere un conflicto de distribución. Por lo que se refiere a Campeche y Quintana Roo, el superávit de operación es positivo y elástico respecto de la productividad (1.29), y positivo e inelástico (0.63) por lo que toca al capital fijo y al consumo intermedio. En consecuencia, incrementos en la productividad son fundamentales para elevar el superávit de operación, el valor agregado y la propia remuneración de los trabajadores. Al mismo tiempo, la incidencia del consumo intermedio y del capital fijo tiene un impacto secundario en la generación de valor, los salarios y los márgenes obtenidos sobre ventas.

## APÉNDICE A METODOLOGÍA

LA METODOLOGÍA que se utilizó para obtener las cifras que aparecen en este artículo se basó en cifras del INEGI (2000), donde se registran datos referidos a activos fijos netos de depreciación, consumo intermedio, formación bruta de capital fijo, personal ocupado, producción bruta, remuneración de asalariados y valor agregado censal bruto para 2,319 organismos operadores.

La base de análisis se redujo a 1,824 establecimientos, en tanto 495 resultaron incompletos, debido a que al menos una de las variables antes mencionadas no aparece registrada en el documento censal. Los costos totales se integraron por la suma de consumo inter-

medio y remuneración de asalariados. El superávit de operación se estimó como la diferencia entre valor agregado censal bruto y remuneración de asalariados. La autosuficiencia o déficit con que opera un organismo se determina por la producción bruta menos el costo total.

APÉNDICE B  
PENÍNSULA DE YUCATÁN,  
ORGANISMOS OPERADORES ANALIZADOS

ESTADO DE CAMPECHE

*Autosuficientes:*

1. Campeche; 2. Carmen; 3. Candelaria

*Deficitarios*

1. Calkiní; 2. Champotón; 3. Hecelchack; 4. Hopelchen;  
5. Palizada; 6. Tenabo; 7. Escárcega; 8. Calakmul.

ESTADO DE QUINTANA ROO

*Autosuficientes*

1. Cozumel; 2. Isla Mujeres; 3. Othón P. Blanco; 4. Benito Juárez; 5. Solidaridad.

*Deficitarios*

1. Felipe Carrillo Puerto; 2. José María Morelos; 3. Lázaro Cárdenas.

ESTADO DE YUCATÁN

*Autosuficientes*

1. Cacalchen; 2. Cuncunul; 3. Cuzama; 4. Chacsinkin; 5. Chichimila; 6. Dzitas; 7. Dzoncauich; 8. Halacho; 9. Kinchil; 10. Mérida; 11. Progreso; 12. San Felipe; 13. Tahdziu; 14. Tahmek; 15. Telchac Puerto; 16. Temak; 17. Tepakan; 18. Ticul; 19. Tizimin; 20. Valladolid; 21. Xocchel.

*Deficitarios*

1. Abala; 2. Acanceh; 3. Akil; 4. Baca; 5. Bokoba; 6. Buctzotz; 7. Calotmul; 8. Cansahcab; 9. Cantamayec; 10. Celestun; 11. Cenotillo; 12. Conkal; 13. Chankom; 14. Chapab; 15.

Chemak; 16. Chicxulub; 17. Chikindzonot; 18. Chochola; 19. Chumayel; 20. Dzan; 21; Dzemul; 22. Dzidzantun; 23. Dzilam de Bravo; 24. Dzilam González; 25. Espita; 26. Hocabá; 27. Hoctun; 28. Hobum; 29. Huhi; 30. Hunucma; 31. Ixil; 32. Izamal; 33. Kanasin; 34. Kantunil; 35. Kaua; 36. Kopoma; 37. Mama; 38. Mani; 39. Maxcanu; 40. Mayapan; 41. Mochá; 42. Motul; 43. Muna; 44. Muxupip; 45. Opichen; 46. Oxkutzcab; 47. Panaba; 48. Peto; 49. Quintana Roo; 50. Río Lagartos; 51. Sacalum; 52. Samahil; 53. Sanahcat; 54. Santa Elena; 55. Seye; 56. Sinanche; 57. Sotuta; 58. Sudzal; 59. Suma; 60. Teabo; 61. Tecoh; 62. Tekal de Venegas; 63. Tekanto; 64. Tekax; 65. Tekit; 66. Tekom; 67. Telchac Pueblo; 68. Temozon; 69. Tétiz; 70. Teya; 71. Timucuy; 72. Tinum; 73. Tixcalcupul; 74. Tixkokob; 75. Tixmehuac; 76. Tixpehual; 77. Tunkas; 78. Tzucacab; 79. Uayma; 80. Ucu; 81. Uman; 82. Yaxcaba; 83. Yaxkukul; 84. Yobain.

APÉNDICE C

RESULTADOS DE FUNCIONES ECONOMÉTRICAS

CUADRO 3 FUNCIÓN DE VALOR AGREGADO		CUADRO 4 FUNCIÓN DE PRODUCTIVIDAD	
<i>Variables</i>		<i>Variables</i>	
<i>Dependiente</i>	Valor agregado log va	<i>Dependiente</i>	Valor agregado log va/po
<i>Independiente</i>		<i>Independiente</i>	
log va/po	0.86 (45.36)***	log ci/po	0.44 (13.41)***
log ci	0.57 (36.98)***	log k <sub>fijo</sub> /po	0.12 (4.92)***
log k <sub>fijo</sub>	0.13 (8.75)***	D <sub>Quintana Roo</sub>	0.98 (1.90)*
log ci*D <sub>Campeche</sub>	0.4 (2.00)**	log ci/po*D <sub>Yucatán</sub>	0.49 (1.71)*
D <sub>Campeche</sub>	-3.28 (-2.01)**	log k <sub>fijo</sub> /po*D <sub>Yucatán</sub>	-0.43 (-2.33)**

D <sub>Quintana Roo</sub>	0.67 (2.03)**	C	2.43 (18.05)***
c	-1.2 (-13.17)***	R <sup>2</sup> ajustada	0.2
R <sup>2</sup> ajustada	0.9	F	58.6
F	1,687.5	N	1,129
n	1,129		

Significancia: ( )\*\*\*: 99%; ( )\*\*: 95%; ( )\*: 90%

CUADRO 5  
FUNCIÓN  
REMUNERACIÓN  
DE ASALARIADOS

<i>Variables</i>	
<i>Dependiente</i>	Remuneración de asalariados log ra
<i>Independiente</i>	
log po	0.68 (23.96)***
log ci	0.25 (12.82)***
log va	0.23 (13.40)***
log po*D <sub>Campeche</sub>	-0.32 (-1.78)*
D <sub>Campeche</sub>	1.62 (2.15)**
D <sub>Yucatán</sub>	-0.38 (-2.69)***
c	0.66 (8.43)***
R <sup>2</sup> ajustada	0.91
F	1,852.4
n	1,130

CUADRO 6  
FUNCIÓN  
DE  
EMPLEO

<i>Variables</i>	
<i>Dependiente</i>	Personal ocupado
<i>Independiente</i>	
log po	
log ci	0.59 (35.86)***
log ra/po	-0.2 (-6.61)***
log k <sub>fijo</sub>	0.13 (8.44)***
D <sub>Quintana Roo</sub>	0.57 (1.74)*
C	-1.3 (-15.24)***
R <sup>2</sup> ajustada	0.78
F	1,000.6
N	1,129

Significancia: ( )\*\*\*: 99%; ( )\*\*: 95%; ( )\*: 90%

CUADRO 7  
FUNCIÓN  
DE  
SALARIOS

<i>Variables</i>	
<i>Dependiente</i>	Salario log ra/po
<i>Independiente</i>	
log va/po	1.18 (24.31)***
log (va-ra)/po	-0.63 (-17.40)***
log va/po*D <sub>Quintana Roo</sub>	-0.43 (-1.66)*
D <sub>Campeche</sub>	0.66 (1.70)*
D <sub>Quintana Roo</sub>	2.53 (1.71)*
D <sub>Yucatán</sub>	-0.34 (-2.30)**
c	0.15 -1.6
R <sup>2</sup> ajustada	0.45
F	151.6
n	1,121

CUADRO 8  
FUNCIÓN  
DE SUPERÁVIT  
DE OPERACIÓN

<i>Variables</i>	
<i>Dependiente</i>	Superávit de operación log va-ra
<i>Independiente</i>	
log va/po	1.29 (42.19)***
Log k <sub>fijo</sub> +ci	0.63 (33.03)***
Log ra/po	-0.26 (-5.61)***
log ra/po*D <sub>Campeche</sub>	-3.75 (-2.44)**
D <sub>Campeche</sub>	14.25 (2.39)**
D <sub>Quintana Roo</sub>	1.21 (2.53)**
C	-3.43 (-24.22)***
R <sup>2</sup> ajustada	0.83
F	899.2
N	1,121

Significancia: ( )\*\*\*: 99%; ( )\*\*: 95%; ( )\*: 90%

## GLOSARIO DE TÉRMINOS<sup>12</sup>

### *Activos fijos netos*

Constituyen el valor de todos los bienes muebles e inmuebles que intervienen directa o indirectamente en el proceso de producción, y cuya vida útil es superior a un año. Incluye los activos fijos propiedad del organismo operador, alquilados a terceros, así como los utilizados bajo esquemas de arrendamiento financiero.

<sup>12</sup>El presente glosario, con modificaciones, se basa en INEGI (2000).

*Consumo intermedio*

Se refiere al monto de los bienes y servicios consumidos por parte del organismo operador, en tanto materias primas y auxiliares para el desarrollo de su actividad fundamental. Por ejemplo, materiales para la prestación de servicios, compra de agua en bloque, combustibles y lubricantes, energía eléctrica, alquiler de equipo de trabajo y otros bienes muebles e inmuebles; viáticos y pasajes; servicios de comunicación; comisiones y honorarios; publicidad; agentes físico-químicos, reactivos e insumos similares, servicios profesionales proporcionados por terceros; intendencias, jardinería y pagos a terceros, y pagos a terceros por servicios de reparación y mantenimiento corriente, gastos para la producción y reparación de activos fijos para uso propio.

*Costo total*

Está integrado por el consumo intermedio y la remuneración de asalariados.

*Organismo operador*

Unidad económica que administra y opera el sistema de agua potable, alcantarillado y saneamiento, para dotar de estos servicios a habitantes de uno o varios municipios. La denominación legal puede ser sistema de agua, dirección, comisión, junta local, departamento, o comité. La participación privada, la cual toma la forma de concesión de un servicio público otorgado por parte del poder municipal o estatal, puede ser parcial para cubrir actividades como lo son medición, facturación y cobro. Alternativamente, pueden abarcar todas las actividades del propio organismo.

*Producción bruta total*

Se refiere al valor del agua suministrada por el organismo operador, aunado a los ingresos por derechos de conexión de tomas, alcantarillado, saneamiento, venta de agua tratada y otros ingresos derivados de esta actividad, incluyendo los activos fijos producidos por el organismo para uso propio.

### *Remuneración laboral*

Está integrada por todos los pagos en forma de sueldos y salarios que efectúa cada organismo operador, así como por las prestaciones sociales e indemnizaciones correspondientes.

### *Valor agregado*

Es el valor integrado por la remuneración laboral y la cuenta de resultados. Alternativamente, es la diferencia entre producción bruta total y consumo intermedio. Incluye depreciación de activos fijos netos.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR AMILPA, Enrique, “Los desafíos de la seguridad hídrica en las Américas”, resumen ejecutivo, en César Herrera y Fernando Tudela (coords.), *Agua para las Américas en el siglo XXI*, México, El Colegio de México y Comisión Nacional del Agua, 2003, pp. 145-191.
- CAMDESSUS, Michael, Bertrand Badré, Ivan Chéret y Pierre-Frédéric Ténrière-Buchot, *Eau*, París, Lafont, 2004.
- GOICOECHEA, Julio, “Servicios domiciliarios de agua y drenaje en México: cobertura relativa y convergencia, en la gestión del agua en México: los retos para el desarrollo sustentable”, en Marco Antonio Jacobo Villa y Elsa Saborío Fernández (coords.), *La gestión del agua en México: los retos para un desarrollo sustentable*, México, UAM y Miguel Ángel Porrúa, 2004, pp. 111-129.
- INEGI, *I Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua Censo Económico, 1999*, Aguascalientes, 2000.
- , *Actividades de Producción de Bienes: Minería y Extracción de Petróleo; Industrias Manufactureras; Industria Eléctrica; Captación, Tratamiento y Suministro de Agua e Industria de la Construcción, Censo Económico, 1999*, Aguascalientes, 2001.
- OCDE, *Análisis del desempeño ambiental*, México, París, 1998.
- , *Environmental Performance Reviews*, México, París, 2003.
- PARGAL, Sheoli y J. Luis Guasch, “Regulatory Environment for Private Sector Participation in Infrastructure”, en Marcelo M. Giugale, Oliver Lafourcade y Vinh H. Nguyen (eds.), *Mexico: A Comprehensive Development Agenda for the New Era*, Washington, DC., The World Bank, 2001, pp. 377-405.

- POLO HERNÁNDEZ, Felipe, “La administración del negocio del agua, en la gestión del agua en México: los retos para el desarrollo sustentable”, en Marco Antonio Jacobo Villa y Elsa Saborío Fernández (coords.), *La gestión del agua en México: los retos para un desarrollo sustentable*, México, UAM y Miguel Ángel Porrúa, 2004, pp. 329-336.
- TUDELA ABAD, Fernando, “Actualmente, 64 por ciento de las aguas residuales se vierten al mar sin tratar”, *La Jornada*, 27 de agosto de 2005, p. 42.

## CAPÍTULO 9

JORGE A. MORALES NOVELO  
Y LILIA RODRÍGUEZ TAPIA\*

### *Desempeño de la industria manufacturera en el uso del agua en México*

#### INTRODUCCIÓN

EL AGUA desempeña un papel central en el desarrollo de casi toda actividad económica, es un elemento fundamental de la naturaleza, un requisito indispensable para todo proceso de producción manufacturero, de generación de energía eléctrica a partir de plantas hidroeléctricas y, en general, de la industria en su conjunto. El sector industrial no sería capaz de funcionar sin agua, en ninguna de sus ramas y clases industriales que lo conforman, aun cuando el agua se demande como insumo auxiliar. Los recursos hidráulicos encierran, pues, múltiples formas de uso para los procesos de la producción industrial y de energía.

En nuestro país, los estudios sobre industria y agua son escasos no obstante la importancia del tema, urgen investigaciones que den cuenta de los problemas que se derivan del uso del agua por los establecimientos industriales, y en particular del daño ambiental a los cuerpos de agua aledaños a éstos. El daño ambiental que las manufacturas están generando en los cuerpos de agua en México es de una magnitud importante, y aun cuando se presenta en grado diferente en el país, resulta de especial importancia que la industria transforme su política respecto al cuidado de

\*Profesores-investigadores en el Departamento de Economía de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco [jamn@correo.azc.uam.mx y lrt@correo.azc.uam.mx]. Los autores agradecen la valiosa colaboración de la IBQ Patricia Zavala Vargas en la organización de la información estadística.

este recurso. De no hacerlo, no sólo seguirá dañando la calidad de vida de la población, sino que estará poniendo en riesgo también la continuidad de sus propias actividades.

En este capítulo interesa investigar la importancia del uso del agua en el desarrollo de la industria manufacturera en México y su impacto en la región en que se ubica, como el grado de afectación que provocan las descargas de aguas residuales a los ecosistemas. El objetivo es dimensionar la importancia del uso del agua en la industria manufacturera a nivel de la economía en su conjunto, y determinar las regiones de mayor actividad industrial y su correspondiente problemática en el uso del recurso agua en aspectos específicos que se mencionan adelante. Evaluar el recorrido que sigue el agua en la industria en sus diversas fases en todo el sector permite entender los límites que el uso del agua le impone al crecimiento de éste, así como también tener indicadores de los efectos del uso del agua sobre los cuerpos de agua que forman parte del sistema natural o cuencas en México.

Este capítulo está conformado por dos partes, en la primera se presenta la información del uso del agua para la industria manufacturera del país, se hace un análisis dimensional de su magnitud a partir del número de establecimientos que existen, se determina el volumen que demandan de agua, y se ubican las principales fuentes de suministro. Asimismo, se presentan los volúmenes de agua residual generada y descargada a los cuerpos de agua y se especifican los niveles de tratamiento y reúso del agua. La información disponible permite describir el desempeño de la industria en el uso del agua y destacar sus principales problemas. El grueso de la información corresponde casi en su totalidad al 2002; sin embargo, cuando no existía información de dicho año se recurrió a la del año más próximo.

En la segunda parte de este escrito se ubica la presencia de la industria manufacturera en las diferentes Regiones Hidrológicas Administrativas (RHA) en que están organizadas las cuencas en México, y se analiza la situación para las principales zonas industriales del país respecto al uso del agua, así como para las de menor presencia industrial de acuerdo con el mismo esquema de

presentación. En suma, se pretende hacer un análisis dimensional del problema del uso del agua en la industria, tomando en cuenta cada región, para conocer los resultados de las políticas aplicadas en cada sitio estudiado, con respecto a la limpieza de sus cuerpos de agua y al abastecimiento para el crecimiento de sus respectivas industrias.

En el apartado Resumen y reflexiones, se presentan los principales resultados de la investigación y se relacionan con la elaboración de propuestas de política hidráulica a escala global o regional. Asimismo, se expresa la convicción de que la política hidráulica debe basarse en la administración de la demanda y, en un estricto control de las descargas de aguas residuales para frenar el elevado nivel de contaminación de los cuerpos de aguas del país, aunado a esto, se debe iniciar un proceso de recuperación de los cuerpos de agua con contaminación, más allá de su “punto de equilibrio”.

## DESEMPEÑO DE LA INDUSTRIA MANUFACTURERA EN MÉXICO

EN MÉXICO en el 2002 se extrajeron de los cuerpos de agua susceptibles de explotación un total de 72 kilómetros cúbicos de agua destinados a usos consuntivos,<sup>1</sup> volumen que representa aproximadamente 15 por ciento de la disponibilidad natural media nacional,<sup>2</sup> porcentaje que se define como grado de presión,<sup>3</sup> el cual, de acuerdo con la clasificación de la Organización de Naciones Unidas (ONU) respecto a los diversos grados de presión sobre los cuerpos de agua en el mundo, los recursos hídricos de México

<sup>1</sup> Se denomina al uso en el cual el agua es transportada al lugar de uso y la totalidad o parte de ella no regresa al cuerpo de agua.

