

¿Son viables las megaciudades?

Las enseñanzas de la Ciudad de México*

Exequiel Ezcurra** y Marisa Mazari Hiriart***

Ezcurra y Masari resumen las condiciones que convierten a la Ciudad de México en una metáfora para el futuro urbano del mundo en desarrollo.

Título original: Are Megacities Viable? A Cautionary Tale from Mexico City en *Environment*, enero-febrero de 1996, vol. 38 (1): 6-35. Agradecemos a los autores el apoyo y las facilidades otorgadas para la edición en español de este trabajo.

** P.O. Box 121390, San Diego, California 92112-1390. Correo electrónico: eezcurra@sdnhm.org.

*** Instituto de Ecología, UNAM. Correo electrónico: mazari@servidor.unam.mx.

Los autores le agradecen a Lucero Rodríguez y Jorge Ortega su ayuda en el dibujo y digitalización de las gráficas. El segundo autor de este artículo reconoce el generoso apoyo financiero otorgado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El "éxodo hacia las ciudades" de las poblaciones rurales ha transformado de manera radical el paisaje de los países del Tercer Mundo durante la segunda mitad de este siglo. El fenómeno de la concentración urbana en sí mismo no es nuevo, pero el crecimiento y desarrollo de las grandes ciudades en el mundo no industrializado presenta un conjunto de características nuevas que merecen un estudio cuidadoso. La primera y más notable es la del centralismo. La urbanización en el mundo desarrollado se caracterizó por el crecimiento de una gran cantidad de ciudades de tamaño mediano. En el Tercer Mundo, el crecimiento urbano se concentró en una o en pocas ciudades grandes, frecuentemente mencionadas como 'megalópolis'. La megalópolis constituye un fenómeno del siglo XX y no está claro aún cuán ambientalmente sustentable demostrarán ser estas ciudades.

La población mundial para 1995 se estimó en 5.76 mil millones y crece anualmente en alrededor de 100 millones.¹ Para el año 2000, la mayor parte de la población mundial habitará en áreas urbanas. Pero se espera que sólo 4 de 21 ciudades cuya población se espera que supere los 10 millones se localicen en países cuyo producto neto per cápita (PNP) supera los USA \$ 10,000 (véase cuadro 1). Por lo tanto, existe una relación inversa significativa entre el PNP y la tasa de crecimiento poblacional en estas megalópolis. Las ciudades grandes de los países más pobres crecen mucho más rápido que sus similares del mundo industrializado. Este aumento desbocado genera serias amenazas económicas sobre los conglomerados urbanos del Tercer Mundo. La escasez de recursos se ve exacerbada por la demanda constantemente creciente de servicios que se deben suministrar a una tasa que en ocasiones supera el crecimiento económico. La calidad del aire y del agua, problemas de salud relacionados con el ambiente, agua, alimentos, y suministro de energía así como el riesgo de

contaminación a gran escala sólidos y desechos líquidos regionales, son todos problemas importantes que enfrentan las megalópolis y aún pueden ser enfrentados y resueltos de forma sostenible.

En este artículo, la Ciudad de México, una de las mayores megalópolis del planeta, sirve como centro de un análisis de las cuestiones de la sustentabilidad ambiental. La Ciudad de México es, en un sentido, un experimento en marcha (ongoing). Aún quedan por establecer las conclusiones iniciales acerca de su sustentabilidad ambiental y económica. Los problemas que esta ciudad enfrenta son similares a los de muchas megalópolis del Tercer Mundo.

La evolución urbana y demográfica de la Cuenca de México (el área geográfica que enmarca a la Ciudad de México) constituye una de las principales preocupaciones de los ambientalistas. Parte de esta preocupación se explica por las posibles consecuencias de tal concentración de población y sus relaciones asimétricas con el resto de la nación. Las consecuencias ecológicas de aproximadamente 18 millones de personas en un mismo espacio son otro factor. Lo que presagia esto para el uso de los recursos naturales es ominoso. Para muchos, el gigantismo de este crecimiento presagia una gran catástrofe ecológica que conducirá a una descentralización forzosa de la megalópolis. Otros ven a esta concentración como el resultado lógico del desarrollo industrial y del progreso tecnológico del siglo XX y no ven a la megalópolis como un problema en sí mismo. Desde su perspectiva, el desarrollo tecnológico proporcionará las soluciones para los problemas ambientales y de salud creados por tal crecimiento urbano desmesurado. Ambos lados del debate son analizados aquí. Una situación de crisis ambiental en la Ciudad de México será resultado, casi seguramente, del agotamiento del suministro de agua, la contaminación del aire, la sedimentación del sistema de drenaje, y la inundación general resultante de la deforestación.

