

# Efectos Ambientales Relacionados con la Extracción de Agua en la Megaciudad de México

Por Marisa Mazari Hiriart y Marcos Mazari Menzer

## Resumen

Un reto de los conglomerados urbanos es satisfacer las necesidades de los habitantes, lo que implica una enorme carga sobre los recursos naturales de la región, entre los cuales el más notable es el agua. La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) es un ejemplo de la no sustentabilidad. El consumo de agua en la ZMCM asciende a 72.5 m<sup>3</sup>/s y presenta serias consecuencias en cuanto a los efectos sobre la cantidad y modificación de niveles piezométricos. Se muestra el caso de la demanda de agua en la megaciudad de México en el siglo XX, se consideran las limitantes al crecimiento con base en los recursos hídricos, los hundimientos del terreno, aspectos sanitarios básicos, así como una evaluación de vulnerabilidad de agua subterránea con base en fuentes potenciales de contaminación por compuestos orgánicos, basado en un análisis multicriterio, desarrollado específicamente para la ZMCM. Estas alteraciones ambientales son fenómenos irreversibles y actualmente se observan problemas de salud no atribuibles a una sola exposición. Los recursos hídricos resultan limitantes por cantidad y calidad, los hundimientos diferenciales del terreno, aunado a las fuentes de contaminación potencial tornan vulnerable la región, aspecto urgente por atender con una visión interdisciplinaria. El monitoreo de parámetros fundamentales para entender la explotación de agua subterránea, el hundimiento y el deterioro de la calidad del agua, resulta relevante con el fin de tomar decisiones informadas y priorizar acciones correctivas.

## Introducción

Las ciudades se han denominado de diversas maneras de acuerdo con su tamaño, población, recursos financieros, estructura industrial/comercial, aspectos políticos, facilidades educativas/personal científico, servicios básicos, posición a nivel mundial (Goldstein, 1999), así como inclusión en la dinámica del proceso de globalización, representando polos de económicos de desarrollo global (Sassen, 1998).

En el proceso de crecimiento de la Ciudad de México se ha presentado un cambio de escala de ciudad a metrópoli en la década de los setenta (Ramírez, 2006). La adaptación de ésta categoría para denominar grandes aglomeraciones urbanas como megalópolis se adoptó en la década de los noventa (Ward, 1991; Pick y Butler, 1997; Fuchs *et al.*, 1999), como el rasgo característico del proceso de urbanización reciente. Estos conglomerados urbanos alcanzan de seis a diez millones de habitantes (Chen y Heligman, 1999, Fuchs, 1999; Howard y Gelo, 2003). Actualmente se habla de ciudades globales con base en los servicios financieros, de informática y el proceso social de migración internacional, que tienden a formar ciudades multiculturales (Sassen, 1998; Ramírez, 2006).

Al inicio del siglo XXI se considera que una crisis global de agua amenaza la seguridad, estabilidad y sustentabilidad ambiental, particularmente la de países en desarrollo. Los problemas de manejo de los recursos hídricos en muchos países se incrementan y a menos que se lleven a cabo acciones efectivas, estos problemas se intensificarán (WWDR, 2003). Uno de los grandes retos de estos conglomerados urbanos es el satisfacer las necesidades de los habitantes, lo que depende e implica una enorme carga sobre los recursos naturales de la región, entre los cuales el más notable es el agua (Howard y Gelo, 2003).

A pesar de que esta situación afecta claramente el crecimiento y sostenimiento de la ciudad en su conjunto, no se ha tomado con la seriedad requerida, ni con una visión interdisciplinaria con el fin de generar algunas propuestas innovadoras.

La rápida urbanización, en la que el crecimiento precede el desarrollo de infraestructura tiene consecuencias ambientales negativas, entre las más básicas se consideran los servicios urbanos, incluyendo abastecimiento de agua, recolección de agua residual y desechos sólidos para tratamiento o disposición segura (Foster *et al.*, 1998; Cheema, 1999).

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), se inserta en este sistema como la segunda ciudad del mundo, con base en una población real superior a los 19 millones de habitantes. Es un ejemplo de la no sustentabilidad en el pasado y en el presente, como muestra de ello ha sufrido varios colapsos demográficos de grandes proporciones (Whitmore *et al.*, 1990; Ezcurra, 1992; Mazari, 1996). Los recursos hídricos representan una parte importante de esta problemática, siendo el objetivo de este trabajo el evaluar la situación de la ZMCM en el contexto de megaciudades, señalando los efectos ambientales relacionados con la extracción histórica de agua en la región.