<sup>2</sup> La disponibilidad natural media nacional se compone del escurrimiento superficial virgen y la recarga de acuíferos. *Programa Nacional Hidráulico, 2001-2006, Plan Nacional de Desarrollo*, m/f, México, Conagua, Presidencia de la República, Semarnat.

<sup>3</sup> “La comisión para el Desarrollo Sustentable de la ONU, distingue cuatro categorías de presión sobre el agua dependiendo del porcentaje de agua disponible que se utiliza en un país: menos de 10 por ciento existe baja presión, de 10 a 20 por ciento existe presión moderada, de 20 a 40 por ciento existe presión media alta y más de 40 por ciento existe presión alta y es urgente la necesidad de una administración cuidadosa de la oferta y la demanda”. Esta es la clasificación utilizada en este trabajo.

están sujetos a condiciones de presión moderada, situación que vista en forma global sugiere la presencia de pocas tensiones y conflictos en el uso del agua.

Sin embargo, cuando el problema se sitúa a escala regional, las zonas centro, norte y noroeste de México presentan un valor en sus grados de presión respecto a su correspondiente disponibilidad hídrica de 44 por ciento, que de acuerdo con la clasificación mencionada, indica que el agua se encuentra sujeta a una presión alta que se yergue como un factor limitante al crecimiento y el desarrollo económico de las regiones afectadas (Morales y Rodríguez, 2006). Esto es claro para el desarrollo de la industria que se ubica preponderantemente en estas regiones del país, en donde la disponibilidad del agua se rezaga cada vez más respecto del crecimiento de la demanda de la industria y de otras actividades económicas, además de la demanda de los hogares.

La alta presión a la que se ven sometidos los cuerpos de agua en las regiones referidas del país, crea conflicto entre las formas de uso del agua en la agricultura y la industria, y entre éstas y el resto del espacio urbano: hogares y servicio público urbano, comercio y servicios. En las zonas en donde la industria mantiene una estructura compleja y existe una escasez natural de recursos hídricos, se crea una situación que tiende a deteriorar las relaciones sociales e intersectoriales. Sumados a las restricciones sociales, están presentes los obstáculos climatológicos y geográficos tales como los diferentes y dispersos regímenes de precipitación pluvial regionales, el estío agudo en vastas zonas, por sí mismas áridas y semiáridas del centro y norte del territorio que han tenido como corolario natural una baja de la disponibilidad de recursos hídricos (Morales y Rodríguez, 2006).

Los sectores industriales de manufacturas, termoeléctricos e hidroeléctricos en conjunto demandaron en 2002 un volumen de agua que ascendió a 127,933.54 hectómetros cúbicos. La industria hidroeléctrica es la gran usuaria industrial del agua, puesto que requiere de 120,982 hectómetros cúbicos, lo que representa 94.6 por ciento total del recurso efectivamente utilizada por toda la industria ampliada (manufacturas, termoeléctricos e hidroeléc-

tricos); sin embargo, debemos considerar que no hace uso consuntivo del agua. En este sentido, 4,177 hectómetros cúbicos de agua son utilizados por las termoeléctricas, que representan 3.3 por ciento del total, y con un monto de 2,774.54 hectómetros cúbicos de agua se abastece la industria manufacturera, lo que representa 2.2 por ciento. La industria integrada por los tres sectores mencionados requiere de mayor cantidad de agua que incluso la misma agricultura, que es por excelencia el gran consumidor consuntivo de este recurso en todo el territorio mexicano.

El bajo porcentaje con que participa la industria manufacturera en el uso del agua en la industria arriba descrita, no refleja el papel clave que tiene su demanda en el contexto de los grandes usuarios de agua en México. El sector industrial de manufacturas realiza un uso consuntivo del agua; es decir, una parte importante del agua suministrada a los establecimientos se consume durante el proceso, ya sea porque se transfiere al producto fabricado, o porque se pierde en el mismo proceso productivo (se evapora, se desperdicia, etcétera), por lo que al final se tiene una cantidad menor al agua suministrada, denominada agua residual, que se debe disponer en los ductos del drenaje o directamente en los cuerpos de agua superficiales. Esta agua residual regresa con diferentes grados de contaminación, desde agua con contaminantes orgánicos hasta agua que porta residuos peligrosos, metales pesados y otros, dependiendo del giro industrial de que se trate. Ambos aspectos de este proceso, es decir, su uso consuntivo y las descargas de aguas residuales contaminadas, plantean la necesidad de realizar un análisis detallado del uso del agua en la industria manufacturera, con el fin de comprender las implicaciones que tiene este proceso tanto sobre el sistema hidrológico como sobre la disponibilidad de los recursos hídricos.

La demanda de agua por el sector manufacturero del país está determinada por la dimensión que presente el sector industrial, por las tasas de crecimiento promedio anual del sector y de toda la economía –o de la región económica considerada– y por la tecnología aplicada en los procesos productivos, entre otras variables. Desde el punto de vista de las descargas de aguas residua-

les, su nivel de contaminación depende del cumplimiento de las empresas a la normatividad de descargas que exige la autoridad competente, de la existencia de tecnología de tratamiento de aguas residuales al interior de las empresas o de la renta de equipo de tratamiento, y del nivel de supervisión que la autoridad aplica para el cumplimiento de las normatividad respectiva.

La industria manufacturera del país ha aumentado su número de establecimientos de 265,000 en 1993 a 481,000 para 2003; es decir, que en 10 años aumentó en 215,000 nuevas unidades económicas. Esta situación, positiva a todas luces para nuestra economía en tanto estimula el crecimiento de los ingresos de las familias, así como del empleo, entre otras variables económicas, tiene un impacto ambiental en diversos ámbitos, tales como el aire, la tierra y el agua, dependiendo del giro industrial de que se trate. En particular aquí interesa el impacto en los cuerpos de agua que suministran el recurso como en los que se descargan las aguas residuales contaminándolos (ríos, lagos, presas, mares, etcétera). El ritmo con que ha venido creciendo el sector manufacturero en su conjunto, en los primeros cinco años que van de 1993 a 1998, es de 5 por ciento promedio al año, y en los últimos cinco años que van de 1998 al 2003, de 7 por ciento promedio anual. Los efectos del crecimiento industrial que interesan en este trabajo son los que están relacionados con el uso del agua—tanto potable como autoabastecida—,<sup>4</sup> ya que dicho crecimiento implica un aumento de los requerimientos de agua para desarrollar su proceso productivo, por un lado, y para las descargas de aguas residuales a los cuerpos de agua, toda vez que su proceso la elimina.

El agua suministrada en 2002 a los 460,000 establecimientos del sector manufacturero<sup>5</sup> alcanzó el nivel de 2,774.5 hectómetros cúbicos, que se extrajo de dos fuentes principales, el autoabas-

<sup>4</sup> El agua autoabastecida se extrae del subsuelo o de cuerpos de agua superficiales por el portador de los derechos, la Ley de Aguas Nacionales establece que para utilizar las aguas nacionales es necesaria una concesión o una asignación, expedida por la Comisión Nacional del Agua (Conagua). El agua potable es suministrada por la red de abastecimiento y las empresas pagan en función del volumen demandado, esta agua se somete a un proceso de saneamiento para estar disponible para el consumo humano.

<sup>5</sup> Se estimó el número de establecimientos para el año 2002 que corresponde al año en que se reporta información de los volúmenes de agua suministrada.

tecimiento que alcanzó 2,435 hectómetros cúbicos, y que representa 87.6 por ciento, y el agua potable suministrada por la red de abastecimiento público, cuyo volumen para 2002 fue de 339.54 hectómetros cúbicos; es decir, 12.24 por ciento del total demandado.

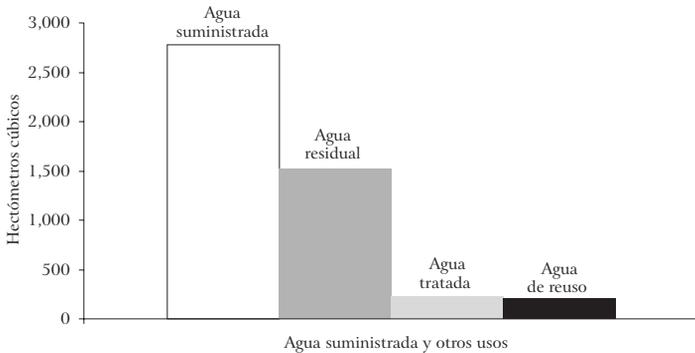
La industria descarga sus aguas residuales principalmente en la red del alcantarillado municipal de la localidad correspondiente; y de las 83,037 conexiones para descarga de aguas residuales de la industria registradas en 2002, 80,976 son conexiones a la red del alcantarillado municipal, lo que constituye 97.5 por ciento del total, y 2,061 son permisos de descarga de aguas residuales<sup>6</sup> a cuerpos de agua de jurisdicción federal, lo que sólo representa 2.5 por ciento. La información muestra que el agua suministrada a la industria –independientemente de la forma de abastecimiento, ya sea por la red pública de agua potable o por autoabastecimiento– tiene como medio de retorno de sus aguas residuales a la red del alcantarillado municipal, conducto en el que, además de aguas industriales, se descargan aguas residuales domésticas, de los comercios, servicios y aguas pluviales. Este sistema de conducción transporta aguas combinadas con diferente grado de contaminación, lo que complica y encarece el sistema de tratamiento y de reuso del agua. En algunos países existen sistemas de descarga separados de acuerdo con el tipo de uso dado a las aguas: por ejemplo, el sistema pluvial sigue un recorrido diferente a los ductos de agua industrial y doméstica, entre otros usos.

En el 2002, el agua residual industrial llegó a los 1,522.1 hectómetros cúbicos, lo que representa 54 por ciento del agua suministrada. Esta agua retorna al sistema hídrico independientemente de cuál sea su grado de contaminación (véase gráfica 1). El consumo consuntivo de agua por la industria alcanzó los 1,252.4 hectómetros cúbicos y es agua que se extrae definitivamente del sistema hidráulico puesto que no regresa a dicho sistema.

En la gráfica 1 se destaca que de los 2,774.5 hectómetros cúbicos de agua suministrada en 2002 a la industria, se generaron

<sup>6</sup>Para poder descargar aguas residuales se requiere de un permiso de descarga, expedido por la Conagua.

GRÁFICA 1  
 AGUA SUMINISTRADA A LA INDUSTRIA  
 Y OTROS USOS EN MÉXICO, 2002  
 (Promedio global hm<sup>3</sup>)



Fuente: Semarnat, Conagua, *Estadísticas del Agua en México*, México, 2004. INEGI, *I Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua*, Censo Económico 1999, México, 2000.

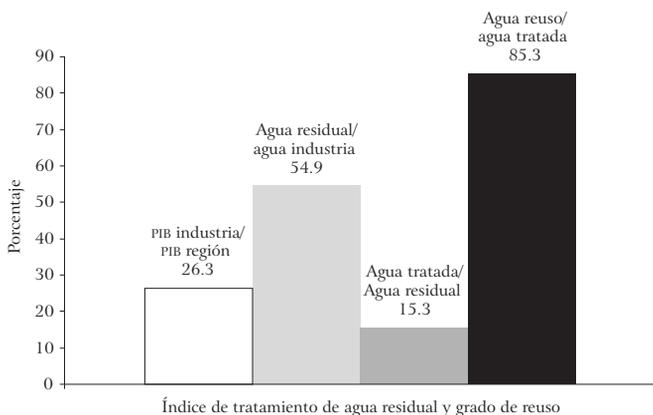
1,522.1 hectómetros cúbicos de agua residual industrial; en esta magnitud sólo 232.8 hectómetros cúbicos se trataron, lo cual representa 15 por ciento del agua residual generada en el territorio nacional. El 85 por ciento de las descargas de aguas residuales industriales a cuerpos de agua nacionales se efectúan sin ningún tratamiento, por lo que la industria participa en forma importante en los alarmantes niveles de contaminación de los ríos, presas, lagos, suelos y océanos del país. Los balances de contaminación de los acuíferos y cuerpos de agua superficiales señalan altos índices de contaminación de sustancias tóxicas y peligrosas que sólo pueden ser generadas por la industria. Este perfil del comportamiento de la industria en el uso del agua, muestra el desinterés y bajo cumplimiento de las normas ambientales por parte de la industria.

En países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) —y México es uno de ellos—, los estándares internacionales señalan niveles de tratamiento de aguas residuales cercanos al 100 por ciento. De los 232.8 hectómetros cúbicos de agua tratada, 85 por ciento se reusa en la misma industria y representa un volumen de 198.7 hectómetros cúbicos.

La contaminación de los cuerpos superficiales de agua en nuestro país es un problema importante. De acuerdo con la información que proporciona la Comisión Nacional del Agua (Conagua) para 2003 respecto a la calidad del agua en estaciones de monitoreo –considerando la demanda química de oxígeno (DQO)–, el 31 por ciento de las estaciones de monitoreo presentes en el país reportaron que el agua se encuentra contaminada o fuertemente contaminada,<sup>7</sup> lo que es un indicador de los niveles alarmantes de polución que presentan ríos, lagunas y lagos del país, y de la importancia que supone aumentar la cobertura del tratamiento en lo que le corresponde al agua residual de la industria (véase cuadro 5).

El perfil de los usos del agua en la industria en términos porcentuales (véase gráfica 2), sintetiza los aspectos arriba comenta-

GRÁFICA 2  
ÍNDICE DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL  
Y GRADO DE REUSO EN MÉXICO, 2002  
(Promedio nacional)



Fuente: Semarnat, Conagua, *Estadísticas del Agua en México*, México, 2004. INEGI, *I Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua, Censo Económico 1999*, México, 2000. Sistema de Cuentas Nacionales de México (SCNM). *Cuentas de Bienes y Servicios 1988-1999 y 1997-2002*, Aguascalientes, Ags., México, INEGI, 2002.

<sup>7</sup>La escala de clasificación de la calidad del agua, conforme a la demanda química de oxígeno (DQO) es: excelente, buena calidad, aceptable, contaminada y fuertemente contaminada, para mayor detalle véase el anexo.

dos. El producto interno bruto (PIB) industrial representa la cuarta parte del PIB total del país (26.3 por ciento), lo que muestra una economía con un proceso de industrialización medio, que promete un crecimiento potencial importante en los siguientes años.

Ahora bien, por el tipo de industria asentada en el país, el agua residual generada representa ligeramente más de la mitad del agua suministrada (54.9 por ciento), y el índice de tratamiento del agua residual es de sólo 15 por ciento, lo que muestra el bajo interés en cooperar en la limpieza de los cuerpos de agua del país.

Por último, el porcentaje de reuso de agua es de 85 por ciento respecto a la baja magnitud de agua tratada, lo que indica que en el sector industrial existe un mercado potencial para el agua tratada, sin embargo, hasta la fecha es claro que en términos absolutos se habla de montos de agua muy bajos.

#### EL COMPORTAMIENTO REGIONAL DE LA INDUSTRIA MANUFACTURERA EN MÉXICO Y SU PROBLEMÁTICA RESPECTO A LOS USOS DEL AGUA

EN ESTE APARTADO se analiza cómo la presencia de la industria en cada región se relaciona con los cuerpos de agua correspondientes, y se toma como unidad de análisis la Región Hidrológico Administrativa (RHA), que es la delimitación geográfica para la que se tiene información respecto a su disponibilidad natural hídrica en una magnitud determinada básicamente por la geografía y el régimen pluvial.

Las 320<sup>8</sup> cuencas hidrológicas que existen en México se clasifican para integrar 13 RHA que son la base de administración del agua en el país. En el cuadro 1 se presenta información organiza-

<sup>8</sup> En México, el agua se encuentra disponible en escurrimientos superficiales distribuidos en 320 cuencas hidrológicas, en la vertiente del Pacífico las más importantes son las de los ríos Yaqui, Fuerte, Mezquital, Lerma, Santiago y Balsas, y en la vertiente del Golfo de México las cuencas de los ríos Bravo, Pánuco, Papaloapan, Grijalva y Usumacinta, y la del río Nazas entre las cuencas endorreicas.

da para cada una de las 13 RHA para el año 2002, se registra el PIB generado por todas las actividades económicas en cada RHA, así como el PIB que genera su respectiva industria manufacturera y su respectiva participación dentro del PIB industrial de todo el país entre otros indicadores. El PIB de toda la industria manufacturera en 2002 fue de 390, 646.81 millones de pesos valuado a precios de 1993, lo que representa una cuarta parte del PIB de toda la economía (26 por ciento) y da cuenta de la importancia de la actividad industrial en México. La información anterior muestra lo crucial que resulta la industrialización de la economía mexicana, que en comparación con otras economías, la sitúa en un nivel de desarrollo económico intermedio en el concierto internacional.

Como se registra en el cuadro 1, la participación del PIB industrial de cada RHA en el total permite ubicar la importancia relativa de la actividad industrial en las diferentes RHA y dar un panorama de la localización geográfica de la industria en México. Los centros industriales manufactureros más importantes en nuestro país se centran en las RHA, situadas en el centro, norte y noroeste (véase mapa 1) en donde cuatro RHA generan 65 por ciento del PIB industrial del país. En orden de importancia son, la Región XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala que tradicionalmente ha sido la más industrializada y genera una cuarta parte de la producción industrial total (lo que explica su 24 por ciento); la VIII Lerma-Santiago-Pacífico con 17 por ciento; la Región VI Río Bravo con 15 por ciento, y la IV Balsas con 9 por ciento. Estas cuatro zonas se caracterizan por tener acuíferos que son sometidos a una alta presión para satisfacer la demanda de los diversos sectores usuarios de agua.