Cuadro 1

Población y tasas recientes de crecimiento de las megaciudades del planeta

	Población estimada para 1990	Población proyectada para el año 2000	Tasa de crecimiento poblacional 1980-90	Producto interno bruto per cápita 1991 (en dólares)
Tokio, Japón	25.0	28.0	1.4	26,824
Sao Paulo, Brasil	18.1	22.6	4.1	2,920
Ciudad de México, México	16.8	20.1	2.0	2,971
New York, EUA	16.1	16.6	0.3	22,356
Shangai, China	13.4	17.4	1.4	364
Bombay, India	12.2	18.1	4.2	330
Los Ángeles, EUA	11.5	13.2	1.9	22,356

Buenos Aires, Argentina	11.4	12.8	1.4	3,966
Seúl, Corea	11.0	12.9	2.9	6,277
Beijing, China	10.9	14.4	1.9	364
Río de Janeiro, Brasil	10.9	12.2	2.2	2,920
Calcuta, India	10.7	12.7	1.8	330
Osaka, Japón	10.5	10.6	0.5	26,824
Jakarta, Indonesia	9.2	13.4	4.4	592
Tianjin, China	9.2	12.5	2.4	364
Manila, Filipinas	8.9	12.6	4.1	728
El Cairo, Egipto	8.6	10.8	2.3	611
Nueva Delhi, India	8.2	11.7	3.9	330
Karachi, Pakistán	7.9	11.9	4.7	383
Lagos, Nigeria	7.7	13.5	5.8	305
Dhaka, Bangladesh	6.6	11.5	7.2	205

El ambiente

La Ciudad de México se localiza en lo que fue originalmente una cuenca hidrológica cerrada, abierta de modo artificial a principios del siglo XVII. Esta gran unidad natural, conocida como la Cuenca de México, incluye al Distrito Federal y partes de los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla. Se extiende en un área aproximada de 7,500 km² y se ubica dentro del Eje Neovolcánico Transversal. La parte más baja, una planicie lacustre, tiene una elevación promedio de 2,240 metros sobre el nivel del mar. El valle está rodeado por un conjunto de sierras al este, oeste y sur. Al norte lo limita una serie discontinua de montañas menores. Sus picos más altos, localizados al sudeste, son el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl, con una altitud de 5,465 y 5,230 m, respectivamente.

Antes del florecimiento del imperio azteca, el sistema lacustre de la región abarcaba unos 1,500 km² y estaba formado por cinco lagos someros con localización norte-sur. Nueve zonas ambientales principales existían antes de que empezaran las grandes transformaciones humanas: el sistema lacustre, importante hábitat de aves migratorias; la zona salina de las orillas del lago, poblada por plantas resistentes a la alta salinidad; los suelos aluviales profundos, cubiertos por juncos, ciperáceas y ahuehuetes; los suelos aluviales someros, donde predominan pastos y magueyes; los

suelos aluviales elevados, con encinos y acacias; el pie de monte bajo, caracterizado por bosques achaparrados de encinos; el pie de monte medio, con encinos de hoja ancha; el pie de monte alto, propio de elevaciones superiores a los 2,500 m y con vegetación de encinos, ailes y madroños, y, finalmente, las sierras, con alturas de más de 2,700 m y comunidades de zonas templadas como pinos, oyameles y juníferos.² Poco queda hoy de estos ecosistemas originales. La ciudad ha ido ocupando gradualmente la mayor parte del lecho de los lagos, drenados progresivamente desde la época colonial, y también parte del piamonte que los rodea. Hacia el sur y el oeste de la ciudad, el área urbana ocupa ahora las pendientes de las montañas circundantes que una vez estuvieron cubiertas de bosques de coníferas.

Población y uso del suelo

La población de la Ciudad de México ha sido tema de debate durante mucho tiempo (véase el recuadro 1). El último censo oficial registró una población para esta ciudad de 15 millones en 1990. Sin embargo, estas cifras parecen poco realistas cuando tomamos en cuenta el crecimiento de las áreas urbanizadas durante la década de 1980 y las tendencias históricas en las tasas de población. El tamaño actual del área urbanizada, estimado a través de técnicas sensores remotos, multiplicado por la densidad de población histórica (14.500 personas por km²) sugiere un total de cerca de 16.8 millones en 1990 y de 18.5 en 1995. Una proyección de los valores de la población de 1980 a una tasa conservadoramente baja del 1.5% (la tasa de crecimiento entre 1940 y 1980 ha estado siempre por encima del 2%) nos da un total de 16 millones para 1990 y de 17.3 para 1995. Estos datos coinciden con los resultados obtenidos por un demógrafo que concluye que el censo nacional subestimó la población entre 2 y 6 millones de personas.³ El uso de agua en la ciudad (63 metros cúbicos por segundo —m³/s—) combinado con el consumo per cápita histórico (300 litros por día) también sugiere una población de aproximada de 18.1 millones para 1995. De esta forma, podemos suponer que la población de la Ciudad de México en 1995 era de alrededor de 18 millones de gentes.