## Metodología

Se ubica la ZMCM entre las megaciudades del mundo, realizando una revisión sobre la extracción de agua en la megaciudad de México y se intenta relacionar con diversos efectos ambientales que afectan el futuro uso de los recursos hídricos en la región.

Se analizan cantidad, calidad del agua, el efecto de hundimientos diferenciales y la vulnerabilidad del acuífero regional del que se abastece a la ZMCM.

## Resultados y discusión

El consumo de agua en la ZMCM asciende actualmente a 72.5 m<sup>3</sup>/s, de los cuales 52.2 m<sup>3</sup>/s (equivalente al 72 por ciento) es agua subterránea que se extrae de los acuíferos, 1.45 m<sup>3</sup>/s (equivalente al 2 por ciento) proviene de sistemas superficiales, por lo que el aporte de fuentes internas asciende a 53.65 m<sup>3</sup>/s (Jiménez Cisneros *et al.*, 2004).

Esta extracción de agua subterránea se inició en 1847, lo que ha traído serias consecuencias en cuanto a los efectos sobre la cantidad y presión del agua, con modificaciones en los niveles piezométricos, que se van perdiendo a razón de 1 m/año.

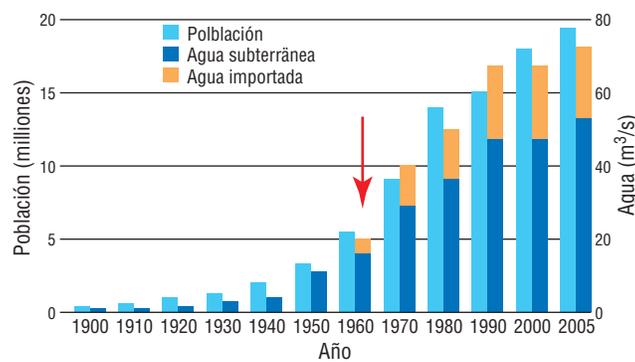
Los reportes de extracción de agua van claramente relacionados con la demanda tanto por parte de la población como para diversas actividades productivas. Esta explotación de los recursos hídricos debe visualizarse a dos escalas: la regional, que abarca la cuenca de México y las cuencas de Lerma y Cutzamala, así como la escala local, enfocándose en las zonas montañosas donde se localizan los suelos de conservación, fundamentales para la recarga de acuífero regional (Bojórquez *et al.*, 2000). Se presenta el caso de la demanda de agua en la megaciudad de México a lo largo de un siglo (Figura 1). Se ha considerado que de manera natural el sistema de agua subterránea de la cuenca de México tenía la capacidad para abastecer de agua a una población de aproximadamente 8 millones de habitantes, población que se rebasó a mediados de los sesenta, indicada por flecha en Figura 2 (Ramírez Sama, 1990).

Con base en la extracción histórica es posible considerar como una de las limitantes al crecimiento de la ZMCM los recursos hídricos, que son finitos no solo por su cantidad, sino que empiezan a ser limitantes por su calidad. Durante el siglo XX se han llevado a cabo planes de manejo que no han respetado la vocación lacustre de esta zona geográfica, con una intensa explotación, sin tomar en cuenta las diversas permeabilidades y potencial de infiltración de contaminantes.

Uno de los problemas en la megaciudad es el hundimiento del terreno por la consolidación de arcillas en las formaciones superficiales, remanentes del antiguo sistema lacustre. Este fenómeno fue observado y medido inicialmente por Roberto Gayol entre 1888 y 1898, posteriormente por Nabor Carrillo en la década de los cuarenta, así como por Marsal y Zeevert en la década de los sesenta (Mazari y Platas, 1999). Para fundamentar esto técnicamente se llevó a cabo un monitoreo de niveles piezométricos con un seguimiento cuidadoso de los años 1947 a 1952 y de 1946 a 1956 (Marsal y Mazari, 1987), con lo cual se describió el fenómeno hasta mediados del siglo XX (Marsal y Mazari, 1959).