Las restantes nueve RHA explican 35 por ciento del PIB industrial del país, distribuyendo sus participaciones en porcentajes que van de 1 hasta 8 por ciento. Cabe destacar que la mayoría de estas regiones se ubican en el sur del país, lo cual confirma la idea general de que esta parte de México está poco industrializada, a la vez de que sus cuerpos de agua enfrentan un grado de presión menor.

CUADRO 1  
 PRODUCTO INTERNO BRUTO POR REGIÓN  
 HIDROLÓGICO ADMINISTRATIVA, 2002  
 (Millones de pesos a precios de 1993)

Región hidrológica administrativa	PIB	PIB	PIB	PIB	Tasa media de
	México	México	industrial	industria	crecimiento
	2002	2002	2002	2002	anual
A	B	C	D	E	
I Península de Baja California	60,815	4.0	14,454	3.7	4.5
II Noroeste	41,532	3.0	11,055	2.8	3.0
III Pacífico Norte	43,015	3.0	8,567	2.2	1.7
IV Balsas	99,380	7.0	35,049	9.0	2.8
V Pacífico Sur	31,149	2.0	4,444	1.1	2.3
VI Río Bravo	216,560	15.0	60,222	15.4	4.7
VII Cuencas Centrales del Norte	48,948	3.0	12,856	3.3	4.3
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	237,326	16.0	66,488	17.0	3.8
IX Golfo Norte	54,882	4.0	29,896	7.7	3.6
X Golfo Centro	81,581	6.0	22,362	5.7	2.2
XI Frontera Sur	43,015	3.0	10,938	2.8	1.8
XII Península de Yucatán	62,298	4.0	17,970	4.6	3.1
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	462,785	31.0	95,173	24.4	2.2
Total nacional	1,483,284	100	390,647	99.7	3.1

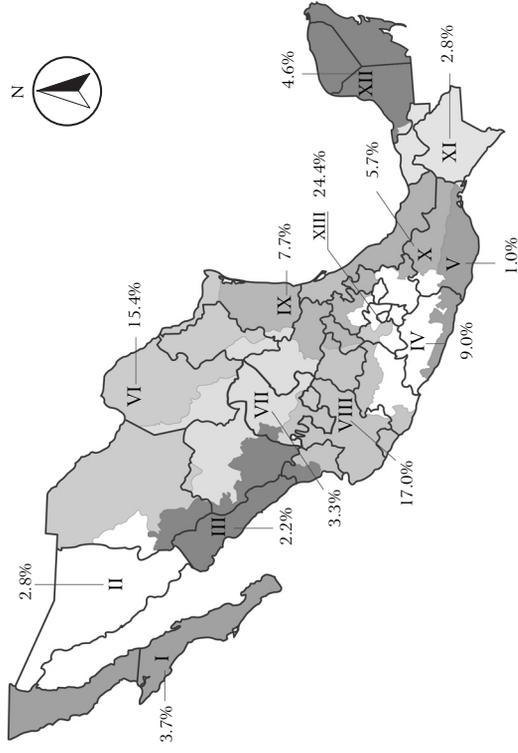
Fuente: A: Distribución del PIB del país por región con datos de la columna B.

B: Estructura del PIB por RHA para el 2002, Conagua, *Estadísticas del Agua en México*, México, 2004, p. 19.

C, D y E: Estimaciones propias a partir de información del Sistema de Cuentas Nacionales de México (SCNM), *Cuentas de Bienes y Servicios 1988-1999 y 1997-2002*, Aguascalientes, Aguascalientes, México, INEGI, 2002.

En la última columna del cuadro 1 se indica que el crecimiento de la producción industrial global fue de 3 por ciento promedio anual entre 1996 y 2002, ritmo que se puede considerar razonable comparado con otros sectores de la economía, en particular con la agricultura. No obstante, si este crecimiento se compara con otras economías emergentes se considera bajo, por ejemplo con las del este de Asia y algunas del este de Europa, que llegaron a crecer a más del 7 por ciento promedio anual en el mismo periodo. Existe un consenso en las políticas públicas de que a mayor dinamismo industrial hay un aumento del bienestar de la población, por

**MAPA I**  
**IMPORTANCIA DE LA INDUSTRIA POR REGIÓN HIDROLÓGICO ADMINISTRATIVA**  
 (Porcentaje PIB industria RHA/PIB industria en México)



Región administrativa	%
XIII Valle de México	24.4
VIII Lerma-Santiago Pacífico	17.0
VI Rto Bravo	15.4
IV Balsas	9.0
IX Golfo Norte	7.7
X Golfo Centro	5.7
XII Península de Yucatán	4.6
I Península de Baja California	3.7
VII Cuencas Centrales del Norte	3.3
II Noroeste	2.8
XI Frontera Sur	2.8
II Pacífico Norte	2.2
V Pacífico Sur	1.0

INEGI, *I Censo de Captación, Tratamiento y Sumistro de Agua*, México, 2000.  
 Sistema de Cuentas Nacionales de México (SCNM), *Cuentas de Bienes y Servicios 1988-1999 y 1997-2000*, Aguascalientes, Aguascalientes, México, INEGI, 2002.  
 Fuente: Elaboración y estimación propias a partir de Semarnat, Conagua, *Estadísticas del agua en México*, México, 2004.

lo que se espera que la industria mexicana crezca a tasas más elevadas. Sin embargo, la generación de este proceso requiere de la evaluación de la forma en que se presenta este crecimiento industrial respecto del desempeño ambiental. En particular, interesa destacar la relación que existe entre crecimiento industrial, demanda de agua y contaminación de los cuerpos de agua por descargas de aguas residuales sin tratamiento.

El crecimiento industrial para las RHA es diferenciado. En el periodo considerado, las RHA más industrializadas presentaron un mayor dinamismo en el crecimiento de su PIB industrial (véase cuadro 1 columna E), al mostrar tasas de crecimiento promedio anual arriba del 3 por ciento, que es la media nacional. Tal es el caso de seis RHA entre las que se encuentran las que concentran la mayor producción industrial (a excepción de la RHA XIII del Valle de México). Las otras siete RHA de menor presencia industrial también presentan tasas de crecimiento positivas aun cuando lo hacen por debajo de la tasa del sector industrial en su conjunto.

*Fuentes de suministro de agua  
para la industria por región  
hidrológico administrativa*

La industria de manufacturas requiere de agua dentro de su proceso productivo, básicamente para dos usos: como insumo en ciertos procesos productivos como en la industria de alimentos y bebidas, o como materia auxiliar para el enfriamiento de turbinas y calderas, para condensación o para la generación de vapor y para uso sanitario.<sup>9</sup> La industria en México recurre a dos fuentes de abastecimiento del agua, el suministro más importante es el autoabastecimiento seguido de la red de suministro público de agua potable. El primero tiene como origen la existencia de derechos para la explotación de agua subterránea (pozos) o fuentes de agua super-

<sup>9</sup> Basten las siguientes referencias para ilustrar la importancia así como el uso excesivo de los recursos hídricos en la manufactura: la fabricación de un kilogramo de aluminio requiere aproximadamente 3,785.3 litros de agua; para la fabricación de un automóvil se requieren 378,530 litros de agua (Thompson, 1999), mientras en el norte de México se necesitan 1,000 litros de agua para producir un litro de leche (Jacobo y Saborío, 2004).

ficiales en forma directa por el poseedor del derecho.<sup>10</sup> El agua suministrada por la red de abastecimiento público se realiza vía tomas de agua y se cobra con base en el volumen que se consume (se calcula con un medidor), y a una tarifa aplicada específicamente al sector industrial. A la fecha, el agua potable industrial tiene la tarifa más elevada de todos los diversos usos, al tiempo que es diferente en cada RHA, municipio o ciudad, dependiendo de las consideraciones de la autoridad competente en cada caso.

CUADRO 2  
EXTRACCIÓN DE AGUA EN LA INDUSTRIA  
POR FUENTE DE ABASTECIMIENTO, 2002

Región hidrológico administrativa	hm <sup>3</sup>		
	Agua autoabastecida	Agua potable*	Total
I Península de Baja California	72.0	19.6	91.6
II Noroeste	30.0	27.5	57.5
III Pacífico Norte	59.0	6.1	65.1
IV Balsas	200.0	32.1	232.1
V Pacífico Sur	9.0	7.4	16.4
VI Río Bravo	161.0	45.8	206.8
VII Cuencas Centrales del Norte	58.0	11.4	69.4
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	247.0	63.3	310.3
IX Golfo Norte	164.0	31.4	195.4
X Golfo Centro	1,133.0	36.3	1,169.3
XI Frontera Sur	78.0	13.1	91.1
XII Península de Yucatán	36.0	18.2	54.2
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	188.0	27.5	215.5
Total nacional	2,435	339.5	2,774.5

\*Estimación a partir del Censo de 1999 con tasa de crecimiento de la industria manufacturera.

Fuente: Semarnat, Conagua, *Estadísticas del Agua en México*, México, 2004.

INEGI, *I Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua, Censo Económico 1999*, México, 2000.

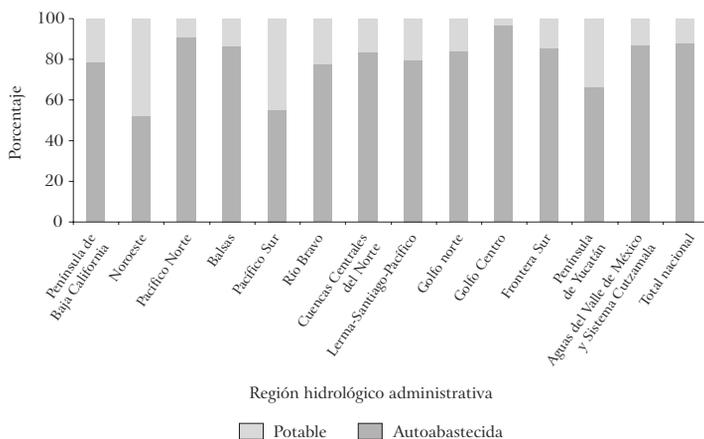
<sup>10</sup>No se sabe con exactitud cuánta agua se utiliza en el país; sin embargo, se cuenta con el Registro Público de Derechos de Agua (Repda) en el cual se tienen los volúmenes concesionados o asignados a los usuarios de aguas nacionales. Se infiere que los usuarios utilizan

En el cuadro 2 se presentan los volúmenes de agua suministrada a la industria de cada RHA, para 2002, de acuerdo con su fuente de abastecimiento. El volumen de agua proveída a la industria, en todo el país, alcanzó ese año 2,774.54 hm<sup>3</sup>, y cada RHA configura una situación diferente, dependiendo de la disponibilidad y magnitud de sus fuentes de abastecimiento, así como de los niveles de industrialización que lo caracterizan. La industria recurre de manera prioritaria al autoabastecimiento, tal como se observa en la elevada proporción en que todas las regiones extraen agua autoabastecida; y como fuente secundaria de abastecimiento utilizan a la red de agua potable.

Sin embargo, la importancia de cada fuente de abastecimiento varía de acuerdo con las especificidades hidrológicas de cada re-

GRÁFICA 3

FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE LA INDUSTRIA  
POR REGIÓN HIDROLÓGICO ADMINISTRATIVA  
(Porcentaje de abastecimiento por tipo de fuente)



Fuente: Semarnat, Conagua, *Estadísticas del Agua en México*, México, 2004. INEGI, *I Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua, Censo Económico 1999*, México, 2000.

aproximadamente el mismo volumen que tienen concesionado o asignado y se considera que la gran mayoría de los usuarios ya se encuentran inscritos en el Repda (*Estadísticas del Agua en México*, 2004).

gión, y a partir de factores diversos que son determinados por la propia disponibilidad natural y por el desempeño de la política hidráulica. Las diferencias entre las fuentes de abastecimiento del agua para la industria por RHA (véase gráfica 3) muestran que la Región IX Golfo Centro obtiene 97 por ciento del agua suministrada bajo la forma del autoabastecimiento; en contraste, la Región II Noroeste satisface su demanda con 52 por ciento de agua autoabastecida, lo cual es una participación menor al promedio nacional, que es de 80 por ciento.

Ahora bien, no existe relación directa entre la magnitud del sector industrial y los volúmenes de agua extraída, como en principio se esperaría. Las cuatro RHA que concentran 65 por ciento del PIB industrial del país, extraen sólo 35 por ciento del suministro de agua para la industria en el país, lo que en volumen representan 965.49 hectómetros cúbicos (véase cuadro 2). Para el 2002, la Región XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala, tradicionalmente la más industrializada del país, requirió de 215.54 hectómetros cúbicos. Las otras tres regiones con una alta aportación al PIB son la VIII Lerma-Santiago-Pacífico que demandó un volumen de 310.25 hectómetros cúbicos; la Región VI Río Bravo, con demandas del orden de 206.83 hectómetros cúbicos, y la Región IV Balsas, que demandó un volumen de 232.07 hectómetros cúbicos. Este comportamiento muestra que no existe una relación directa entre la magnitud del sector industrial y sus requerimientos de agua, y que la demanda de la industria en cada RHA depende de factores diversos, tales como los distintos giros industriales asentados en cada región, la disponibilidad natural de agua en cada región, el tipo de infraestructura para su captación y aprovechamiento, y el uso con eficiencias y valoraciones sociales distintas del recurso natural agua, entre otras variables. En esas condiciones, en México existen regiones que han tenido que importar el agua de otras cuencas con el fin de abastecer su propia demanda, como ha sido el caso de la Región XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala –en donde el agua importada no abastece directamente a la industria, aunque se podría considerar que parte de esta agua

le llega vía la red de agua potable— y el caso de la importación de agua de la Región VI Río Bravo, en la frontera norte.

### *Agua residual industrial por región hidrológico administrativa*

La industria manufacturera del país generó (en valores anuales de 2002) un volumen anual de descargas de aguas residuales del orden de 1,522 hectómetros cúbicos, que expresada en carga orgánica fueron 6.30 millones de toneladas de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), removiéndose por sistemas de tratamiento 1.10 millones de toneladas de DBO (*Estadísticas del Agua en México*, 2004).

Las descargas industriales de agua residual deben cumplir con normas ambientales que son aplicadas en toda la nación. Se puede hablar de dos normas principales:<sup>11</sup> la NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, y que fue publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 24 de junio de 1996; y la NOM-002-ECOL-1996, que establece los límites permitidos de contaminantes en descargas de aguas residuales en los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

La industria descarga su agua residual en la red de drenaje urbano municipal, y en cuerpos superficiales de agua de jurisdicción federal,<sup>12</sup> al tiempo que es obligatorio cumplir las normas arriba comentadas dentro de todo el territorio mexicano. Por su propio proceso de producción, las aguas residuales industriales son las que más contaminan, en comparación con cualquier otro sector

<sup>11</sup>La nomenclatura de las normas cambió de ECOL a Semarnat de acuerdo con las modificaciones de nomenclaturas especificadas en el *Diario Oficial de la Federación* del 23 de abril de 2003.

<sup>12</sup>En el caso de las descargas de aguas residuales, la Ley Federal de Derechos 2005 en su Capítulo XIV del Derecho por Uso o Aprovechamiento de Bienes del Dominio Público de la Nación como Cuerpos Receptores de las Descargas de Aguas Residuales, establece el importe a pagar por dichas descargas. El importe depende de la concentración de contaminantes, el volumen de agua descargada, así como del uso del agua del cuerpo receptor en donde se realiza la descarga y su capacidad para asimilar la contaminación. Es conveniente destacar que el objetivo de esta contribución no es recaudar, sino propiciar el saneamiento de los cuerpos receptores de agua, de tal manera que los usuarios que presenten sus proyectos para adecuar sus procesos productivos y/o construir plantas de tratamiento para mejorar la calidad del agua de sus descargas no pagan, así como tampoco aquellos que cumplen con las normas de calidad.

y su regulación es crucial para el mantenimiento de los sistemas ecológicos en cada región, así como para que no se vea afectada su disponibilidad, en el caso de que hubiera contaminación de cuerpos de agua en la región. Con frecuencia, la infiltración de agua residual es un componente principal de la recarga total en acuíferos ubicados en torno a zonas urbanas, especialmente en los climas áridos.

En México, la red de drenaje municipal, urbana o rural, que utiliza la industria para descargar el agua residual es compartida por las descargas domésticas, mientras que en algunos países y ciudades existen redes de drenaje separadas, lo que permite un mejor manejo técnico de cada tipo de agua, en vista de que tienen características diferentes que son básicas para un tratamiento diferenciado, así como para efectos de la nueva disponibilidad de estas aguas. Los contaminantes que contiene el agua residual descargada, situados en la vecindad relativa de la planta industrial que dispone del recurso, son un factor determinante que configura el buen o mal funcionamiento de los sistemas hidrológicos.

De acuerdo con el cuadro 3, en todas las RHA el mayor volumen de las descargas de agua residual proviene de agua autoabastecida para toda la industria: 1,418 hectómetros cúbicos tienen como origen dicha fuente y representan 58 por ciento del suministro de agua autoabastecida. Las aguas residuales del agua potable constituyen para todas las RHA un volumen de 103.95 hectómetros cúbicos y significan el 30 por ciento del agua potable suministrada. Este último porcentaje es menor, debido a que el agua potable se usa preferentemente para consumos consuntivos por lo que genera menos aguas residuales.

Durante 2002, las cuatro RHA más industrializadas del país descargaron aguas residuales en volúmenes que oscilaron entre los 25.96 hectómetros cúbicos para el caso del Valle de México, hasta los 135.73 hectómetros cúbicos para el caso de la Región IV Balsas. Existen asimismo, otras RHA con menor presencia industrial como es el caso de la Región III Pacífico Norte, que registró descargas de aguas residuales del orden de 491 hectómetros cúbicos.