La tasa promedio anual de crecimiento de la Ciudad de México entre 1950 y 1980 fue de 4.8%. Sin embargo, la población creció más rápido en la zona industrial del Estado de México, al norte del Distrito Federal. Allí, la tasa promedio de incremento poblacional fue de 13.6% entre 1950 y 1980, comparada con una del 3.3% del Distrito Federal. Buena parte de esta tasa la explica la llegada continua de migrantes provenientes de las zonas rurales más deprimidas económicamente. Este flujo fue responsable del 38% del crecimiento de la ciudad. Sin embargo, sólo entre 1970 y 1980, migraron a la capital de la República 3.25 millones de personas.⁶ Si eliminamos los efectos de la migración, la tasa de crecimiento anual intrínseca puede calcularse en alrededor de 1.8%, considerablemente menor que el promedio nacional para el mismo periodo, que fue de cerca de 3.0%. La inmigración, no la reproducción, ha mantenido las altas tasas de aumento poblacional de esta ciudad.⁷ Suponiendo correcta la cifra de 18 millones para 1995, la tasa de crecimiento de la década de 1980 es de cerca del 1.8%, claramente menor que la de las anteriores. Aunque la población aún continúa creciendo, está experimentando, obviamente, una transición demográfica y las tasas de crecimiento parecen estar bajando (véase la gráfica 1).

Históricamente, la densidad poblacional neta de la Ciudad de México ha sido comparativamente alta (véase la gráfica 2). Mientras que es levemente más densamente poblada que Tokio o Caracas, la Ciudad de México hoy duplica las de New York, Sao Paulo y Buenos Aires. Tiene tres veces la densidad de París, y cuatro la de Londres. Sólo algunas ciudades asiáticas, como Bombay, Calcuta y Hong Kong tienen densidades superiores.⁸

Recuadro 1

Ciclos de crecimiento y caída poblacional en la Cuenca de México

El aporte que el agotamiento de los recursos naturales realizó para la decadencia de las culturas indígenas de la Cuenca de México es la base para el pesimismo en torno al futuro de la Ciudad de México.

La Cuenca de México ha sido una de las áreas más densamente pobladas del mundo durante mucho tiempo. Dos veces a lo largo de su historia (en la cumbre de la cultura teotihuacana en el año 650 de nuestra Era y antes de la conquista española (1519), las densidades poblacionales del lugar eran mucho más altas que las de regiones similares en Europa en esos tiempos.²

Entre 1700 y 1100 a.C., se efectuaron los primeros asentamientos en la Cuenca; hacia 100 a.C., la población llegó a ser de alrededor de quince mil habitantes. Tres grandes núcleos poblacionales comenzaron a formarse entre 1700 y 100 a.C.: Texcoco en el noreste del Lago de México, Teotihuacán al norte y Cuicuilco al suroeste. Este último dependía de la humedad del suelo de la región, caracterizado por mayor precipitación que el territorio de los asentamientos de 1a zona semiárida del norte. También recibía aportaciones de los ríos que descendían de la Sierra del Ajusco.

Hacia principios de la era cristiana Cuicuilco era una cultura floreciente, tan importante o más que la teotihuacana. Sin embargo, la erupción de El Xitle, ocurrida cerca del año 100 a.C., con su gran flujo de lava cubrió casi por completo esta gran área urbana y centro ceremonial, así como los mejores suelos agrícolas de la región. La catástrofe estableció los primeros límites físicos debidos a los fenómenos volcánicos-geológicos de la zona. Esta erupción produjo un colapso demográfico e indujo una migración masiva hacia el norte de la cuenca.

Hacia el año 100 d.C., Teotihuacán tenía alrededor de treinta mil habitantes. Cinco siglos después, en el año 650, la población llegó a ser de ciento cincuenta mil.³ Una centuria más tarde, el número de habitantes de Teotihuacán se redujo a menos de diez mil. La causa de esta disminución no se conoce con certeza, aunque algunos investigadores la atribuyen a la rebelión de los grupos sojuzgados y otros al agotamiento de los recursos naturales explotados por los teotihuacanos. Los tributos de guerra implicaban la apropiación de los recursos naturales provenientes de regiones sometidas y, por lo tanto, una economía local subsidiada. En cualquier caso, el agotamiento de los recursos locales y los conflictos por el uso de productos externos parecen haber sido factores del colapso. La sobreexplotación de los recursos naturales, junto con la falta de desarrollo tecnológico suficiente para aprovechar los suelos fértiles aunque propensos a inundarse de la franja lacustre, resultó decisiva para determinar el repentino fin de esta civilización.⁴

Varias culturas distintas hicieron su hogar alrededor del sistema lacustre antes y después de los asentamientos de las tribus aztecas. Un conjunto de pueblos eventualmente rodeaba este sistema en la parte baja de la cuenca. El desarrollo de la técnica agrícola denominada chinampa, basada en la irrigación de los campos elevados sobre las márgenes inundables de los lagos y la construcción de canales y sistemas de control del agua, produjo un gran aumento de población. Se estima que para fines del siglo XV la población total de la cuenca alcanzaba el millón y medio de personas, distribuidas en más de 100 poblados. Para entonces, la región era tal vez el área urbana más grande y densamente poblada del mundo.