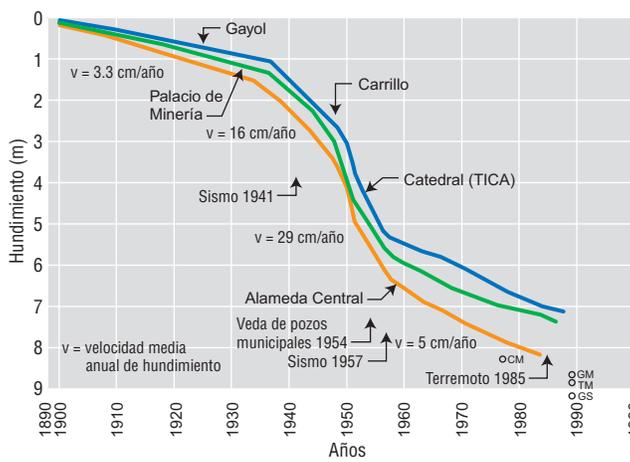
En los años sesenta se observaron hundimientos en zonas como son la subcuenca Chalco-Xochimilco de 48 cm/año, la subcuenca Texcoco entre 30 cm/año y 20 cm/año. La ciudad se ha hundido linealmente a razón de 6 cm/año (Mazari, 1996).

**Figura 1. Población, extracción e importación de agua a la megaciudad de México, la flecha indica el límite para abastecer agua de manera sustentable a la población.**



mediados de los ochenta con hundimientos diferenciales especialmente en el Centro Histórico. A partir del temblor de 1985 parte de la infraestructura piezométrica se perdió y no existe información disponibles sobre la situación actual salvo para sitios específicos, pero no una visión global de la problemática. Los datos existentes para el

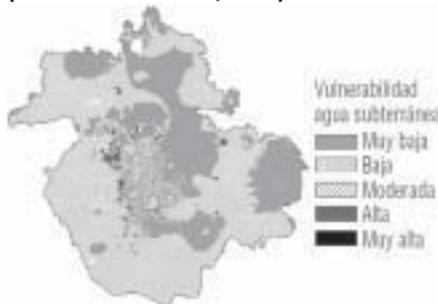
**Figura 2. Hundimiento de la megaciudad de México durante el siglo XX (Mazari y Alberro, 1990; Mazari *et al.*, 1992).**



en algunos de los bancos de nivel referidos en los estudios de los años cincuenta, para obtener datos actualizados del problema de hundimiento diferencial en diversas áreas de la ZMCM.

Considerando que existe un riesgo de contaminación del acuífero por compuestos que pueden tener serias implicaciones a la salud en bajas concentraciones (ppb a ppt), se llevó a cabo una evaluación de vulnerabilidad del acuífero en la ZMCM. En esta evaluación de vulnerabilidad de agua

**Figura 3. Vulnerabilidad a la contaminación de agua subterránea por compuestos de tipo orgánico (Mazari-Hiriart *et al.*, 2006).**



Lesser (1998) analiza el hundimiento medio anual en la ciudad de México entre 1891 y 1992, reportando valores máximos de 30 cm/año en los límites entre el DF y Ciudad Nezahualcóyotl, entre 20 y 25 cm/año en el Aeropuerto Internacional, alrededor de 10 cm/año en el Centro Histórico y entre 2 y 5 cm/año en la zona de Azcapotzalco y alrededor de 15 cm/año en el área de Xochimilco y Canal de Chalco. Con un hundimiento acumulado de 1891 a 1994 mayor a 10 m en el Centro Histórico.

De esta manera es posible dar un seguimiento a los registros hasta mediados de los ochenta con hundimientos diferenciales especialmente en el Centro Histórico. A partir del temblor de 1985 parte de la infraestructura piezométrica se perdió y no existe información disponibles sobre la situación actual salvo para sitios específicos, pero no una visión global de la problemática. Los datos existentes para el Siglo XX se presentan en la Figura 2.

Este hundimiento conlleva además de las deformaciones del terreno la problemática asociada con las tuberías tanto del sistema de distribución de agua para consumo humano como del sistema de drenaje y otros servicios. Existe además un riesgo de contaminación del acuífero regional por fracturamiento de las arcillas lacustres y aporte de agua de mala calidad.