El número de conexiones de las industrias para descarga de aguas residuales en cada RHA presenta una alta correlación con los volúmenes de descarga de agua residual. De acuerdo con el cuadro 4,

CUADRO 3  
 AGUA RESIDUAL GENERADA POR USO DE AGUA POTABLE  
 Y AUTOABASTECIDA, 2002

<i>Región hidrológico administrativa</i>	<i>Agua residual por uso de agua potable (hm<sup>3</sup>)</i>	<i>Agua residual por uso de agua autoabastecida (hm<sup>3</sup>)</i>	<i>Agua residual total generada (hm<sup>3</sup>)</i>
I Península de Baja California	5.6	158.9	164.5
II Noroeste	16.9	8.5	25.5
III Pacífico Norte	2.8	488.5	491.3
IV Balsas	16.4	119.3	135.7
V Pacífico Sur	3.2	7.8	11.0
VI Río Bravo	5.1	34.6	39.7
VII Cuencas Centrales del Norte	3.9	9.4	13.3
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	27.5	49.5	77.0
IX Golfo Norte	5.4	83.2	88.7
X Golfo Centro	3.5	365.8	369.4
XI Frontera Sur	1.7	6.2	7.9
XII Península de Yucatán	0.4	71.7	72.2
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	11.3	14.7	26.0
Totales	104.0	1,418.1	1,522.1

Nota: Los datos del agua residual generada por uso de agua potable son de datos regionalizados y estimados para el año en cuestión.

Fuente: Registro Público de Derechos de Agua (Repda), Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA), México, 2002.

INEGI, *I Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua, Censo Económico 1999*, México, 2000.

durante 2002 existían en el país 83,037 conexiones para descarga de aguas residuales de la industria, 80,976 corresponden a la industria que descarga a la red del alcantarillado y 2,061 son permisos de descarga directa a cuerpos de agua superficiales, principalmente de los usuarios de agua autoabastecida. El 97.5 por ciento de las conexiones de descarga se lleva a cabo por la red de alcantarillado, y el resto –2.5 por ciento– se trata de descargas directas. Esta información da cuenta de la magnitud de puntos de descarga a supervisar por parte de la autoridad competente y sugiere la idea de que es factible contar con un buen sistema de regulación de las descargas si la política ambiental se lo propusiera.

De acuerdo con la gráfica 4, las RHA que tienen el mayor número de conexiones de descarga de aguas residuales son las que han mostrado mayor presencia de la industria del país, y son en orden de importancia, las RHA Lerma-Santiago-Pacífico, Río Bravo, Balsas, Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala. También destaca la península de Baja California por su número de conexiones, que sugiere una creciente importancia de la industria. Este sistema de conexiones de descargas indica que el agua suministrada a la industria, ya sea por la red pública de agua potable o por autoabastecimiento, tiene como medio de retorno la red del alcantarillado municipal en donde se combina con las descargas domésticas, del comercio y de los servicios.

CUADRO 4  
CONEXIONES AL ALCANTARILLADO DE LA INDUSTRIA  
POR USO DE AGUA POTABLE Y AUTOABASTECIDA, 2002

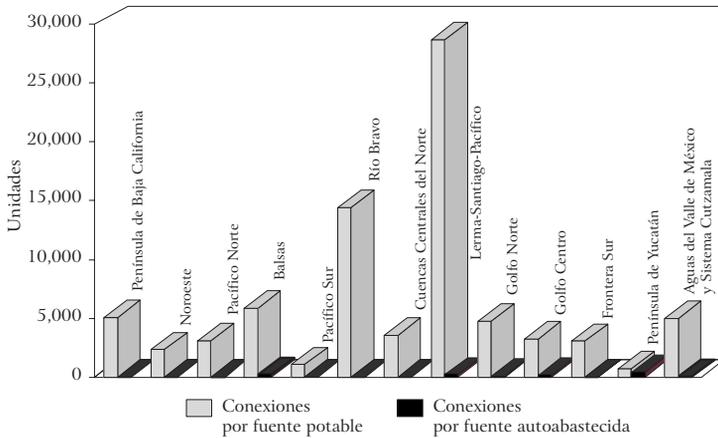
<i>Región hidrológica administrativa</i>	<i>Conexiones al alcantarillado de agua residual por fuente potable</i>	<i>Títulos de permisos de descarga de agua residual por fuente autoabastecida</i>	<i>Total de conexiones al alcantarillado</i>
I Península de Baja California	5,070	94	5,163
II Noroeste	2,349	55	2,404
III Pacífico Norte	3,121	46	3,167
IV Balsas	5,883	304	6,187
V Pacífico Sur	1,084	20	1,104
VI Río Bravo	14,386	98	14,484
VII Cuencas Centrales del Norte	3,573	39	3,612
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	28,646	294	28,940
IX Golfo Norte	4,787	158	4,945
X Golfo Centro	3,261	245	3,506
XI Frontera Sur	3,079	75	3,154
XII Península de Yucatán	721	490	1,211
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	5,019	142	5,161
Totales	80,976	2,061	83,037

Fuente: Registro Público de Derechos de Agua (Repda), Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA), México, 2002.

INEGI, *I Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua, Censo Económico 1999*, México, 2000.  
Semarnat, Conagua, *Estadísticas del agua en México*, México, 2004.

## GRÁFICA 4

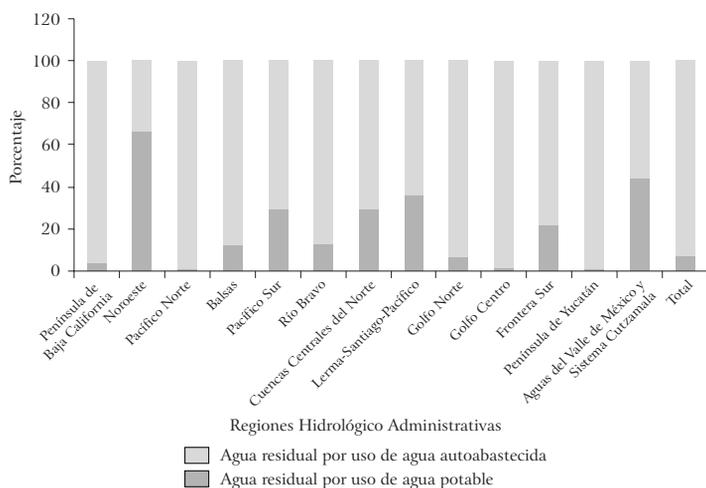
CONEXIONES PARA DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES  
INDUSTRIALES POR FUENTE DE ABASTECIMIENTO  
(Número de conexiones en 2002)



Fuente: Registro Público de Derechos de Agua (Repda), Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA), México, 2002. Semarnat, Conagua, *Estadísticas del Agua en México*, México, 2004. INEGI, *I Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua, Censo Económico 1999*, México, 2000.

Las aguas residuales combinadas de los diversos usuarios, y conducidas por la red del drenaje municipal, se descargan finalmente a los cuerpos de agua superficiales de jurisdicción federal. Estas descargas deben cumplir con la NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales; sin embargo, en el país la inmensa mayoría de ciudades y municipios no cumplen con la norma así como tampoco pagan las multas que este incumplimiento contempla. Esta situación explica gran parte del problema de la contaminación de ríos, lagos, etcétera, en México. El agua de la industria que se descarga a dichos sistema de desagüe proviene de agua autoabastecida (véase gráfica 5), lo que es cierto para todas las RHA con excepción de la RHA II Noroeste que descarga más agua residual con origen en el agua potable.

GRÁFICA 5  
 AGUA RESIDUAL GENERADA POR REGIÓN HIDROLÓGICO ADMINISTRATIVA POR TIPO DE FUENTE, 2002  
 (Participación de sus descargas)



Fuente: Registro Público de Derechos de Agua (Repda), Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA), México, 2002. Semarnat, Conagua, *Estadísticas del Agua en México*, México, 2004. INEGI, *I Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua, Censo Económico 1999*, México, 2000.

### *Tratamiento de agua residual industrial y su reuso por región hidrológica administrativa*

Los volúmenes de aguas residuales de las empresas industriales y su nivel de tratamiento en cada RHA son una variable importante que permite conocer cómo cada región cuida sus cuerpos de agua y sus ecosistemas naturales. Este análisis parte de evaluar cómo se suministra el agua a las empresas y cómo se va usando hasta el punto en que retorna a los cuerpos de agua –con o sin tratamiento. Para analizar lo anterior, se describe la situación por región con los siguientes indicadores: porcentaje de agua residual sobre agua suministrada a la industria, porcentaje de agua tratada sobre sus aguas residuales y porcentaje de agua de reuso sobre agua tratada.

En este caso, la norma que regula la calidad del agua de reuso<sup>13</sup> es la NOM-003-ECOL-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. El agua reciclada en las industrias y el agua de reuso industrial presentan diferentes grados de tratamiento que dependen de las características de los procesos productivos para la que se destina.

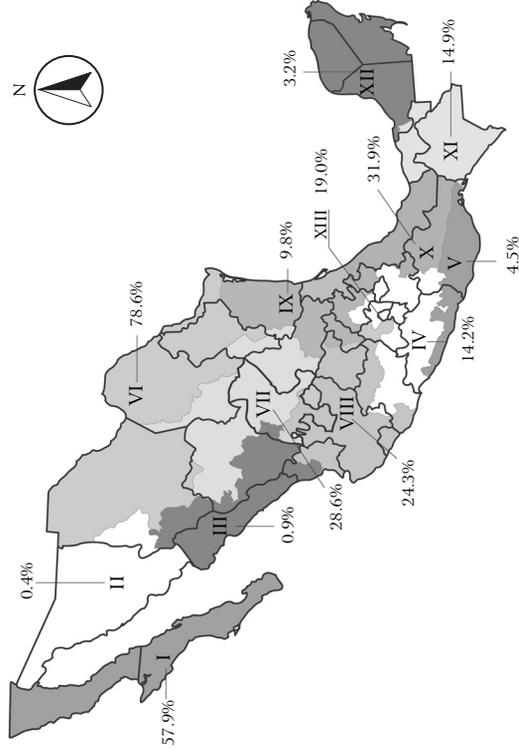
Una de las causas más importantes de la contaminación de los cuerpos de agua superficiales en México ocurre por las descargas de aguas residuales sin tratamiento de los diversos usos. En lo que corresponde a la industria, su aportación a este problema es grande. En todo el sector, sólo son tratadas 15 por ciento de sus descargas, aun cuando existe obligatoriedad de cumplir con la norma NOM-002-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales en los sistemas de drenaje y alcantarillado, urbano o municipal, como se comentó en el apartado anterior. La importancia del tratamiento de las aguas industriales se debe a que sus contaminantes son en su mayoría de tipo inorgánico, lo que provoca mayores daños a los cuerpos de agua. Los contaminantes inorgánicos son difíciles de eliminar y representan el mayor riesgo a los ecosistemas y a la salud. En muchos casos, son peligrosos y son los que más regulación merecen por parte de la autoridad ambiental. En este apartado se pretende generar indicadores que relacionen el comportamiento de la industria en las diferentes regiones respecto al daño a los sistemas hidrológicos y naturales por la contaminación que generan sus descargas de aguas residuales. En este caso los indicadores son los índices de tratamiento (proporción de agua tratada/agua residual), y el nivel de tratamiento en las aguas residuales.

En el mapa 2 se presentan los índices de tratamiento de las aguas residuales industriales para cada RHA. Se observa que los mayores índices de tratamiento se presentan en seis RHA ubicadas en

<sup>13</sup> Son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.

## MAPA 2

# ÍNDICE DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL POR REGIÓN HIDROLÓGICO ADMINISTRATIVA (Proporción agua tratada/agua residual)



Región administrativa	%
VI Río Bravo	78.6
I Península de Baja California	57.9
X Golfo Centro	31.9
VII Cuencas Centrales del Norte	28.6
VIII Lerma-Santiago Pacífico	24.3
XIII Valle de México	19
XI Frontera Sur	14.9
IV Balsas	14.2
IX Golfo Norte	9.8
V Pacífico Sur	4.5
XII Península de Yucatán	4.2
III Pacífico Norte	0.9
II Noroeste	0.4

Fuente: Elaboración y estimaciones propias a partir de Semamat, *Estadísticas del Agua en México*, Conagua, México, 2004. INEGI, *I Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua. Censo Económico 1999*, México, 2000. Sistema de Cuentas Nacionales de México (SCNM), *Cuentas de Bienes y Servicios 1988-1999 y 1997-2002*, Aguascalientes, Aguascalientes, México, INEGI, 2002.

el centro norte del país, en donde la disponibilidad de agua es menor. Este comportamiento sugiere una correlación entre baja disponibilidad de agua y mayores coberturas de tratamiento; sin embargo, no se puede dejar de considerar que aún existen RHA que no siguen este comportamiento.

De las cuatro regiones más industrializadas del país, sólo tres presentan los índices más altos de tratamiento, sin que esto indique que su nivel sea el más recomendable. La Región VI Río Bravo es la que alcanza el más alto del país, con un porcentaje de 78.6 por ciento; la Región VIII Lerma-Santiago-Pacífico presenta un nivel de tratamiento del 24.3 por ciento, y la Región XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala un porcentaje de 19 por ciento. La Región IV Balsas, que tiene un desarrollo industrial muy importante, muestra 14.2 por ciento de tratamiento de sus aguas residuales, lo que la ubica abajo del nivel promedio del país. En esta última región se conjuga una problemática grave respecto al deterioro de los cuerpos de agua: grandes volúmenes de agua residual industrial descargados sin ningún tratamiento.<sup>14</sup>

Las RHA con mayor presencia industrial son las que se encuentran amenazadas por los elevados niveles de contaminación que presentan sus cuerpos de agua superficiales; el cuadro 5 presenta información sobre la calidad de los cuerpos de agua superficiales para cada RHA. De acuerdo con el cuadro mencionado, la Región XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala reportó en 2003 que 69 por ciento de sus estaciones de monitoreo presentaron aguas con una calidad calificada como contaminada o fuertemente contaminada (véase anexo); la Región VIII Lerma-Santiago-Pacífico reportó 50 por ciento de sus estaciones de monitoreo con la misma mala calidad de sus aguas, y en la Región IV Balsas, 57 por ciento de sus estaciones de monitoreo son calificadas con el mismo indicador, y como se comentó anteriormente, estas tres regiones se caracterizan por tener una elevada presencia de industria. Existen otras dos RHA en donde sus cuerpos de agua superficiales

<sup>14</sup>Existe gran número de denuncias en todos los medios informativos sobre los elevados niveles de contaminación de sus cuerpos de agua en esta cuenca.

CUADRO 5  
 CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA  
 SUPERFICIALES EN MÉXICO, 2003  
 (Porcentaje de estaciones de monitoreo por región  
 hidrológico administrativa de acuerdo con la  
 demanda química de oxígeno-DQO)\*

<i>Región hidrológico administrativa</i>	<i>Excelente a aceptable** %</i>	<i>Contaminada a fuertemente contaminada** %</i>	<i>Total %</i>
I Península de Baja California	31	69	100
II Noroeste	nd	nd	nd
III Pacífico Norte	67	33	100
IV Balsas	43	57	100
V Pacífico Sur	100	0	100
VI Río Bravo	96	4	100
VII Cuencas Centrales del Norte	100	0	100
VIII Lerma-Santiago Pacífico	50	50	100
IX Golfo Norte	93	7	100
X Golfo Centro	92	8	100
XI Frontera Sur	94	6	100
XII Península de Yucatán	93	7	100
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	31	69	100
Total nacional	69	31	100

Notas: nd: dato no disponible.

\* La evaluación de la calidad del agua para la demanda química de oxígeno (DQO) se realizó en 309 estaciones de monitoreo a escala nacional, y muestra la afectación por la presencia de centros urbanos e industriales que por sus características, producen desechos líquidos de calidad diferente.

\*\* Los criterios de calidad del agua conforme a la DQO son: excelente, buena calidad, aceptable, contaminada y fuertemente contaminada. Para mayor información véase Anexo.

Fuente: *Síntesis de las Estadísticas del Agua en México, 2005*, Conagua, México, 2005.

también muestran un elevado porcentaje de contaminación, sin embargo, la presencia de la industria manufacturera no es relevante: la RHA I Península de Baja California con 69 por ciento de estaciones de monitoreo con calidad del agua contaminada o

fuertemente contaminada y la RHA III Pacífico Norte en donde 33 por ciento de sus estaciones de monitoreo presentan aguas contaminadas y fuertemente contaminada, por lo que se sugiere que dicha contaminación se genera, además de por la industria, por la presencia de otros usuarios del agua, tanto de actividades económicas como de tipo doméstico.

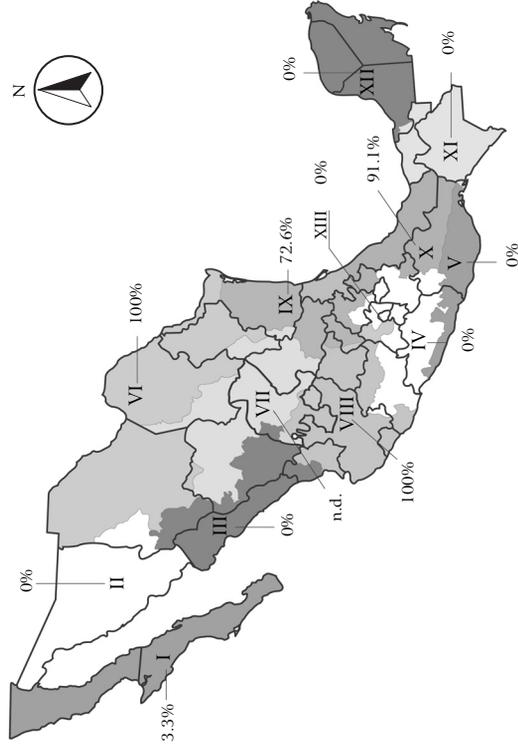
El agua tratada es otra fuente de suministro por lo que es considerada otra fuente de extracción, y dado que los efluentes de aguas residuales urbanas son probablemente la única “fuente natural” cuya disponibilidad global se halla en aumento, la importancia socioeconómica de este tema es evidente para los centros urbanos de rápido desarrollo. El agua tratada, en vez de ser descargada a los ductos de drenaje, puede ser destinada a la realización de otras actividades de tipo industrial o para uso urbano y municipal dependiendo del nivel de su tratamiento. Una política ambiental que pretenda racionalizar el cuidado de los cuerpos de agua de cada región debe inducir este comportamiento por parte de la industria con instrumentos económicos y regulatorios, lo que ya es una práctica común en países desarrollados.