Alrededor del año 1325, los aztecas fundaron sobre una isla baja e inundable, sobre terreno arcilloso, la ciudad de Tenochtitlán, que se transformó en unos cuantos siglos en la capital del imperio y centro político, económico y religioso de Mesoamérica.⁵ Aunque ambientalmente variada, la productividad potencial de la cuenca estaba limitada por varios factores, incluyendo sequías, heladas e inundaciones. Para compensar esto, los aztecas se dedicaron a la pesca y la caza, pero estas actividades requerían un esfuerzo mucho mayor por unidad producida que la agricultura tradicional. inclusive la agricultura de chinampas, que es menos vulnerable que la agricultura de temporal, requería la remoción de cantidades de suelo y lodo desde los canales hacia las parcelas.⁶ Ocasionalmente, la caza excesiva de grandes herbívoros forzó a los habitantes de la cuenca a alimentarse de pequeños animales e insectos, así como a consumir quelites —hierba propia de la maleza de las chinampas— como fuente de proteína, práctica común aún en México.⁷

A pesar de estas innovaciones para obtener complementos alimenticios, el crecimiento poblacional presionó de manera gradual a que los aztecas le hicieran la guerra a sus vecinos. Los aztecas obligaban a los pueblos conquistados a pagarles tributo y la apropiación de estos productos se volvió cada vez más importante conforme evolucionó el sistema de gobierno azteca. En el cenit del imperio azteca, Tenochtitlan importaba anualmente alrededor de 7,000 toneladas de maíz, 5,000 de frijol, 4,000 de chíá y 4,000 de amaranto.⁸ grandes cantidades de chiles secos, semillas de cacao, pescado seco, algodón, fibras de henequén, vainilla, miel y frutas se encontraban entre los demás productos que normalmente eran llevados a la ciudad.

Los españoles utilizaron los conflictos creados por este sistema para sacar ventaja. Cortés y sus hombres establecieron una alianza con los tlaxcaltecas, quienes se encontraban entre los más presionados por las demandas aztecas para el pago de tributo agrícola. Gracias a esta alianza fueron capaces de conquistar el imperio azteca con solo un puñado de soldados españoles. Una reducción impresionante en la población de la cuenca se presentó después de la conquista, en buena medida por la influencia de las nuevas enfermedades.⁹ Un siglo después de la llegada española la población de la cuenca había caído por debajo de los 100,000 habitantes.

1. Whitmore, T. M. y B. L. Turner II, 1986. "Population Reconstruction of the Basin of Mexico: 1150 B. C. to Present", Technical Paper, núm. 1, en Millenian Longwaves of Human Occupance Project, Clark University., Worceste, Mass.

Whitmore, T. M., *et al.*, 1991. "Long-term Population Change", Turner II, B. L. (ed.), *The Earth as Transformed by Human Action*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 25-39.

Ezcurra, E., 1990. De las chinampas a la megalópolis: el medio ambiente en la Cuenca de México, FCE, México.

_____, 1990. "Basin of Mexico", en B. L. Turner II *et al.* (eds.), *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Change in the biosphere over the Past 300 Years*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 577-588.

_____, 1992. "Crecimiento y colapso en la Cuenca de México", en *Ciencias*, núm. 25, pp. 13-27.

2. Whitmore, T. M. y B. L. Turner, 1986; Whitmore *et al.*

3. Millon, R., 1970. "Teotihuacan: Completion of a Map of the Giant Ancient City in the Valley of Mexico", *Science*, núm. 170, pp. 1077-1082; Parsons, J. R., 1976. "Settlement and Population History of the Basin of Mexico", en E. R. Wolf (ed.), *The Valley of Mexico: Studies in Prehispanic Ecology and Society*, University of New Mexico Press, Albuquerque, pp. 69-100.

4. Cook, M., 1947. "The Interrelation of Population, Food Supply, and Building in pre-Conquest Central Mexico", en *American Antiquity*. vol. 8, núm. 1, pp.45-52. E. Ezcurra, 1992, Véase también Sanders, W T, J. R. Parsons y R. S. Santley, 1979. *The Basin of Mexico: Ecological Process in the Evolution of a Civilization*, Academic Press, NewYork.

5. Calneck, E. E., 1972. "Settlement Pattern and Chinampa Agriculture at Tenochtitlan", en *American Antiquity*, núm. 36, pp. 104-115. (traducción en T. Rojas R., op. cit, pp....)

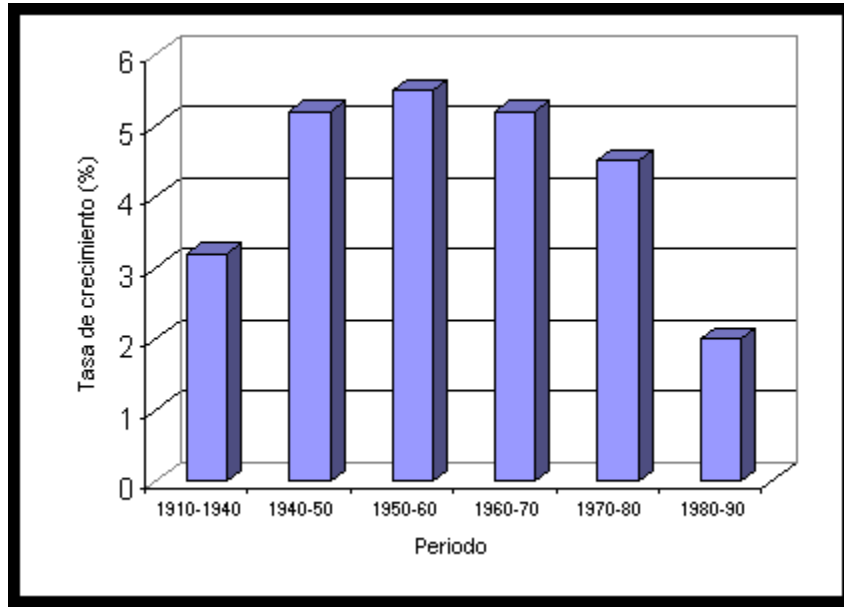
6. Armillas, P, 1971. "Gardens in Swamps" en *Science*, núm. 174:653-661. (Traducción al español: T., Rojas (ed.) *Agricultura chinampera*. Chapingo, México, pp.