Con el fin de obtener una visión actualizada mediante nivelaciones de precisión, Marín *et al.* (sometido) proponen utilizar una estación total y un DGPS (*Differential Global Positioning System*), realizando ésta con base

subterránea se consideraron fuentes potenciales de contaminación por compuestos orgánicos y se integraron en un sistema de información geográfica. El análisis se llevó a cabo mediante un análisis multicriterio desarrollado específicamente para la ZMCM (Mazari-Hiriart *et al.*, 2006) en el que se consideraron diversas fuentes contaminantes como son la zona urbana, industrial, drenaje primario y profundo, gasolineras, depósitos de combustible, tiraderos/confinamientos, y pozos de extracción, así como la permeabilidad y conductividad hidráulica. Se ubicaron sitios con cinco grados de vulnerabilidad, muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto (Figura 3). La zonas

con una alta o muy alta vulnerabilidad abarcan 1.5 por ciento del área estudiada, lo que permite la ubicación de áreas críticas. Los resultados permiten priorizar a los tomadores de decisiones, con el fin de enfrentar estos nuevos retos ambientales.

En conjunto esta problemática sobre los recursos hídricos en la región puede tener repercusiones en la salud pública en una zona densamente poblada como lo es la Megaciudad de México.

Se han observado evidencias recientes de problemas en lo relacionado con la cantidad de agua en la zona de Azcapotzalco, de calidad del agua en Tlalpan durante julio 2007, y zonas vulnerables ubicadas en zonas con ciertos materiales geológicos permeables. Históricamente se han presentado ciclos de colapso de la población, en este caso se van presentando problemas no atribuibles a una sola exposición como puede ser a través del agua, existen factores que no permiten hacer una relación directa entre agua y salud, ya que también existe la exposición a aire, alimentos, entre otros.

Las alteraciones ambientales que se han venido presentando en la ZMCM son fenómenos irreversibles, el hundimiento y las modificaciones en las presiones piezométricas por extracción del agua. La concentración de ciertos iones, así como la presencia de microorganismos en ciertas áreas de la ZMCM, con un deficiente sistema de desinfección (cloración) (Mazari-Hiriart *et al.*, 2005).

Es difícil encontrar una relación unidireccional agua vs. salud, y la información estadística está aglomerada de manera que no es factible hacer un análisis muy específico, ni obtener una relación causa-efecto, pero es necesario considerarlo como parte de los elementos en las evaluaciones ambientales para esta zona geográfica.

Debemos ser extremadamente cautelosos con los planes de manejo del agua como recurso fundamental en el desarrollo y mantenimiento de esta megaciudad que alberga una población cercana a los 20 millones de habitantes. Se requiere de una visión innovadora y de largo plazo, para resolver el serio problema que aqueja a la ZMCM como megaciudad. Nuevas alternativas y no simplemente un cambio de escala son necesarios, lo que requiere de la visión e interacción decidida de profesionistas con diversa visión y formación.

## Conclusiones

Los recursos hídricos resultan limitantes en cuanto a cantidad y calidad en la megaciudad de México, y pueden llegar al agotamiento en ciertas zonas en un tiempo finito (*i.e.* Iztapalapa). Esto aunado a las fuentes de contaminación potencial tornan vulnerable la región, aspecto que es urgente atender con una nueva visión interdisciplinaria.

Continuar el monitoreo de parámetros fundamentales haciendo uso de la nueva tecnología, para actualizar la información sobre el hundimiento en ciertas zonas de la megaciudad resulta de gran relevancia, con el fin de tomar decisiones informadas y priorizar acciones correctivas.

Como se ha expuesto en varios foros, es urgente la descentralización de la megaciudad de México dadas sus limitaciones en recursos hídricos,

Se presenta además un nuevo paradigma, en el que debe integrarse a la problemática relacionada con el agua, las posibles repercusiones en la salud de la población, tomando en cuenta la alta densidad poblacional, lo que transforma la megaciudad en un gran laboratorio para observar estos efectos del deterioro ambiental.

## Referencias

Bojórquez Tapia, L.A., Ezcurra, E., Mazari-Hiriart, M., Díaz, S., Gómez, P., Alcanzar, G. y Melgarejo, D. 2000. Basin of Mexico: A History of Watershed

Mismanagement. Conference on Land Stewardship in the 21st Century: The contribution of watershed management. Tucson, Arizona: 129-137.