En México estamos muy lejos de que el reuso del agua sea una práctica cotidiana. De acuerdo con lo que se señala en el mapa 3, los porcentajes de reuso del agua industrial tratada por RHA son prácticamente igual a cero, o simplemente no existe información disponible al respecto, lo que se interpreta como un desinterés en contabilizar el dato en la RHA correspondiente.

En cinco regiones, no obstante, se observa un valor de este indicador. Destaca el caso de dos de ellas de alto grado de industrialización, en particular las RHA VI Río Bravo y VIII Lerma-Santiago-Pacífico que presentan elevados índices de reuso de agua tratada. Las otras tres, consideradas de baja presencia industrial, son Baja California, Golfo Norte y Golfo Centro. El agua tratada que se recicla libera a las fuentes de agua de primer uso que son sujetas de una elevada presión. En este punto se debe aclarar que la estadística no es muy buena, y que existe un gran problema para integrar esta información, por lo que podrían existir ajustes a los indicadores en función de nueva información generada.

MAPA 3

REUSO DEL AGUA TRATADA POR REGIÓN HIDROLÓGICO ADMINISTRATIVA, 2002



Región administrativa	%
I Península de Baja California	3.3
II Noroste	0
III Pacífico Norte	0
IV Balsas	0
V Pacífico Sur	0
VI Río Bravo	100
VII Cuencas Centrales del Norte	n.d.
VIII Lerma-Santiago Pacífico	100
IX Golfo Norte	72.6
X Golfo Centro	91.1
XI Frontera Sur	0
XII Península de Yucatán	0
XIII Valle de México	0

Fuente: Elaboración y estimaciones propias a partir de Semamat, *Estadísticas del Agua en México*, Conagua, México, 2004. INEGI, *I Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua. Censo Económico 1999*, México, 2000. Sistema de Cuentas Nacionales de México (SCNM), *Cuentas de Bienes y Servicios 1988-1999 y 1997-2002*, Aguascalientes, Aguascalientes, México, INEGI, 2002.

## RESUMEN Y REFLEXIONES

LOS RECURSOS hídricos en México están sujetos a una presión moderada, puesto que únicamente se extrae 15 por ciento de la disponibilidad natural de agua con que cuenta el país, sin embargo, el problema que se presenta es la desigual distribución. En tanto que en el norte se extrae 40 por ciento de la disponibilidad natural, lo que la califica con un grado de presión alta sobre sus acuíferos, en el sur ocurre una situación opuesta; es decir, una disponibilidad natural alta y una extracción que explica una presión baja sobre sus acuíferos.

En 2002, la industria manufacturera en México extrajo 2,774.54 hectómetros cúbicos de agua. Este volumen representó 2.2 por ciento de la extracción total realizada por dicho sector, incluyendo las industrias termoeléctrica e hidroeléctrica. No obstante la baja participación de la industria manufacturera, el papel fundamental que tiene este sector en la dinámica de crecimiento del país en su conjunto permite estimar que el número de establecimientos industriales seguirá creciendo a un ritmo de 5 por ciento promedio anual, como ha sido el comportamiento de los establecimientos industriales en los últimos 10 años, y sus requerimientos de agua aumentarán considerablemente por lo que es necesario tener una política sustentable del recurso para garantizar el abastecimiento, y por supuesto, suministrar los requerimientos paralelos de otros sectores de la economía y la sociedad.

La importancia de esta industria es clara, si se considera que para 2002 aportó una cuarta parte del PIB del país con 460,000 establecimientos, la mayoría de éstos de tamaño pequeño y microempresas.

Los grandes centros industriales del país se asientan en las regiones centro, centro-norte y noroeste, y es en éstas en donde se presenta parte de la lucha entre sectores para el suministro del agua; en contraste, la industria en el sur del país no es significativa respecto a los otros sectores usuarios y en general se puede afirmar que no enfrenta fuertes restricciones para su abastecimiento.

La principal fuente de abastecimiento del agua en la industria –87.76 por ciento del total– es el autoabastecimiento, que se realiza a partir de la obtención de derechos de explotación de cuerpos de agua subterráneos y superficiales. El 12.24 por ciento restante se obtiene por el sistema de abastecimiento de la red de agua potable de los municipios o de las áreas urbanas correspondientes. El grado de explotación de los pozos de agua que usa la industria no es bien regulado y no se cuenta con información para un análisis más adecuado. La competencia por agua potable también existe, principalmente en los grandes centros urbanos como son las áreas metropolitanas de la ciudad de México y de Monterrey.

La industria genera 1,522.1 hectómetros cúbicos de aguas residuales, que se descargan principalmente a los ductos del sistema de drenaje municipal: del total de conexiones de descarga de aguas residuales, 87.5 corresponden a conexiones a la red de drenaje municipal. Este hecho, en teoría permite que los diversos gobiernos locales se encarguen de regular la cantidad y calidad de las descargas de aguas residuales industriales; sin embargo, el bajo nivel de tratamiento de las aguas residuales industriales en todo el país –que es de sólo 15 por ciento– sugiere un elevado incumplimiento de las norma NOM-002-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales en los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal. Existen 2,061 permisos de descarga directa a cuerpos de agua otorgados a la industria y su reducido número sugiere que es posible la aplicación de una decidida política de control de la cantidad y calidad de descarga a los ductos de jurisdicción federal. El bajo nivel de tratamiento de las aguas industriales corresponde al elevado índice de contaminación de los cuerpos de agua superficiales en el país, lo que es grave considerando el tipo de contaminación que genera la industria.

El nivel de reuso del agua tratada es muy bajo: 198.7 hectómetros cúbicos para todo el país; el porcentaje de reuso en relación con el volumen de agua tratada es de 85 por ciento, lo que parece elevado debido al bajo volumen de tratamiento de aguas.

Las regiones en que se ubica la industria en México son básicamente las cuatro RHA que producen 65 por ciento del PIB industrial del país, y que señaladas en orden de importancia son: la Región XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala que representa una cuarta parte del total de la producción industrial del país; la Región VIII Lerma-Santiago-Pacífico con 17 por ciento; la Región VI Río Bravo con 15 por ciento, y la IV Balsas con 9 por ciento. Estas cuatro regiones se ubican en la región centro y hacia el norte y noroeste del país, y son zonas en las que el agua enfrenta a sus acuíferos a una alta presión para satisfacer la demanda de los diversos actores usuarios de agua.

De las cuatro regiones industrializadas, tres se comportan dentro del perfil que presenta la industria del país; sólo la Región VI Río Bravo se aleja de este comportamiento y logra un perfil de industria que busca un desarrollo sustentable respecto al recurso hídrico. La región Río Bravo presenta el comportamiento más racional en el uso del agua, tal vez debido a la baja disponibilidad natural que enfrenta, tanto es así que esta región se caracteriza por un uso eficiente del agua en la industria, un nivel de tratamiento de sus aguas residuales del orden del 87 por ciento, y un porcentaje de reuso del agua tratada del orden del 100 por ciento, lo que deja claro que el cuidado del recurso agua depende del interés que el gobierno y el sector privado tengan en cuanto a la importancia del recurso, aunado al elevado costo del agua como insumo industrial.

Las nueve regiones restantes producen en conjunto 35 por ciento del PIB y la mayoría crece con el patrón no sustentable del agua tal y como se comporta la industria en su conjunto.

El diagnóstico sobre el desempeño ambiental de la industria respecto al recurso agua –tanto en el país como en casi todas las RHA– plantea la urgencia de revisar la política hidráulica que ha prevalecido en la industria hasta la fecha. Es urgente aplicar medidas que lleven a un uso más eficiente del agua, así como a alcanzar niveles de tratamiento cercanos al 100 por ciento en todas las regiones, lo cual evidentemente implica aumento en los costos tanto para el sector privado como para el gobierno, y en última instancia para la población, la cual finalmente es la que absorbe el proceso

de internalización de las externalidades ambientales generadas por la industria; sin embargo, retrasar este proceso lleva a dar un paso más costoso de regeneración de los cuerpos de agua contaminados, o bien a aceptar la pérdida de cuerpos de agua en las regiones en donde los niveles de contaminación son extremos. Si la situación continúa como hasta ahora, en el largo plazo se verá reflejada en severos límites al crecimiento económico, puesto que los sistemas naturales –que son fuente del mismo recurso– se están dañando. Para evitar lo anterior, es preciso generar un proceso virtuoso que permita alcanzar un crecimiento sustentable.

Es deseable una política hídrica en la que se consideren los beneficios de la sociedad en su conjunto, y en la que las decisiones se tomen pensando en los intereses de todos los involucrados: los organismos operadores, los consejos de cuenca, los tres niveles de gobierno y las instancias técnicas, los cuales deberán dirigir la inversión al mantenimiento de la infraestructura existente, misma que consiste en la ampliación en un primer momento de las plantas de tratamiento de agua residual; conservar los recursos hídricos, manteniendo coherencia entre la tasa de uso y consumo y la tasa de restitución; sugerir formas que aumenten la captación del agua de lluvia, y en general, comenzar a simplificar la gestión hidráulica estratificando el recurso con arreglo a su calidad. En pocas palabras, racionalizar las formas de uso dadas al agua.

Es necesario conjugar todos los instrumentos que frenen los niveles de demanda de agua industrial. Se requiere desde aumentar el reciclamiento del agua por las empresas individuales y lograr descargas con una calidad aceptable, hasta impulsar campañas de educación permanente acerca de la bondad y la condición indispensable del agua, pasando por los incentivos individuales –empresas– o colectivos –ramas industriales–, mediante ciertas exenciones a los impuestos a los activos fijos, la aceleración contable de la depreciación de la maquinaria que induzca el cambio técnico, o bien reduciendo impuestos a la importación de tecnología que reduzca explícitamente el uso de los recursos hídricos. En fin, otorgando premios a la contribución de la sustentabilidad ambiental, similares a los que ya se otorgan. En ese contexto, parece claro que la disponibilidad de agua para la industria aumentaría, se modi-

ficarían las formas de uso y aumentaría la tasa de eficiencia mediante el reuso del agua.

Las tecnologías de la información se presentan como elementos imprescindibles en la toma de decisiones, en vista de que deben tomarse como un apoyo fundamental de la investigación permanente basada en la vigilancia sistemática, que permita una toma de decisiones bien informada y objetiva. La investigación especializada conjuga bien con el uso de las tecnologías de la información con el fin de evaluar periódicamente, sugerir modificaciones en el tratamiento de ciertos temas y plantear nuevas perspectivas que apunten la política de demanda y consoliden, en una primera etapa, la disponibilidad del recurso sin aumentos significativos en la extracción de nuevos recursos hidráulicos. Los organismos operadores y los consejos de cuenca deben construir bases de datos propias y descentralizadas, de tal modo que tengan a la mano la información precisa para la oportuna y adecuada toma de decisiones.

Parecería conveniente que cada empresa contara con su planta de tratamiento o que grupos de empresas la compartieran, lo que les permitiría descargar agua residual con la calidad que exigen las normas, o incluso mejor. Sin embargo, para los establecimientos industriales medianos y pequeños, generalmente orientados al mercado interno, esta posibilidad resulta costosa, realidad a la que el gobierno debe dar respuesta con nuevas y originales propuestas. Una es que el gobierno trate las aguas residuales de todo tipo antes de descargar a los cuerpos de agua de jurisdicción federal y el costo de su tratamiento lo cobre a la industria con base en el tipo de contaminante y los niveles de contaminación de sus descargas. Otra es limitar los permisos para actividades muy contaminantes en regiones específicas en donde se puedan aumentar los controles de descarga y se puedan ofrecer sistemas de tratamiento a la industria en conjunto.

En esta perspectiva, y puesto que ha comenzado a emerger en los últimos años un importante mercado ambiental, el gobierno debería trabajar en concierto con las empresas que configuran ese mercado de servicios ambientales para la industria, con el objeto de apoyar el reciclamiento, práctica que aumentaría, sin duda, la magnitud de la disponibilidad de los recursos hídricos. En tales

condiciones, deben promoverse los servicios ambientales generalizados al conjunto de la industria, así como una amplia vigilancia con fines de fiscalización sistemática.

En la política hidráulica para la industria el concepto de eficiencia desempeña un papel muy importante. Hay que tener como objetivo el que este sector use el agua con eficiencia y que internalice las externalidades ocasionadas a la sociedad. La política hidráulica no puede aparecer desvinculada de la política pública y mucho menos aún del conjunto de prácticas que configuran el espectro de la política ecológica; esto es, debe ser integral, conectada con el cuidado de bosques, con la biodiversidad, con los fenómenos hidrometeorológicos que pueden suavizarse si se considera la deforestación en muchos casos, y con la emisión de gases que producen el efecto invernadero y contribuyen al cambio en el clima.

Las formas concretas que adopte esta visión integral de la política hidráulica dependerán de las condiciones de cada región. Con esta conciencia, no parece vano emprender un proceso de reforestación de las zonas altamente depredadas, y una política de cuidado real de nuestros recursos forestales, usando todos los que se tengan al alcance, tanto nacionales como internacionales.

## ANEXO

### ESCALA DE CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA, CONFORME A LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

<i>DQO</i>	<i>Criterio</i>	<i>Descripción</i>
Menor o igual a 10 mg/L	Excelente	No contaminada.
Mayor a 10 mg/L y menor o igual a 20 mg/L	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable.
Mayor de 20 mg/L y menor o igual a 40 mg/L	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.

(Continuación)

DQO	Criterio	Descripción
Mayor de 40 mg/L y menor o igual a 200 mg/L	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Mayor a 200 mg/L	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

Fuente: Conagua, Semarnat, *Estadísticas del Agua en México*, México, 2004.

## BIBLIOGRAFÍA

- BACKHAUS, J., *The Quest for Ecological Tax Reform; a Schumpeterian Approach to Public Finance*, Maastricht, Netherlands, International J.A. Schumpeter, Society, 1995.
- BAUMOL, W.J. y W.E. Oates, *The Theory of Environmental Policy*, 2a. ed., Cambridge, Mass, Cambridge University Press, 1995.
- , *The Free-Market Innovation Machine*, Princeton y Oxford, Princeton University Press, 2000.
- BLAUG, M., *Economic Theory in Retrospective*, Cambridge, Cambridge University Press, 1997.
- BOVENBERG, L.A. y S. Smulders, "Transitional Impacts of Environmental Policy in an Endogenous Growth Model", *International Economic Review*, 37 (4), noviembre de 1996, pp. 861-893.
- BOWERS, J., *Sustainability and Environmental Economics*, Essex, Addison Wensley Longman Limited, 1977.
- COMISIÓN MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL DESARROLLO, *Nuestro futuro común*, Madrid, España, Alianza Editorial, 1987.
- FISHER, E. y C. van Marrewijk, *Pollution and Economic Growth*, Department of Economics, The Ohio State University, 1997, [www.Economics.sbs.ohio-state.edu/papers/wp97.htm](http://www.Economics.sbs.ohio-state.edu/papers/wp97.htm)
- FOSTER, S. et al., *Las aguas subterráneas en el desarrollo urbano; Evaluación de las necesidades de gestión y formulación de estrategias*, Washington, DC., Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento-Banco Mundial, documento técnico del Banco Mundial, núm. 390, 1988.

- \_\_\_\_\_ y P.J. Chilton, "Downstream of Downtown: Urban Wastewater as Groundwater Recharge", *Hidrogeology Journal*, (12), 2004, pp. 115-120.
- FREDERICK, K.D. et al., *Economic Values of Freshwater in the United States. Resources for the Future*, Washington, DC., 1996, Discussion paper 97-03.
- HOFKES, M., "Modeling Sustainable Development: An Economy-Ecology Integrated Model", *Economic Modeling*, 13 (3), 1996, pp. 315-462.
- JACOBO, M.A. y E. Saborío, *La gestión del agua en México: Los retos para el desarrollo sustentable*, México, Miguel Ángel Porrúa-UAM, 2004.
- KOLSTAD, C., *Environmental Economics*, New York, Oxford University Press, 2000.
- LINCOLN, R.J. et al., *Dictionary of Ecology, Evolution and Systematics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1993.
- MEADOWS, D.H. et al., *Beyond the Limits; Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future*, Vermont, Chelsea Green Publishing Company Post Mills, 1992.
- MORALES, J.A. y L. Rodríguez, "Perspectivas de Seguridad Nacional: el agua y la estructura industrial en México", en R. Constantino (ed.), *Agua, seguridad nacional e instituciones. Conflictos y riesgos para el diseño de políticas públicas*, México, Editorial IILSEN-UAM, 2006, pp. 205-311.
- OCDE, "Water: Performance and Challenges in OECD Countries", *Environmental Performance Reviews*, París, Francia, 2003.
- PIGOU, A.C., *The Economics of Welfare*, New Brunswick (EUA) y Londres (Reino Unido), 2002.
- RAMOS OLMOS, Raudal, Rubén Sepúlveda Márques y Francisco Villalobos Moreto, *El agua en el medio ambiente; muestreo y análisis*, México, Plaza y Valdés-Universidad Autónoma de Baja California, 2003.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, *Diccionario de la Lengua Española*, 21a. ed., Madrid, España, 1992.
- REYNOLDS, K.A., "Calidad del agua a lo largo de la frontera México-Estados Unidos", *Agua Latinoamericana*, noviembre/diciembre de 2002, [http://www.borderecoweb.sdsu.edu/ewf/s\\_drct\\_pgs/b/bep.html](http://www.borderecoweb.sdsu.edu/ewf/s_drct_pgs/b/bep.html)
- ROGERS, P., *America's Water: Federal Roles and Responsibilities*, Cambridge, Mass, The MIT Press, 1993.
- SANTOS, J., *Acción pública organizada: El caso del servicio de agua potable en la zona conurbada de San Luis Potosí*, El Colegio de San Luis, Miguel Ángel Porrúa-UAM, 2004.