7. Niederberger, C., 1987. "Paléopaysages et archéologie pré-urbaine du Bassin de Mexico, en *Centre D'Etudes Mexicaines et Centroaméricaines, Collection Études Mésoaméricaines*, vols. I y II. Ortiz de Montellano, B, 1975. "Empirical Aztec Medicine", en *Science*, núm. 188: 215-220.

8. López Rosado, D., 1988. *El abasto de productos alimenticios en la Ciudad de México*. FCE, México.

9. León-Portilla, M., A. M. Garibay y A. Beltrán, 1972. *Visión de los vencidos: relaciones indígenas de la Conquista*, UNAM, México.

Gráfica 1



Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1994. XI Censo General de Población y Vivienda, 1990. México. Instituto de Geografía, 1989. Sistema urbano, crecimiento espacial de las principales ciudades en Atlas nacional de México, UNAM, México; Gerencia de Aguas del Valle de México, 1995. Informe interno: Uso del agua. México, D.F. así como proyecciones realizadas por los autores.

De 1953 a 1980 la tasa de crecimiento poblacional del área urbana de la Ciudad de México fue de 5.2%. En 1940, el asentamiento urbano cubría 90 km² (0.9% de la cuenca). En 1950, ocupaba 240 km², en la década de 1960, 384 km², en 1980, 838 km², y en 1990, 1,161 km².⁹ Actualmente, la megalópolis cubre más del 12% de la cuenca, conformada por 16 delegaciones en el Distrito Federal y 26 municipios en el Estado de México.

El crecimiento de la ciudad ha pasado por cuatro etapas durante el presente siglo (véase gráfica 2).

Durante la primera, de 1900 a 1930, el centro creció, aumentando tanto en población como en actividades económicas. Durante la segunda etapa, que va de 1930 a 1950, se dio una expansión de las periferias y la ciudad tuvo que crecer para cubrir con las delegaciones del D.F. que rodeaban a la zona central. En algún momento entre 1930 y 1940 el primer municipio del estado de México pasó a formar parte del área conurbada. El crecimiento acelerado tuvo lugar durante el tercer periodo, de 1950 a 1980, cuando la ciudad se expandió hacia el norte, abarcando varios municipios del Estado de México y la población deseosa de contar (soared) con acceso a tierra barata, comunicaciones nuevas y servicios básicos. A comienzos del cuarto periodo, 1980, la Ciudad de México estaba compuesta de 16 delegaciones en el D.F. y 17 municipios en el Estado de México. Esta fase ongoing abarca la fusión de varias áreas metropolitanas en las tierras altas mexicanas: la Ciudad de México hoy abarca 16 delegaciones y 26

1910	0.70	29.65	24.28	1.70	0	1.70	210
1940	1.80	90.30	21.37	4.30	0	4.30	206
1950	3.00	*	*	11.00	0	11.00	317
1960	5.20	383.85	14.09	16.60	3.50	20.10	334
1970	8.70	*	*	28.70	12.30	41.00	407
1980	13.80	838.07	16.47	36.00	14.00	50.00	313
1980	17.00	1,160.92	14.64	43.50	19.50	63.00	320

Suministro de agua

El manejo del agua ha sido un factor fundamental en el establecimiento y evolución de las diferentes culturas de la cuenca. En los tiempos prehispánicos, los aztecas usaban el agua de los pozos artesianos ubicados dentro de la zona lacustre y eran autosuficientes en su uso de los recursos acuáticos.¹⁵ La extracción de agua del subsuelo comenzó en 1847 y proporcionó suficiente agua para los habitantes de la Ciudad de México hasta mediados de 1960.¹⁶ A partir de entonces, el agua externa se ha bombeado de dos fuentes fuera de la ciudad, las cuencas de los ríos Lerma y Cutzamala. Actualmente, la Ciudad de México depende de estas fuentes externas para atender un tercio de su demanda de agua. Como en el caso de otros recursos naturales, durante el presente siglo la cuenca ha pasado de un alto nivel de autosuficiencia en recursos acuíferos a una dependencia significativa de importaciones provenientes de otras partes de México. Los mejores suelos hoy están ocupados por casas y buena parte de la superficie está contaminada o en riesgo de serlo. Esto resulta obvio en la ciudad satélite de Xochimilco, al sur de la ciudad, donde la práctica de la agricultura de chinampas (campos agrícolas elevados) está desapareciendo rápidamente debido al descenso en el nivel del manto freático y por la contaminación de los canales de agua.