Cheema, G.S. 1999. Priority urban management issues in developing countries: The research agenda for the 1990s. En: *Mega-City Growth and the future*. Fuchs, R.J., Brennan, E., Chamie, J., Lo, F.C., Uitto J.I. Ed. United Nations University Press. Tokio, Japón: 412-428.

Chen, N.Y. y Heligman, L. 1999. Growth of the world megalopolises. En: *Mega-City Growth and the future*. Fuchs, R.J., Brennan, E., Chamie, J., Lo, F.C., Uitto, J.I. Ed. United Nations University Press. Tokio, Japón: 17-31.

Ezcurra, E. 1992. Crecimiento y colapso en la cuenca de México. *Ciencias* 25: 13-27.

Foster, S., Lawrence, A. y Morris, B. 1998. Groundwater in Urban Development. Assessing Management Needs and Formulating Policy Strategies. World Bank Technical Paper 390. The World Bank. Washington, D.C.: 55 pp.

Fuchs, R.J., Brennan, E., Chamie, J., Lo, F.C. y Uitto, J.I. 1999. *Mega-City growth and the future*. United Nations University Press. Tokio, Japón: 439 pp.

Fuchs, R.J. 1999. Introduction. En: *Mega-City growth and the future*. Fuchs, R.J., Brennan, E., Chamie, J., Lo, F.C., Uitto, J.I. Ed. United Nations University Press. Tokio, Japón: 1-13.

Goldstein, S. 1999. Demographic issues and data needs for mega-city research. En: *Mega-City growth and the future*. Fuchs, R.J., Brennan, E., Chamie, J., Lo, F.C., Uitto, J.I. Ed. United Nations University Press. Tokio, Japón: 32-61.

Howard, K.W.F. y Gelo, K.K. 2003. Intensive use in urban areas: the case of megacities. En: *Intensive Use of Groundwater. Challenges and Opportunities*. Swets & Zeitlinger B.V. Lissie, The Netherlands: 35-58.

Jiménez Cisneros, B.E., Mazari Hiriart, M., Domínguez Mora, R. y Cifuentes García E. 2004. El agua en el Valle de México. En: *El Agua en México vista desde la Academia*. Academia Mexicana de Ciencias. México, D.F.: 15-32.

Lesser, J.M. 1998. El hundimiento del terreno en la ciudad de México y sus implicaciones en el sistema de drenaje. *Ingeniería Hidráulica* XIII (3): 13-18.

Marín, L.E., Balcazar, M., Ortiz, M. y Steinich, B., en revisión. Comparison of elevation heights using a DGPS and a Total Station. Sometido a Geofísica Internacional. Octubre 2007.

Marsal, R.J. y Mazari, M. 1959. *El subsuelo de la ciudad de México*. Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cementaciones. México. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F.

Marsal, R.J. y Mazari, M. 1987. *El subsuelo de la ciudad de México. Parte D. Variación de propiedades mecánicas con la profundidad*. Series del Instituto de Ingeniería 505: 149.

Mazari, M. 1996. *Agua vs. Población. Estación Piezométrica EPCN y Plomamiento de la Cuenca de México*. Memoria El Colegio Nacional. México, D.F.: 115-124.

Mazari, M. y Platas, F. 1999. Cuatro grandes en el salvamento de la ciudad de México antes sus inundaciones. Memoria El Colegio Nacional. México, D.F.: 165-219.

Mazari-Hiriart, M., Cruz-Bello, G., Bojórquez-Tapia, L.A., Juárez-Marusch, L., Alcantar- López, G., Marín, L.E. y Soto-Galera, E. 2006. Groundwater Vulnerability Assessment for Organic Compounds: Fuzzy Multicriteria Approach for Mexico City. *Environmental Management* 37(3): 410-421.

Mazari-Hiriart, M., López-Vidal, Y., Ponce de León, S., Calva, J.J., Rojo-Callejas, F. y Castillo-Rojas, G. 2005. Longitudinal Study of Microbial Diversity and Seasonality in the Mexico City Metropolitan Area Water Supply System. *Applied and Environmental Microbiology* 71(9): 5129-5137.

Pick J.B. y Butler, E.W. 1997. *Mexico Megacity*. Westview Press. Boulder, Colorado.

Ramírez, B. 2006. Del funcionalismo industrial al funcionalismo de servicios: ¿la nueva utopía de la metrópoli postindustrial del valle de México? *Revista eure* XXXII, 95: 61-74.