- SÁINZ, J. y M. Becerra, *Los conflictos por agua en México*, México, Instituto Nacional de Ecología, s/f, <http://ine.gob.mx>
- SAMPAT, P., *Deep Trouble: The Hidden Threat of Groundwater Pollution*, Washington, DC, Worldwatch Institute, 2000.
- The Coalition Against Water Privatization, The Anti-Privatization Forum, The Phiri concerned Residents Forum, *The Struggle Against Silent Disconnections: Prepaid Meters and the Struggle for Life in Phiri*, Soweto, Sudáfrica, s/e, 2004.
- THE WORLD BANK (2004), *Water Resources Sector Strategy; Strategy Directions for World Bank Engagement*, Washington, DC, The World Bank.
- THOMPSON, S.A., *Water, Use, Management and Planning in the United States*, Nueva York, Academic Press, 1999.
- VAN DER VOET, E. *et al.*, "Dematerialization: Not Just a Matter of Weight", *Journal of Industrial Ecology*, 8 (4), Cambridge, Massachusetts Institute of Technology y Yale University, 2005, pp. 121-137.
- VAN KOOTEN, G.C. y Erwin H. Bulte, *The Economics of Nature: Managing Biological Assets*, Mass, Malden, Blackwell Publishers, 2000.
- YASSIN, D., *Nile Basin Cooperation: A Review of The Literatura*, núm. 26, Goteborg, Elanders Digitaltryck AB. Nordiska Afrikainstitutet, 2003.

## FUENTES DOCUMENTALES

- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA), *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, diciembre de 1999, 2000 y 2001. Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA, *I Censo de Tratamiento y Suministro de Agua. Censo Económico, 1999, 2000.*
- \_\_\_\_\_, *XV Censo Industrial, Industrias Manufactureras*, México, 2000.
- REPDA (Registro Público de Derechos de Agua), *Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA)*, México, 2002.
- SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT), *Estadísticas del Agua en México*, México, 2004.

Cuarta parte

*Aspectos  
del sistema social y natural  
en la problemática  
del agua*

## CAPÍTULO 10

SILVIA ALICIA RODRÍGUEZ TAPIA\*

### *La importancia del suelo en el ciclo del agua*

#### INTRODUCCIÓN

LOS OCÉANOS son extraordinarios depósitos de agua. Cubren dos tercios de la Tierra, y por esta razón, al nuestro se le conoce como el “planeta acuático”. Todos hemos tenido la penosa oportunidad de constatar su inmensidad cada vez que las tormentas tropicales destrozan grandes barcos, o que los huracanes causan estragos en las costas.

A primera vista, los océanos son inmensos. Para la escala humana son enormes, pero para la escala de la Tierra, sólo son un ínfimo vestigio de humedad. Y si queremos comprender este hecho debemos recurrir a la cifras.

Si construyéramos un modelo del globo terrestre a escala (aproximadamente de tres metros de diámetro), los océanos tendrían una profundidad media de un milímetro. Las fosas oceánicas; es decir, las zonas más profundas, medirían menos de tres milímetros. La altura del Himalaya sería 30 por ciento menor que las fosas más profundas. En otra escala, si la Tierra tuviese el tamaño de un huevo de gallina, los océanos representarían menos de una gota de agua. Esta comparación, utilizada algunas veces por el capitán Jacques Cousteau, pone de manifiesto por qué nuestro planeta es tan vulnerable, por qué hay que cuidarlo.

\* Profesora-investigadora, en la Universidad de la Sierra Juárez, Oaxaca, México [silrota@gmail.com].

De acuerdo con la literatura geológica de la que disponemos, desde que el agua se formó en la Tierra, no existe una molécula más ni una molécula menos de ella. El agua se mueve continuamente de una reserva a otra, mediante procesos complejos de evaporación, condensación y precipitación, llamado ciclo hidrológico. Los océanos son la reserva de agua más importante en nuestro planeta, pues entre otras cosas, contienen 97 por ciento del agua de la Tierra. El 3 por ciento restante es el agua dulce, tan trascendental para nuestra supervivencia.

Ahora bien, el porcentaje de agua dulce que tiene la Tierra se reparte de la siguiente manera: 78 por ciento corresponde al hielo de los polos; debajo de la superficie –en sedimentos y rocas, como acuíferos– se encuentra 21 por ciento; el agua de los ríos, arroyos y lagos tiene menos de 1 por ciento, y la lluvia que cae sobre la superficie terrestre y la destinada al suelo y a las plantas, representa menos del 0.1 por ciento del total de agua de la Tierra.

De este último porcentaje de agua, tratará este escrito.

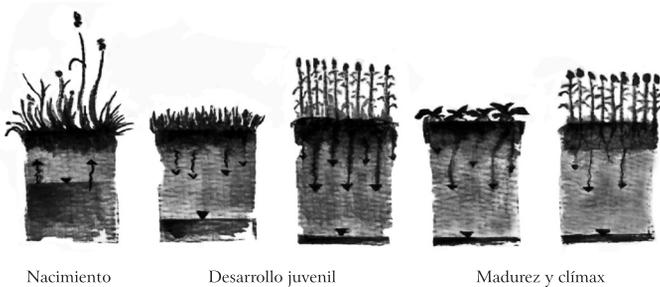
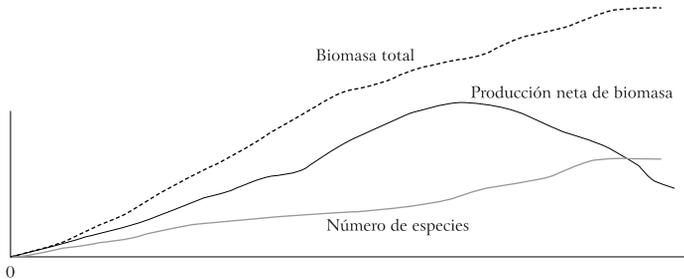
#### LA IMPORTANCIA DEL AGUA EN LA FORMACIÓN DEL SUELO

LA CANTIDAD e intensidad de la precipitación sobre la superficie de la Tierra dependen de varios factores que interactúan de manera diferente y conducen al agua a tomar diversos caminos. En una roca desnuda fracturada o con una superficie porosa, el agua penetrará hacia el subsuelo. Pero si la roca es impermeable, el agua se acumulará sobre ella o fluirá hacia otras partes. La superficie humedecida por el líquido vital –el solvente universal y transportador de nutrientes, así como el principal constituyente de todo lo vivo– permite que se instalen líquenes que coadyuvan a su intemperismo. La pequeña acumulación de materia orgánica y la alteración de la roca es el punto de partida que favorece la transformación de ésta a un sustrato fértil, del cual emana la vida terrestre sobre este planeta: el suelo.

El suelo es una mezcla de material geológico, organismos vivos y residuos de su interacción. Estos últimos le confieren sus caracte-

rísticas polifásicas, heterogéneas, fragmentarias, dispersivas y de porosidad. En la figura se resumen las características de desarrollo de los ecosistemas en general y del suelo en particular.

### INTERPRETACIÓN ARTÍSTICA DEL DESARROLLO DEL SUELO (La gráfica muestra las variaciones de la biomasa en cada periodo evolutivo)



Fuente: Gerd Wessolek, *Consecuencia de la regulación del agua subterránea*, 1993.

En su etapa inicial –nacimiento–, el suelo es un ecosistema frágil e inestable que presenta muchas características de la roca original: muestra un número de especies reducido con una red de alimentación simplificada; la acumulación orgánica y la germinación escasa de algunas semillas se origina en los intersticios, y la biomasa total y la producción neta de biomasa son también reducidas.

En su etapa juvenil, la evolución del suelo está determinada por el clima –régimen de lluvia y temperatura–, y se diferencia de la roca original por la formación incipiente de horizontes –zonas verticales con características específicas debidas al ambiente interno

del suelo—; el número de especies aumenta, así como la complejidad de las redes tróficas; la biomasa y la producción neta de la misma es mayor.

En esta etapa de desarrollo juvenil, el ecosistema es aún inestable y frágil, y puede retroceder a estadios más juveniles si determinadas condiciones adversas, como la erosión por la modificación de alguna cabecera fluvial, o acciones antropogénicas, incendios, etcétera, lo permiten.

En su etapa de madurez, el suelo es completamente diferente a la roca de la cual se formó y las características de los horizontes están bien definidas. Sus redes tróficas se complican y aumenta el número de especies. La biomasa total también aumenta considerablemente, pero la producción neta de la misma descende, respecto a los estadios anteriores de desarrollo juvenil. Paralelamente a ello, la vegetación que soporta el suelo se define, de acuerdo con la cantidad anual y la distribución estacional de la precipitación y entrada de energía solar en selvas, bosques boreales, praderas templadas, bosques tropicales estacionales y bosques tropicales, entre otros. El ecosistema ha madurado, es decir, ha llegado a un cierto equilibrio. El rejuvenecimiento hacia estadios anteriores, sólo se produciría por grandes cambios climáticos o por acciones antropogénicas “conscientes”.

La sustitución de la estructura geológica —propia de la roca— por la estructura del suelo es fundamental en el desarrollo de este último. La estructura del suelo se define como el arreglo natural de las partículas minerales individuales, la materia orgánica y los poros que conforman agregados estructurales de determinada forma y tamaño, que se repiten a través de cierto espesor de suelo y le confieren a éste una determinada estructura. Ésta, a su vez, está determinada por la proporción del tamaño de las partículas minerales —arena, limo y arcilla—, denominada textura del suelo. La textura determina la distribución del tamaño de los poros dentro de los agregados —microporos—, mientras que la estructura determina la distribución del tamaño de poros entre los agregados —macroporos—. La estructura del suelo se forma, entonces, como una función del movimiento hacia abajo del agua, la materia orgánica

y los componentes minerales. Así como el agua fluye siguiendo las vías de menor resistencia, las raíces también –de manera análoga– crecen siguiendo los poros entre las unidades estructurales, tendiendo a concentrarse alrededor de éstas. Un número de factores influyen en el tamaño y grado de expresión de las unidades estructurales de los suelos.

#### LA IMPORTANCIA DEL SUELO EN LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA

EL SUELO es, pues, un medio biológicamente activo, estructurado y autorregulado, que integra y disipa flujos de masa y energía. Además, regula y amortigua el suministro de nutrimentos y de agua para el crecimiento de la micro y macroflora y la fauna, al tiempo que determina el reparto del agua en flujos superficiales para ríos y lagos, y para el subsuelo.

El suelo es una estación de paso (*waystation*) en el ciclo hidrológico. El agua llega al suelo por efecto de las precipitaciones, y se infiltra por la influencia de la gravedad y la succión. El movimiento inicial es controlado por la estructura y la textura del suelo. Es decir, si un suelo está poco estructurado y su textura es de limo o arcilla, los grandes poros son escasos y el movimiento del agua es lento. Así como un suelo se seca, el movimiento del agua va ocurriendo en poros de menor tamaño, hasta un punto que el movimiento es completamente controlado por los microporos, haya poca agua, o no haya nada, entre las unidades estructurales –macroporos. El tamaño de los poros y la tortuosidad de los mismos –red de poros comunicados– determina la resistencia al flujo del agua. Los poros pequeños tienen una resistencia más alta al flujo que los poros grandes, por eso, los poros pequeños tienden a limitar el movimiento del agua.

De esta manera, antes de que ocurra el punto de saturación, empiezan a actuar fuerzas contrarias a la lixiviación gravitacional, tales como fuerzas adhesivas y cohesivas, y el agua se almacena dentro del suelo. Al excederse la capacidad de almacenamiento en el suelo, el agua se mueve hacia abajo a los acuíferos, o lateralmente a los sistemas de ríos.

La energía solar mueve el agua de la superficie del suelo y de las hojas evaporándola. Las raíces de las plantas colectan agua de profundidades mucho más grandes a las que accede la evaporación, así que el papel del flujo latente caliente, se extiende considerablemente para dirigir la transferencia hidrológica atmósfera-suelo.

El espesor del horizonte de suelo y el tamaño de los poros afectan el movimiento del agua a través del suelo. El movimiento del agua está en función de estos dos factores, principalmente, aunque en la humedad del suelo también influye la posición topográfica en la cual éste se encuentre. Por sus formas cóncavas y convexas, la humedad del suelo es diferente en terreno abrupto y plano con el consecuente impacto en el tipo de vegetación y productividad.

El suelo no sólo sirve para promover y sostener la vida en sus variadas formas y como participante del ciclo hidrológico. También actúa como un filtro viviente para los desperdicios generados por humanos y animales. Limpia, purifica y recicla el agua contaminada, adsorbiendo patógenos y toxinas, los cuales de otra manera, contaminarían y degradarían el ambiente irreparablemente. Ríos cristalinos y abundantes, manantiales limpios y constantes, acuíferos con suficiente agua y de buena calidad, son indicadores de la buena salud de los suelos.

#### LA ACCIÓN DEL HOMBRE SOBRE EL SUELO

LOS ESTADIOS de evolución del suelo –nacimiento, juventud y madurez– son comunes para todo ecosistema. Su conocimiento reviste mucha importancia a la hora de establecer la acción del hombre sobre el territorio. He aquí un ejemplo de lo anterior:

Sobre la ladera oeste del viejo volcán Tláloc, ubicado en el centro de México, se presentan suelos arcillosos de baja fertilidad y escasa cobertura vegetal y afloramientos rocosos. El corte profundo de valles y la presencia de minas a cielo abierto son otros elementos que configuran un paisaje y ambiente edáfico, que llama la aten-

ción por su degradación. Los suelos arcillosos originalmente fueron profundos y sostuvieron una vegetación de bosque de pinos. Durante la civilización azteca, en estos suelos se mantuvo una producción agrícola importante, suficiente para la nutrida ocupación humana anterior.

Con el advenimiento de la Conquista española, el suelo agrícola fue sometido a una práctica de cultivo más agresiva y el bosque de pinos se taló para hacer áreas de pastoreo. Al variar la cubierta vegetal original, variaron también las características, principalmente la pérdida de estructura, y por lo tanto, la capacidad reguladora del suelo en la distribución del agua de la lluvia. La reconstrucción del desarrollo de estos suelos fue realizada con base en estudios geomorfológicos, de génesis y de clasificación de suelos. El suelo más maduro mostró un grado de desarrollo del perfil poco intenso, es decir, estos suelos no alcanzaron su plena madurez, lo que evidencia la presencia importante de minerales primarios y sus productos de alteración, aun intemperizables.

En la actualidad, los pocos suelos relictos presentan características de truncamiento. Su destrucción se debió en gran parte a la práctica agrícola agresiva, y los flujos de agua que escurren cuando llueve ocasionaron la pérdida de suelo superficial debido al desequilibrio del ecosistema que provocó la degradación de éste de forma acelerada. Un suelo que se formó durante varios millones de años, fue destruido en pocas centurias por las actividades humanas.

Actualmente, algunos campesinos del centro de México, por la presión de contar con la tierra, se han visto obligados a cultivar sobre roca semiintemperizada expuesta, a la que denominan “tepetate”. Se han realizado acciones de conservación en estas zonas, pero aún predomina la intensa dinámica erosiva.

#### LA IMPORTANCIA DE LA CONSERVACIÓN DEL SUELO

EL HOMBRE, como especie social que utiliza el medio, se ha visto obligado a lo largo de su historia a provocar la regresión de los

ecosistemas maduros hacia estadios más jóvenes, con el fin de aumentar la producción del medio y facilitar su alimentación. Se admite que la producción agraria es necesaria y que la degradación de los sistemas naturales es inevitable. Sin embargo, esto debe hacerse con el suficiente conocimiento del medio, y de los suelos en concreto, de tal manera que se optimicen las producciones y se conserve el suelo evitando el rejuvenecimiento. Cualquier trabajo de planificación territorial, debería tener en cuenta la importancia del suelo, tanto como indicador de partida como de control o seguimiento posterior del impacto del nuevo uso.

Esta relación entre el hombre y el suelo ha representado la historia de las civilizaciones, cuyo cuidado del mismo ha dependido de las diferentes técnicas y metodologías utilizadas para su conservación, por cada civilización.

De esta manera, al proteger el suelo, se protege el agua, se protege la vida como la conocemos y se protege al planeta.

#### BIBLIOGRAFÍA

- COBERTERA, E., *Edafología aplicada*, Madrid, España, Cátedra, 1993, 326 pp.
- COUSTEAU, J., "Introduction", en Richard C. Vetter (comp.), *Oceanography, the last frontier*, EUA, Basic Books Incorporation, 1978.
- RADCLIFFE, D.E. y T.C. Rasmussen, "Soil Water Movement", en Malcolm E. Sumner (ed.), *Handbook of Soil Science*, Londres, Nueva York, Washington, DC, CRC Press, Boca Raton, 2000, pp. A87-A123.
- RODRÍGUEZ-TAPIA, S.A., *Génesis y evolución de los suelos arcillosos de la ladera oeste del cerro Tláloc (México)*, tesis doctoral, México, Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados, 2005, 122 pp.
- *et al.*, "Los tepetates de la ladera oeste del cerro Tláloc: saprolita sin endurecimiento edológico", *Terra Latinoamericana* (1), 2004, pp. 11-21.
- WILDING, L.P., "Pedology", en Malcolm E. Sumner (ed.), *Handbook of Soil Science*, Londres, Nueva York, Washington, DC, CRC Press, Boca Raton, 2000, pp. E1-E4.

JOSÉ IGNACIO FÉLIX DÍAZ ORTEGA\*

## *El agua en el contexto de las ciudades sustentables*

*La expresión desarrollo sostenible,  
nació en círculos internacionales de planificación  
cuando se comprendió que:*

- 1) El desarrollo se centra en los seres humanos y no en índices económicos y*
- 2) Que hemos tomado prestada la Tierra de nuestros hijos y  
de los hijos de nuestros hijos y debemos entregárselas  
en condiciones razonablemente utilizables.*

THE UNITED NATIONS UNIVERSITY

### PERSPECTIVAS EN ECOLOGÍA HUMANA COMO UNA APROXIMACIÓN A LA SUSTENTABILIDAD HUMANA

**D**ESDE las primeras ciudades caldeas y sumerias –desarrolladas en el valle de los ríos Tigris y Éufrates– hasta nuestros días, el proceso de crecimiento de la población ha sido progresivo e intensivo, y al relacionarlo con su delimitación geográfica, el concepto de sustentabilidad adquiere una dimensión espacial. Ahora bien, esta concepción de la sustentabilidad está estrechamente vinculada con la noción de supervivencia que Thomas Malthus le dio a su definición de “capacidad de carga de los ecosistemas”.<sup>1</sup>

La ecología humana pone al ser humano *vis a vis* con su supervivencia, al considerar que tanto los procesos ecológicos como los económicos son necesarios para la conservación de la civilización. Destaca el hecho de que el ser humano sea un ser biológico que satisface sus necesidades con los componentes de la naturaleza. En

\*Profesor-investigador en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco [jifdo45@yahoo.com].