El consumo actual de agua en la Ciudad de México es de 63 m³/s.¹⁷ De este volumen, 1.5 m³/s provienen de los pocos sistemas de superficie sobrevivientes hoy en la cuenca, mientras que 42 m³/s se extraen del acuífero. El resto proviene de las cuencas del Lerma y Cutzamala (6.0 m³/s de la superficie del primero y 13.5 m³/s de agua superficial del segundo).¹⁸ Así, del total de agua utilizada en la Ciudad de México, el 69% se obtiene dentro de la cuenca y 31 de externas (véase la figura 3). Esto tiene un impacto considerable sobre las cuencas del Lerma y Cutzamala, donde el agua también es muy escasa. La cuenca del Lerma alimenta al lago de Chapala en Jalisco, el cuerpo de agua dulce más grande del país. Los niveles del lago de Chapala han decrecido durante los últimos 20 años (el decremento acumulado es de alrededor de 5 m) y este fenómeno es parcialmente atribuible al bombeo de agua hacia la cuenca de México.

Mapa 1

Nota: Las líneas numeradas indican las curvas de nivel en metros.

Fuente: Instituto de Geografía, 1989. Sistema urbano, crecimiento espacial de las principales ciudades en Atlas nacional de México. UNAM, México.

La precipitación media anual en la cuenca es de 744.2 millones de m³ (23.6 m³/s). Aproximadamente 50% de esto se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos. Parte del agua también se filtra a partir de las fugas en el sistema de distribución.¹⁹ Las fugas pueden representar hasta un 25% del flujo distribuido por la ciudad, del orden de los 16 m³/s. Así, la recarga total de los acuíferos de la cuenca es de 55.5 m³/s. De estos, 42.0 m³/s son utilizados en la ciudad, el resto se utiliza en la agricultura dentro de la propia cuenca.²⁰ De esta manera, mientras que la recarga apenas reemplaza el 50% del volumen de extracción, existe un déficit de más de 800 millones de m³ al año. El suministro de agua diario a la Ciudad de México es de alrededor de 300 litros por persona, más que en muchas ciudades europeas. Sin embargo, muchas partes de la ciudad sufren de escasez crónica de agua; el uso industrial de la misma es ineficiente y sólo se recicla el 7% de las aguas residuales. Al menos 25% del suministro se pierde a través de un ineficiente sistema de pipas.

A inicios de este siglo, la Ciudad de México comenzó a hundirse por la sobreexplotación del manto acuífero. En 1954 se decretó una prohibición en torno a nuevos pozos y algunos de los que ya existían se reubicaron en el norte y sur de la cuenca. Desde entonces, la tasa de hundimiento se estabilizó en cerca de 6 cm al año en el área central. Sin embargo, en los límites del área urbana, la velocidad de hundimiento alcanza entre los 15 y 40 cm anuales. Algunas áreas del centro de la Ciudad de México se han hundido nueve metros desde inicios de este siglo.²¹

Una serie de áreas hidrogeológicamente vulnerables se han identificado con precisión en cuanto al transporte de contaminantes del manto acuífero.²² Las zonas de transición entre las laderas y el fondo arcilloso de la cuenca son muy permeables y los contaminantes dejados sobre estas superficies fácilmente pueden filtrarse hacia los acuíferos. La arcilla lacustre o el basalto fracturado, que pueden ser más permeables de lo que se supuso, son otras dos áreas de riesgo potencial para la contaminación del subsuelo. Antes los materiales arcillosos se consideraban una barrera efectiva contra la filtración de contaminantes de fuentes como lagos contaminados y lixiviados provenientes de rellenos sanitarios. Sin embargo, la integridad de las arcillas, puede haber sido expuesta por el bombeo excesivo del acuífero junto con la fractura natural de las arcillas más secas, poniendo en riesgo la calidad del agua subterránea.²³

El monitoreo bacteriológico, físico y químico del agua en la Ciudad de México muestra deterioro en la calidad atribuible a la sobreexplotación del acuífero y a la extracción de agua de formaciones geológicas con altas concentraciones de ciertos iones (por ejemplo, hierro o manganeso). Se han obtenido conteos bacteriológicos altos en algunos pozos pero esto se atribuyó a la falta de sellado que los proteja de las infiltraciones de las corrientes superficiales a lo largo de la cubierta.²⁴

El agua puede contaminarse también durante la distribución por cambios en la presión de las líneas de suministro, que puede producir fugas o filtración proveniente de éstas. Las dependencias de gobierno monitorean constantemente la calidad del agua pero la información no se publica ni es fácil de obtener por parte del público.²⁵ Se le presta poca atención a los compuestos orgánicos en el agua subterránea aún cuando en las zonas industriales está ampliamente extendido el uso de solventes industriales e hidrocarburos aromáticos derivados de productos del petróleo. En la Ciudad de México, donde se ubican casi el 50% de las industrias de todo el país, este tipo de compuestos

son generados y depositados dentro del área urbana y no se han llevado a cabo evaluaciones de los riesgos que implica este nuevo tipo de contaminantes.

Tratamiento de aguas residuales

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de México incluye varios canales de alcantarillado no alineados, alcantarillas, reservorios, lagunas, estaciones de bombeo y un sistema de drenaje profundo.²⁶ Alrededor del 75% de la población tiene acceso al sistema, el resto utiliza fosas sépticas y pozos de absorción.²⁷ Las aguas residuales caseras colectadas por el sistema de alcantarillado se combinan con las industriales, y durante la temporada de lluvias, con la que proviene de éstas. Aproximadamente el 90% de los residuos líquidos de la industria, que suman anualmente cerca de 1.5 millones de toneladas, se descargan sin tratamiento alguno al sistema de drenaje de la ciudad. Ya que en este sistema converge una considerable cantidad de desechos domésticos e industriales, existe la posibilidad de que los canales de alcantarillado y no alineados dejen libres cantidades significativas de contaminantes en la superficie, con un alto riesgo de filtración. Investigaciones de campo dirigidas a evaluar la migración de contaminantes orgánicos específicos debajo de algunos de los canales mostraron que algunos compuestos orgánicos están filtrándose hacia el manto acuífero.²⁸

Un total de 27 plantas tratan una porción de las aguas residuales generadas en la Ciudad de México. Estas plantas operan generalmente a un 50% de su capacidad y tratan aproximadamente 4.3 m³/s, o cerca del 7% de las aguas residuales totales de la ciudad.²⁹ Éstas son enviadas hacia el norte de la misma, donde una parte se utiliza en la irrigación en un área de cerca de 58,000 ha en el estado de Hidalgo.³⁰ Estas aguas se usan también para producir electricidad en la presa Zimapán en la cuenca de Tula, que tiene una capacidad instalada de 280 megawatts (MW).³¹ Por último, las aguas residuales salen al Golfo de México a través de sistema Tula-Moctezuma-Pánuco.

Mapa 2

Fuente: Gerencia de aguas del Valle de México, 1995. Informe interno: Uso del agua. México.

Calidad del aire

Los altos índices de contaminación atmosférica que existen en México desde hace más de 20 años son otro problema serio asociado con el crecimiento incontrolado de la ciudad, y en este caso la Ciudad de México aclara el punto para otras megaciudades.³² La situación se vuelve particularmente crítica durante la temporada de frío (de diciembre a febrero) cuando las bajas temperaturas estabilizan la atmósfera sobre la cuenca y los contaminantes del aire se acumulan en las masas estacionarias de aire frío.³³ Estudios de plomo y bromo en el aire mostraron que la mayor parte de los contaminantes del aire provienen de los automóviles.³⁴ Durante los años 80, el número de autos en la ciudad aumentó a una tasa anual por encima del 5% (en 1979

había cerca de dos millones de autos, en 1994, se habían casi duplicado). Las partículas suspendidas fueron el peor contaminante durante inicios de la década de 1980, y en algunas partes de la ciudad sus concentraciones excedieron las normas mexicanas de calidad del aire más de la mitad del tiempo.³⁵ Entre 1991 y 1994 el ozono se convirtió en el contaminante más significativo y sus concentraciones excedían las normas más de 90% del tiempo (en 1995 se reportaron 345 días por encima del límite admisible de 220 microgramos por metro cúbico (ug/m³). El problema se volvió tan crítico que a inicios de 1990 la recientemente creada Comisión Nacional de Derechos Humanos le pidió a un grupo de trabajo que recopilara un reporte detallado sobre el asunto, el cual se conserva como uno de los análisis más completos del problema.³⁶

Hasta 1986, el plomo era probablemente el contaminante más dañino en la atmósfera.³⁷ Anteriormente, en la Ciudad de México se vendía sólo gasolina con plomo y la concentración de éste en el aire aumentaba de forma constante con la cantidad de automóviles, alcanzando un valor de 5ug/m³ en 1968 y de alrededor de 8 ug/m³ en 1986 (cinco veces la norma mexicana de 1.5 ug/m³).³⁸ Entre los muchos efectos deletéreos, las altas concentraciones de plomo en la sangre retardan el desarrollo intelectual en los niños y, en general, alteran el desarrollo neurológico humano.³⁹ El problema del plomo se volvió tan severo en septiembre de 1986 que PEMEX sustituyó la gasolina que vendía por una con bajo contenido de plomo (en donde los aditivos oxidantes sintéticos reemplazaron parcialmente a los compuestos de plomo). Reportes independientes muestran que como resultado de este esfuerzo los niveles de plomo han caído de manera notable. Se estima que las emisiones de plomo a la atmósfera se redujo de alrededor de 2,000 toneladas al año en 1986 a 150 toneladas anuales en 1994. Como resultado de esto, se observó una reducción sostenida de la proporción de escolares con altos niveles de plomo en la sangre.