<sup>1</sup>La capacidad de carga se refiere a los nutrientes de la biosfera, y específicamente a los ecosistemas, de tal forma que no puede haber más seres vivos que los que habitan dicho ecosistema.

términos ecológicos, cabe preguntarse cuánta materia viva y qué procesos vitales son necesarios para que un sistema humano –por ejemplo en las ciudades– alcance sus límites físicos, considerando que cada umbral transpuesto ha significado rebasar los determinismos económico-ecológicos, propios de cada fase significativa (Deevey, 1960).

Deevey (1960) señala el crecimiento demográfico de la humanidad a través del principio bíblico de creced y multiplicaos como un proceso globalizante, en el que la población creció y se dispersó a lo largo y ancho del mundo. Este principio ha sido la tradición a lo largo de la historia y ha conducido desde el Paleolítico inferior, hace 1'200,000 años, en que el planeta estaba ocupado por apenas 0.00425 personas por kilómetro cuadrado, hacia el Paleolítico medio con 0.012 habitantes, y en el Paleolítico superior con 0.04 personas por kilómetro cuadrado. Lo anterior muestra claramente que el aumento en la densidad de población ha ido en concordancia con las mejoras en las técnicas productivas y tecnológicas hasta alcanzar los 6,000 millones de habitantes que pueblan la Tierra en la actualidad.

La ecología humana y sus aportaciones en materia de antropología evolutiva señalan algunos umbrales que el ser humano ha traspasado en aras de su supervivencia; en este proceso, el papel más importante lo ha desempeñado el agua. En el trabajo de Odum, *The strategy of ecosystem development* (1999), se formula el concepto de sustentabilidad, basado en la disponibilidad de agua, elemento este último que actúa como un ordenador de la ocupación territorial de los seres humanos, como es el caso de las culturas más desarrolladas en la antigüedad establecidas en los deltas de los ríos Nilo, Tigris y Amarillo.

La antropología, la arqueología y la paleontología han contribuido a identificar los sucesivos umbrales que el hombre ha tenido que superar en su proceso evolutivo, desde su experiencia como homínido recolector de frutas, pasando por el periodo neolítico hasta la formación de las primeras ciudades, desarrollando en este proceso conocimientos cada vez más especializados. El Renacimiento y

la Revolución Industrial condujeron al desarrollo de muchas de las nuevas tecnologías en las que se sustentan los procesos económicos actuales, dando lugar a las grandes transformaciones de la actualidad.

Hoy en día, el carácter alienante de las civilizaciones urbanas impide al ser humano percatarse de las raíces ecológico-económicas de sus actividades productivas y del intercambio de bienes y servicios. Pasar por alto la base ecológica del proceso productivo, lo ha conducido progresivamente a un deterioro de su entorno y a la aniquilación de las bases que sustentan la reproducción humana –principalmente en el aspecto ecológico–, dándole al sistema económico todo el crédito como proveedor de bienestar, al considerar que el consumo de bienes duraderos como los electrodomésticos, o los automóviles son los mejores indicadores de calidad de vida.

En este sentido Meadows y Randers sostiene que en el diseño de una estrategia de supervivencia humana es necesario postular un paradigma que nos reintegre al entorno natural con todas nuestras deficiencias científico-tecnológicas, y que es fundamental considerar que se cuenta con un planeta que no puede ser sustituido. Y para sustentar lo anterior, valga el ejemplo de que a la fecha no se puede pensar en la reconstitución de la atmósfera o en encontrar algún sustituto del agua (Prigogine y Stengers, 1983).

Actualmente existe consenso en que cada región del mundo tiene la necesidad de tener un equilibrio en su sistema natural, en la conservación de sus cuerpos de agua, en sus suelos agrícolas y ganaderos y en su riqueza forestal. Una agenda que atienda las necesidades urbanas debe ser compatible con otra que revalore los recursos naturales, ya que sin estos últimos la supervivencia humana está en riesgo. Se requiere de un equilibrio en cada nación, congruente con sus propias tradiciones territoriales. Sin embargo, estamos aún muy lejos de que el ordenamiento territorial actual se lleve a cabo de acuerdo con el equilibrio regional natural descrito; por el contrario, las grandes urbes se acercan cada vez más al desequilibrio.

LA EVOLUCIÓN HUMANA Y EL DESARROLLO URBANO:  
ALGUNAS PERSPECTIVAS EN TORNO A LAS CIUDADES

EL ESTUDIO de las ciudades puede abordarse desde diversas perspectivas. Cada campo de estudio tiene su propio interés de investigación en el complejo sistema de relaciones que representan las grandes urbes.

En el contexto de la planificación regional y urbana, se parte de una estrategia de ocupación territorial, basada en la idea de aprovechar los recursos que ofrece y aumentar las expectativas de vida en sus correspondientes asentamientos humanos.

Gordon Childe (1978), en su estudio de los orígenes de la civilización, indaga sobre el proceso evolutivo que permitió al ser humano ocupar un nicho ecológico. Uno de los aspectos que subraya este autor es cómo el hombre, en sucesivas transformaciones, ha podido poblar el planeta, y cómo ha establecido diferentes formas de asentamiento territorial para cada época, con sus correspondientes especificidades que podemos denominar “culturas”.

Por su parte, Marvin Harris en su tesis epistemológica *Materialismo cultural* (1988) señala que cada fase de la historia del hombre ha contribuido de una u otra manera a un proceso globalizante, ya que desde tiempos remotos, en civilizaciones como la mesopotámica, por ejemplo, se observó el traslado de objetos realizados en un punto geográfico y rescatados a casi 4,000 kilómetros de su lugar de origen, a partir de las rutas comerciales.

Más tarde, ya en el siglo XIX, los flujos migratorios de Europa hacia el continente americano indican un intercambio de experiencias culturales y de objetos, que dejaron huella en una y otra civilización.

Hacia los años veinte, Lewis Mumford (*La ciudad en la historia*, 1961), se cuestionó sobre el papel que las ciudades han desempeñado desde la antigüedad hasta los días en que grandes urbes como Chicago, Detroit y Nueva York, desarrollaron complejos procesos socioeconómicos. Así, se remitió a los trabajos antropológicos y paleontológicos, para reconstruir la experiencia humana y tener una visión de dichas civilizaciones. En esa búsqueda, observó que

uno de los procesos que contribuyó mayormente en la formación de las ciudades fue la fabricación de instrumentos, las máquinas y los complejos tecnológicos. En su libro *Técnica y civilización* (1978) Mumford da cuenta del desarrollo tecnológico como experiencia humana desde antes de la formación de las ciudades.

Este autor planteó asimismo el impacto de la Revolución Industrial en el florecimiento de las ciudades. De acuerdo con sus investigaciones, desde el siglo XVIII comenzaron a gestarse las condiciones para que más adelante ocurriera el proceso de la Revolución Industrial, claramente influido por las culturas colonizadas que aportaron valores científicos y tecnológicos. A partir de éstos habría de darse el salto tecnológico y el desarrollo científico, hasta llegar a la era de la gran revolución de la información, cuyos efectos en el ámbito mundial han impulsado un grado de crecimiento de la población jamás imaginado (Ehrlich y Anne, 1991).

Ya en el siglo XX, las dos guerras mundiales devastaron ciudades completas que requirieron de procesos de reconstrucción. Varsovia, Berlín, Londres, por citar las más importantes, dieron al urbanismo el privilegio de aplicar una técnica muy en boga para llevar a cabo obras de saneamiento urbano y zonificación, que dieran mayor funcionalidad a las ciudades en proceso de expansión, y las proveyeran de electricidad, transporte público y, desde luego, de agua potable. Los procesos de reconstrucción de las ciudades europeas impulsaron grandes tareas planificadoras; los límites de esas ciudades se expandieron y comenzaron a surgir suburbios periféricos que bordearon las ciudades o las zonas agrícolas, para integrarse al progresivo crecimiento urbano.

Este fenómeno llamó la atención de Henry Lefebvre (1972), científico francés, que propuso el derecho a disponer igualitariamente de los mismos espacios territoriales, así como la igualdad en materia de consumo y producción que cada sistema urbano ofrecía para mejorar la calidad de vida.

Una vez que las naciones se fueron transformando de sociedades fundamentalmente rurales a urbanas, el crecimiento demográfico se aceleró. Asimismo, hubo un mayor acceso a la producción alimentaria industrializada. En este proceso surgió una serie de

comisiones internacionales que recomendaban a los gobiernos la aplicación de políticas en beneficio de sus propias sociedades. En el caso de América Latina se creó la Comisión Económica para América Latina (CEPAL).

El crecimiento demográfico obligó a la población rural a migrar hacia las ciudades, lo que provocó la extensión de la mancha urbana. Esta movilidad de la población aumentó la concentración demográfica en algunas capitales, conformando los centros urbanos que en su mayor expresión se conocen como áreas metropolitanas. La historia de la intervención gubernamental en el diseño urbano, va desde el embellecimiento de la ciudad hasta la optimización de los recursos para atender a los cada vez más complejos conglomerados humanos.

La Escuela de Chicago revisa acuciosamente las transformaciones del perfil demográfico como factor principal de los cambios de uso del suelo. En prácticamente todos los análisis urbano-territoriales se han trasladado los modelos europeos al caso latinoamericano, aun cuando en América Latina se tienen situaciones demográficas totalmente distintas.

En el caso europeo, la denominada transición demográfica se aplica a la migración campo-ciudad en el periodo más intenso de la Revolución Industrial, en tanto que en América Latina, las ciudades presentaron en el transcurso del siglo xx un intenso crecimiento demográfico, desplazado fundamentalmente hacia los servicios antes que a la industrialización.

#### FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN MÉXICO

LA DISPONIBILIDAD de agua en el país depende de las condiciones que presente el ciclo hidrológico, y de la velocidad a la que se extraiga para cubrir los requerimientos de las actividades económicas y de la población, por lo que, para garantizar su existencia en el largo plazo, es necesario realizar una gestión integral del agua.

La gestión integral del recurso tiene como base natural un complejo sistema de límites geográficos denominado cuenca hidroló-

gica,<sup>2</sup> en la que se ubica el caudal de los cuerpos de agua superficiales y los acuíferos. La presencia del agua en la cuenca depende de las lluvias y de que se disponga de una flora básica que garantice la recarga de acuíferos, necesarios para mantener una disponibilidad del agua que asegure los procesos productivos y de consumo básicos de la población.

Por otro lado, para proporcionar a los diversos usuarios el agua necesaria para sus actividades, es necesario extraerla y transportarla por medio de procesos tanto gravitacionales como mecánicos, a partir de pozos, presas, conducción de caudales agrícolas y forestales y sistemas de distribución urbana. En este sentido, se debe considerar que tanto los sistemas gravitacionales como mecánicos requieren de un consumo energético.

En las redes de distribución del agua se desperdicia gran parte del recurso debido a las fugas, lo que aunado a un uso ineficiente por parte de los diversos usuarios, es decir por parte del consumo productivo en el ámbito de las actividades primarias, industriales, de servicios, así como del consumo doméstico. La escasa cultura de agua que se tiene en México no permite prever su eventual agotamiento, dada la sobreexplotación de los caudales disponibles.

El agua una vez aprovechada –agua residual–, requiere eliminarse para lo que se descarga a cuerpos de agua superficiales dispuestos para este fin, proceso que debe hacerse después de un tratamiento para evitar la contaminación de dichos cuerpos. El agua residual también puede reciclarse –de preferencia después de un tratamiento– para lo que se requerirán nuevas infraestructuras y tecnologías, que pueden beneficiar a usuarios industriales y domésticos que se asientan en las ciudades, así como para uso agrícola en sitios con irrigación y en regiones de temporal.

<sup>2</sup>Para lograr un mejor aprovechamiento y preservación del agua en el país, la Conagua desarrolló un importante proceso de planeación en el cual se promovió la participación de los usuarios y se planteó un manejo del agua por cuencas hidrológicas. En ese contexto, con el fin de aplicar las políticas de manejo del agua en el marco de un desarrollo regional, se establecieron 13 regiones hidrológico administrativas conformadas por una cuenca o un conjunto de ellas con características hidrológicas similares entre sí, que facilitan la aplicación de planes y programas de desarrollo (*Programa Nacional Hidráulico 2001-2006*).

La mala distribución geográfica de las concentraciones humanas en el país, desde el punto de vista de la disponibilidad natural del agua, ha provocado una sobreexplotación de las fuentes convencionales proveedoras de agua dulce. Los territorios al norte del país alojan cada vez a un mayor número de habitantes contrastando con su baja disponibilidad de agua.

El factor demográfico está planteando nuevos retos a la disponibilidad de agua como bien natural, susceptibles de ser aprovechados por cualquier usuario sea éste de orden doméstico o industrial. En México, 77 por ciento de la población nacional está enclavada en la región centro-norte con dificultades para disponer de agua en abundancia, y esta población genera 86 por ciento del producto interno bruto (PIB); en contraste, las regiones del sur-sureste del país, donde la disponibilidad del agua es alta, concentran el 23 por ciento de la población nacional y aportan sólo el 14 por ciento del PIB.

En México, los cambios económicos de los últimos años han estado acompañados de un proceso de ocupación territorial cada vez más intenso y de mayor densidad respecto de la primera mitad del siglo xx. Hemos pasado de 34 millones de habitantes<sup>3</sup> en 1960 a una ocupación cercana a los 107 millones de habitantes<sup>4</sup> en 2006, con su consecuente demanda del agua, asociada a la producción de bienes y servicios en el país, así como de una demanda externa de bienes, cuya importación también depende del uso del agua como base de su producción.

El proceso de asentamiento territorial en las regiones con mayor disponibilidad de agua se caracteriza por amplios patrones de deforestación, pérdida de suelos por mala aplicación de técnicas pecuarias y agrícolas, así como exposición profunda a los cambios climáticos que con motivo del efecto invernadero hacen acto de presencia, bien con amplias sequías o con torrentes incontenibles.

La presencia de las grandes áreas urbanas, llamadas zonas metropolitanas, complica el proceso arriba descrito, en tanto son los espacios en donde se genera la mayor parte del PIB del país y

<sup>3</sup> Población total de 1900-2000 (INEGI).

<sup>4</sup> Indicadores demográficos (Conapo).

se demanda mayor cantidad de recursos naturales, entre otros el agua. Actualmente, en el país existen 55 zonas que cubren 55.8 por ciento de la población total.

Las zonas metropolitanas presentan las tasas de crecimiento de la población más altas. Aun cuando presenta una tendencia a disminuir su ritmo de crecimiento, la velocidad de crecimiento del Área Metropolitana de la Ciudad de México sigue siendo elevada: de 1990-1995 creció al 2.4 por ciento, pasando en 1995-2000 al 1.9 por ciento.

Para el caso de las zonas de más de un millón de habitantes, hasta el 2000 crecían a una tasa de 2.2 por ciento. La tasa de crecimiento promedio para las ciudades en el rango comprendido entre el medio millón y el millón de habitantes, se ubica en 2.9 por ciento entre 1990 y 1995 y 2.1 por ciento entre 1995 y 2000, con una tasa global en el decenio de 2.6 por ciento. Para ciudades entre los 100,000 habitantes y el medio millón, las tasas fluctúan entre 2.9 y 1.8 por ciento para los quinquenios arriba comentados, y en el decenio 1.4 por ciento (Conapo).

En el manejo de la política hídrica en las áreas urbanas, han quedado sesgados varios aspectos del agua tal como el que ésta sea un factor ordenador de sistemas complejos, que no se ajustan al manejo integral de una cuenca hidrológica. El manejo, más bien, se ha dado a nivel de sectores usuarios, lo que ha llevado a que por una parte los sistemas montañosos hayan sido depredados, sin una correspondiente política de reforestación, despojándolos de su capacidad de recarga de acuíferos.

## CONCLUSIONES

LAS POLÍTICAS urbano-territoriales en México muestran gran distancia entre el pragmatismo político y la visión idealista de los teóricos del mundo; la convergencia entre ambos aspectos haría más aceptable la construcción de una ciudadanía responsable con su entorno y con el ámbito territorial.

En México, al igual que en América Latina, se debe reivindicar la personalidad de cada región dentro del país correspondiente

y no sólo la de cada Estado nacional, ya que la diversidad cultural como equivalente de la biodiversidad, es un ejemplo de la complicación que conlleva un proyecto homogéneo en patrones de producción y de consumo. Tanto es así, que será necesario reivindicar muchos de los conceptos contenidos en el ámbito metodológico de la tesis del ecodesarrollo,<sup>5</sup> en cuanto a que son los recursos regionales con sus actuales ventajas y desventajas los que ayudan a una mayor autonomía de las naciones-estados.

Maurice Strong, filántropo global, advierte que a los procesos de consumo y producción practicados en las ciudades no les preocupa la sustentabilidad ni como una práctica humana cotidiana, ni como una cultura a seguir, sin darse cuenta de que la Tierra empezará a flaquear hasta llegar a una revolución ecológica (Meadows, 1992) en forma de escasez de agua y transmutación de ecosistemas y del planeta en su conjunto.

#### BIBLIOGRAFÍA

- CHILDE, G., *Los orígenes de la civilización*, breviaros del Fondo de Cultura Económica, México, 1978.
- CHOAY, F., *L'Urbanisme, utopies et realites*, París, Francia, Editions du Seuil, 1965.
- DAVIS, M., *City of Quartz, Los Angeles, capital of the futur*, París Francia, La Decouverte/poche, 2000.
- DEEVEY, E.S., *La población humana, el hombre y la ecosfera*, Madrid España, Scientific American, Blumme Editores, 1960.
- EHRLICH, P.R. y Anne, *The Population Explosion, Steady State Economics*, Daly, Island Press, 1991.
- ESCOBAR, A., *La invención del Tercer Mundo*, Sta. Fe de Bogota, Colombia, Grupo Editorial Norma, 1996.
- ESCURRA, E. y M. Mazari-Hiriart, "¿Son viables las megalópolis?", *La Gaceta Ecológica*, núm. 48, México, D.F., INE-Semarnap, 1998.
- GAUDIN, J.P., *L'Amenagement de la Societe*, París, Francia, Editions Anthropos, 1979.
- HARRIS, M., *Introducción a la antropología general*, Madrid, España, Alianza Editorial, 1988.

<sup>5</sup>De Ignace Sachs –a propósito de las tecnoestructuras respecto de las socioestructuras– y su base sustentable.

- LEFEBVRE, H., *Le Droit a la Ville*, París, Francia, Editions du Seuil, 1972.
- MARGALEF, R., *Ecología y desarrollo*, Madrid, España, Alianza Editorial, 1978.
- , *Economía, ecología y sostenibilidad en la sociedad actual*, J.M. Naredo y F. Pane (eds.), Madrid, Siglo XXI Editores, 1998.
- MEADOWS, D., D. Meadows y J. Randers, “Más allá de los límites del crecimiento”, *El País*, Madrid, España, Aguilar, 1992.
- MILLENIUM SUMMIT OF UNITED NATIONS, septiembre de 2000 (MDGs).
- MUMFORD, L., *The Natural History of Urbanization*, <http://habitat.aq.upm.es/> “biblioteca ciudades para un futuro más sostenible”, 1956.
- , *La ciudad en la historia*, Buenos Aires, Argentina, Ediciones Infinito, 1961.
- , *Técnica y civilización*, Madrid, España, Alianza Editorial, 1978.
- ODUM, E.P., “The strategy of ecosystem development”, en Betty Jean Craige, *Eugene Odum: Ecosystem ecologist and environmentalist*, 2002.
- OLIVIER, S.R., *Ecología y subdesarrollo en América Latina*, México, Siglo XXI Editores, 1981.
- PEARCE, David W., *Economía ambiental*, México, FCE, 1985.
- PERROUX, F., *Notes sur la notion de poles de croissance*, París, Francia, Economie Appliquee, 1955.
- PRIGOGINE, I. e I. Stengers, *La nueva alianza*, Madrid, España, Alianza Editorial, 1983.
- SINGER, P., *Economía política de la urbanización*, México, Siglo XXI Editores, 1979.
- RACIONERO, L., *Del paro al ocio*, Barcelona, España, Editorial Anagrama, 1983.
- ROGGERO, M.A., *Urbanización, industrialización y crecimiento del sector servicios en América Latina*, Buenos Aires, Argentina, Ediciones Nueva Visión, 1976.
- ROSTOW W., “The Stage of Economic Growth”, *Econ History Review*, EUA, 1959.
- TELLO, C. y R. Cordera, *La disputa por la nación*, México, Siglo XXI Editores, 1986.
- UNIKEL, L., G. Garza, Chiapeto, *El desarrollo urbano de México*, México, El Colegio de México, 1976.
- II Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Asentamientos Humanos (Habitat, 1996), Turquía, Estambul.



SABESP (por sus siglas en portugués)	Secretaría de Energía, Recursos Hídricos y Sanidad
SACM	Sistema de Aguas de la Ciudad de México
Scince	Sistema para la Consulta de Información por Colonias
SCNM	Sistema de Cuentas Nacionales de México
SEADE (por sus siglas en portugués)	Fundación Estatal del Sistema de Análisis de Datos
Semarnat (antes Semarnap)	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SGIHU	Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana
SUIBA	Sistema Unificado de Información Básica del Agua
TCPA	Tasa de Crecimiento Promedio Anual
UNEP (por sus siglas en inglés)	Programa Medioambiental de las Naciones Unidas
UNFPA (por sus siglas en inglés)	Fondo de Población de las Naciones Unidas
WFD (por sus siglas en inglés)	Marco Directivo Europeo para el Agua
ZMCM	Zona Metropolitana de la Ciudad de México

## Cuadro de equivalencias

<i>Símbolo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Equivalencia en unidades básicas</i>
m <sup>3</sup>	metro cúbico	1,000 litro
hm <sup>3</sup>	hectómetro cúbico	1'000,000 m <sup>3</sup>
km <sup>3</sup>	kilómetros cúbico	1,000'000,000 m <sup>3</sup>
km	kilómetro	1,000 m
l/s	litro por segundo	0.001 m <sup>3</sup> /s
hm <sup>3</sup> /año	hectómetro por año	31.71 l/s

## OTRAS UNIDADES

<i>Símbolo</i>	<i>Unidad</i>
hab	habitante
l	litro
m	metro
m <sup>3</sup> /s	metros cúbicos por segundo
DQO	Demanda química de oxígeno
DBO <sub>5</sub>	Demanda bioquímica de oxígeno

# Índice

## PREFACIO

<i>Lilia Rodríguez Tapia</i> <i>y Jorge A. Morales Novelo</i> . . . . .	5
--	---

## Primera parte

### *El problema del agua en las grandes ciudades, el caso del Área Metropolitana del Valle de México*

#### Capítulo 1

##### RETOS Y PERSPECTIVAS DE UNA GESTIÓN NO SUSTENTABLE

##### DEL AGUA EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

<i>Jorge A. Morales Novelo</i> <i>y Lilia Rodríguez Tapia</i> . . . . .	15
Introducción . . . . .	15
La brecha entre la disponibilidad natural y la extracción total de agua en la cuenca del Valle de México, fuentes alternas para su abastecimiento . . . . .	17
Riesgos para cubrir el abastecimiento de agua a los usuarios en el AMVM . . . . .	39
Escenario límite para la extracción total de agua en la cuenca del Valle de México para 2025 y 2030	43
Conclusiones . . . . .	50
Apéndice . . . . .	58
Bibliografía . . . . .	66

## Capítulo 2

### LA PROBLEMÁTICA DEL AGUA EN ZONAS URBANAS

<i>Agustín Felipe Breña Puyol</i> . . . . .	69
Introducción . . . . .	69
Urbanización y población urbana . . . . .	70
Sistema hidrourbano . . . . .	73
Área de análisis . . . . .	75
Diagnóstico, balance hidrológico y disponibilidad del recurso agua. . . . .	78
Problemática del agua . . . . .	83
Conclusiones . . . . .	88
Bibliografía . . . . .	89

## Segunda parte

### *Políticas para ajustar la demanda doméstica e industrial del agua*

## Capítulo 3

### LA IMPORTANCIA DE CONOCER EL VALOR DEL AGUA DE RIEGO

<i>Petra J.G.J. Hellegers</i> . . . . .	93
Introducción . . . . .	93
Importancia de la valoración del agua . . . . .	94
Formas para calcular el valor del agua de riego . . . . .	97
Conclusiones . . . . .	100
Bibliografía . . . . .	101

## Capítulo 4

### DEMANDA DE AGUA EN SAO PAULO:

#### LOS EFECTOS DE LAS POLÍTICAS DE PRECIOS

#### POR BLOQUE EN LA DEMANDA Y LA EQUIDAD

<i>Arjan Ruijs</i> . . . . .	103
Introducción . . . . .	103
Políticas de demanda de agua . . . . .	107
Estimación de funciones de demanda de agua . . . . .	111
La demanda de agua en la RMBS . . . . .	116
Análisis de escenarios . . . . .	121
Conclusiones . . . . .	134

Apéndice . . . . .	137
Bibliografía . . . . .	143

## Capítulo 5

### SISTEMA DE USO DE DERECHOS DE AGUA POTABLE

#### EN EL DISTRITO FEDERAL

<i>Hilda Rosario Dávila Ibáñez</i> <i>y Roberto M. Constantino Toto</i> . . . . .	149
Dinámica demográfica por delegaciones en el Distrito Federal. . . . .	151
Distribución demográfica por delegaciones (1950-2005)	153
Cobertura del agua potable . . . . .	156
Análisis espacial del consumo de agua potable . . . . .	157
Determinación y distribución del consumo doméstico facturado por delegación . . . . .	161
Relación entre el índice de marginalidad y la estimación del monto facturado por usuario . . . . .	163
Dispersión en el consumo de agua potable . . . . .	164
Nivel de subfacturación. . . . .	166
Evolución de los derechos de uso del agua en el Distrito Federal. . . . .	167
Derechos de uso en función del volumen consumido . .	169
Progresividad de la estructura de derechos de uso . . . .	170
Índice de GINI. . . . .	172
Análisis de sensibilidad . . . . .	173
Conclusiones . . . . .	175
Bibliografía . . . . .	177

## Capítulo 6

### HACIA UNA METODOLOGÍA ALTERNATIVA PARA LA DETERMINACIÓN

#### DE LAS TARIFAS APLICADAS AL CONSUMO DE AGUA EN EL SECTOR

#### DOMÉSTICO URBANO DEL VALLE DE MÉXICO

<i>Hilda Rosario Dávila Ibáñez</i> <i>y Roberto M. Constantino Toto</i> . . . . .	179
Antecedentes . . . . .	179
Agua y gobierno: de las estrategias de oferta a las de gestión de la demanda . . . . .	180
El agua, los precios y la arquitectura institucional. . . .	184
Los precios y la corresponsabilidad ciudadana en el uso del agua . . . . .	194

Sistema de derechos sobre uso de agua potable. . . . .	197
Sistemas autofinanciables en función del ingreso y el volumen . . . . .	209
Determinación de una estructura de tarifas para sistemas no autofinanciables . . . . .	214
Bibliografía . . . . .	215

## Capítulo 7

### DEMANDA DE AGUA POR LA INDUSTRIA MANUFACTURERA

#### DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

<i>Jorge A. Morales Novelo, Lilia Rodríguez Tapia y Abelardo González Aragón . . . . .</i>	217
Introducción . . . . .	217
Perfil industrial del Área Metropolitana del Valle de México . . . . .	219
Requerimientos de agua por la industria manufacturera del Área Metropolitana del Valle de México . . . . .	225
Actividades manufactureras usuarias de agua potable en el AMVM . . . . .	232
Ciclo del agua de primer uso por la industria en el Área Metropolitana del Valle de México . . . . .	243
Conclusiones . . . . .	247
Bibliografía . . . . .	255

## Tercera parte

### *Desempeño de la industria manufacturera y organismos operadores en el manejo del agua*

## Capítulo 8

### DESEMPEÑO ECONÓMICO EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN:

#### AGUA POTABLE Y ORGANISMOS OPERADORES

<i>Julio Goicoechea Moreno . . . . .</i>	259
Introducción . . . . .	259
Caracterización general . . . . .	261
Indicadores económicos de organismos operadores . . . . .	266
Organismos autosuficientes . . . . .	270
Especificación . . . . .	272

Función de valor agregado . . . . .	274
Función de productividad . . . . .	274
Función de remuneración de asalariados . . . . .	275
Función de empleo . . . . .	275
Función de salarios . . . . .	276
Función de superávit de operación . . . . .	276
Conclusiones . . . . .	277
Apéndice A. Metodología . . . . .	278
Apéndice B. Península de Yucatán, organismos operadores analizados. . . . .	279
Apéndice C. Resultados de funciones econométricas . .	280
Glosario de términos . . . . .	282
Bibliografía . . . . .	284

## Capítulo 9

### DESEMPEÑO DE LA INDUSTRIA MANUFACTURERA EN EL USO DEL AGUA EN MÉXICO

*Jorge A. Morales Novelo*

<i>y Lilia Rodríguez Tapia</i> . . . . .	287
Introducción . . . . .	287
Desempeño de la industria manufacturera en México. .	289
El comportamiento regional de la industria manufacturera en México y su problemática respecto a los usos del agua . . . . .	296
Resumen y reflexiones . . . . .	316
Anexo . . . . .	321
Bibliografía . . . . .	322
Fuentes documentales . . . . .	324

## Cuarta parte

### *Aspectos del sistema social y natural en la problemática del agua*

## Capítulo 10

### LA IMPORTANCIA DEL SUELO EN EL CICLO DEL AGUA

<i>Silvia Alicia Rodríguez Tapia</i> . . . . .	327
Introducción . . . . .	327
La importancia del agua en la formación del suelo . . . .	328

La importancia del suelo en la distribución del agua . . .	331
La acción del hombre sobre el suelo . . . . .	332
La importancia de la conservación del suelo . . . . .	333
Bibliografía . . . . .	334
Capítulo 11	
EL AGUA EN EL CONTEXTO DE LAS CIUDADES SUSTENTABLES	
<i>José Ignacio Félix Díaz Ortega</i> . . . . .	335
Perspectivas en ecología humana como una aproximación a la sustentabilidad humana . . . . .	335
La evolución humana y el desarrollo urbano: algunas perspectivas en torno a las ciudades . . . . .	338
Factores que afectan la disponibilidad del agua en México . . . . .	340
Conclusiones . . . . .	343
Bibliografía . . . . .	344
SIGLAS Y ACRÓNIMOS. . . . .	347
CUADRO DE EQUIVALENCIAS . . . . .	349
Otras unidades . . . . .	349



**CONOCER  
PARA DECIDIR**  
EN APOYO A LA  
INVESTIGACIÓN  
ACADÉMICA

## INSTITUCIONES COEDITORAS

Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior	Fundación Mexicana de Estudios Políticos y Administrativos, A.C.	Secretaría de la Reforma Agraria	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Cámara de Diputados	Gobierno del Estado de Chiapas	Simon Fraser University	Universidad Nacional Autónoma de México
<i>LIX Legislatura</i>	Grupo Editorial Miguel Ángel Porrúa	Sociedad Mexicana de Medicina Conductual	<i>Centro de Estudios sobre la Universidad</i>
<i>LX Legislatura</i>	Ibero-Amerikanisches Institut	Universidad Anáhuac del Sur	<i>Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades</i>
Centro de Estudios de México	Instituto Federal Electoral	Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca	<i>Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias</i>
Centro de Investigación para el Desarrollo, A.C.	Instituto Iberoamericano para el Fortalecimiento del Poder Legislativo, A.C.	<i>Instituto de Investigaciones Sociológicas</i>	<i>Dirección General de Publicaciones y Formato Editorial</i>
Centro de Investigaciones y Docencia Económicas	Instituto Tecnológico Autónomo de México	Universidad Autónoma de Aguascalientes	<i>Facultad de Contaduría y Administración</i>
Centro de Investigación y Docencia Económicas	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Universidad Autónoma de Baja California	<i>Facultad de Economía</i>
Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua	<i>Campus Ciudad de México</i>	Universidad Autónoma del Estado de Querétaro	<i>Facultad de Estudios Superiores Acatlán</i>
Consejo Mexicano de Asuntos Internacionales	<i>Campus Estado de México</i>	Universidad Autónoma de Yucatán	<i>Facultad de Estudios Superiores Arzobispo</i>
Consejo Nacional para la Cultura y las Artes	<i>Campus Monterrey</i>	Universidad Autónoma de Zacatecas	<i>Instituto de Geografía</i>
<i>Instituto Nacional de Antropología e Historia</i>	<i>Escuela de Graduados en Administración Pública y Política Pública</i>	<i>Doctorado en Estudios del Desarrollo</i>	<i>Instituto de Investigaciones Económicas</i>
El Colegio de la Frontera Norte, A.C.	Integración para la Democracia Social, APN	Universidad Autónoma Metropolitana	<i>Instituto de Investigaciones Sociales</i>
El Colegio de San Luis	Internacional Socialista	<i>Unidad Acapulco</i>	<i>Programa Universitario de Estudios de Género</i>
El Colegio de Sonora	Libertad de Información-México, A.C.	<i>Unidad Iztapalapa</i>	<i>Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad</i>
Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, México	Poder Legislativo del Estado de México, LVI Legislatura	<i>Unidad Xochimilco</i>	<i>Seminario de Educación Superior</i>
Fundación Colosio, A.C.	Secretaría de Gobernación	<i>Programa Universitario Integración en las Américas</i>	Universidad Pedagógica Nacional
Fundación Instituto Universitario de Investigación José Ortega y Gasset	<i>Centro de Estudios Migratorios del Instituto Nacional de Migración</i>	Universidad de California Santa Cruz	Universidad Veracruzana
Fundación Konrad Adenauer, A.C.		Universidad de Colima	Universitat Autònoma de Barcelona
		Universidad de Guadalajara	
		Universidad de Occidente	

El agua es uno de los recursos naturales renovables más importantes que se vincula directamente con la calidad de vida de la población y es determinante para el funcionamiento del sistema económico. Sin embargo, el crecimiento económico y el espectro demográfico están presionando para que la disponibilidad de agua se reduzca en los próximos 25 años, prefigurando una situación definitivamente crítica. Con los niveles de consumo actuales pero sobre todo con las formas inadecuadas de uso del agua por los diferentes sectores de la economía y la sociedad, bastaría una generación para que los recursos hídricos pasaran de ser un problema crítico de escasez y de seguridad nacional a otro de supervivencia, de alarma nacional, de acuerdo con el propio reconocimiento del gobierno mexicano.

En este libro, los autores no sólo cuestionan las formas tradicionales de abastecimiento de la demanda y la gestión desintegrada de los procesos hidrológicos (abastecimiento, drenaje y saneamiento), sino también sugieren la aplicación de instrumentos económicos adecuados sobre la demanda sin detrimento de los niveles de ingreso de los diferentes usuarios, en particular de los segmentos de más bajos ingresos de la sociedad.

La Universidad Autónoma Metropolitana y la Cátedra Raúl Anguiano de Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible –otorgada en custodia de la UAM por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), y coordinada con el Instituto Nacional de Ecología– siempre atentas a los problemas actuales del medio ambiente, esperan contribuir con esta obra al avance en el conocimiento de los diferentes problemas del agua, así como aportar elementos útiles para el diseño de una política hidráulica consistente con la fase histórica de escasez por la que atraviesa México.

Miguel Ángel  
Porrúa



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