Desafortunadamente, sin embargo, la nueva gasolina tuvo su lado de efectos inesperados y dañinos. Mientras que las concentraciones atmosféricas de plomo caían, aumentaba el smog fotoquímico (véase gráfica 4). Por una reacción entre la radiación ultravioleta del sol, el oxígeno atmosférico y los residuos de la combustión de las gasolinas sin plomo o bajas en plomo, aumentaron rápidamente las concentraciones de ozono.⁴⁰ Actualmente, la concentración media es de cerca de 0.15 partes por millón (ppm), diez veces la concentración atmosférica natural y casi el doble del máximo permitido en EUA y Japón. Tal nivel es lo suficientemente alto como para dañar a buena parte de la vegetación urbana.⁴²

El ozono se forma mediante una compleja cadena de reacciones que involucran a la radiación solar, compuestos orgánicos reactivos (por ejemplo, los hidrocarburos consumidos parcialmente) y compuestos inorgánicos como el óxido de nitrógeno.⁴³ Sin embargo, la reacción en cadena se presenta de manera gradual, no instantánea. En consecuencia, las concentraciones más altas de ozono se presentan hacia mediodía durante los días soleados. Debido a que los vientos dominantes soplan desde el noreste, la contaminación por ozono afecta principalmente la zona residencial del sudoeste de la ciudad. Las zonas industrializadas del norte y las áreas centrales con denso tráfico vehicular no resultan afectadas de forma tan severa. Durante 1994, los niveles de ozono de la sección suroeste rebasaron la norma (0.11 ppm o 220 ug/m³) durante 345 días y generaron quejas sobre la salud de parte de la población.⁴⁴ Durante 95 días, la concentración del ozono estuvo por encima de las 0.24 ppm (480 ug/m³), un nivel considerado en todo el mundo dañino tanto para los seres humanos como para las plantas. A principios de 1990, los convertidores catalíticos se volvieron obligatorios para los autos nuevos que se venden en México. Se espera que los

convertidores pudieran reducir emisiones de los compuestos orgánicos reactivos que son subproductos de la combustión de gasolina sin plomo. No obstante, las concentraciones de ozono, se han mantenido persistentemente altas. La lenta renovación del parque vehicular existente y el pobre mantenimiento de los convertidores contribuyen a una lenta respuesta a las nuevas normas automotrices. Un crecimiento anual del 5% en la cantidad de vehículos también juega un papel negativo.

Gráfica 4

Nota: La línea vertical punteada marca la fecha (septiembre de 1986) cuando se redujo en la gasolina regular la concentración de plomo tetraetilico.

Fuente: L. Calderón Garcidueñas et al., 1992a. Histopathologic Changes of the Nasal Mucosa in Southwest Metropolitan Mexico Inhabitants. *American Journal of Pathology* 140 (1): 225-232. H. Bravo, 1987.. La contaminación del aire en México. Fundación Universo Veintiuno, México, p.296.

Un estudio realizado por varios patólogos evaluó los cambios histopatológicos en la mucosa nasal de los habitantes de la porción sudoeste de la ciudad.⁴⁵ En un experimento cuidadosamente diseñado compararon la mucosa nasal de tres grupos de trabajadores de la salud y empleados navales. El grupo 1 se conformó con residentes antiguos del puerto de Veracruz (una zona con bajos niveles de ozono), el grupo 2 con gente originaria de localidades sin contaminación que habían estado en la Ciudad de México menos de 31 días y el grupo 3 con personas que habitaron la zona sudoeste de la Ciudad de México más de dos meses (la media de residencia de este grupo fue de 10 años). Noventa y ocho por ciento de los pacientes del grupo 3 mostraban hiperplasia de las células basales (multiplicación excesiva de las células normales en un órgano o tejido) comparado con el 5% del grupo 1. Además, la hiperplasia de los pacientes del grupo 1 formaban pequeños parches que ocupaban menos del 25% de la superficie de la biopsia. En los pacientes del grupo 3, por el contrario, cubría más del 50% del tejido muestra en cerca de la mitad de los pacientes evaluados. Mientras que nadie del grupo 1 mostró efectos adicionales (¿secundarios?), los del grupo 3 presentaban varios grados de metaplasia celular escamosa (55% de los pacientes), queratinización (23%), displasia epitelial (81%), proliferación submucosa vascular (100%) e inflamación crónica de la submucosa (98%). Todos los pacientes del grupo 2 mostraron grados intermedios de incidencia con respecto a los otros dos grupos. Aunque los autores sugieren que los altos niveles de ozono podrían ser la causa principal de estos cambios histopatológicos, no desechan la hipótesis de "que otros carcinógenos ambientales potenciales pueden estar involucrados" en las extremadamente altas incidencias de anomalías en el tejido del tracto respiratorio hallada entre los habitantes de la Ciudad de México.

Otros contaminantes impactan de manera considerable en la atmósfera de la ciudad, pero su distribución espacial es muy diferente a la del ozono. Las partículas suspendidas y el dióxido de sulfuro se hallan en sus concentraciones más altas en las zonas industriales del norte y noreste de la ciudad.⁴⁶ En la porción central, donde el tráfico vehicular es más intenso, las concentraciones de monóxido de carbono son más altas. Un estudio reciente demuestra que la concentración de monóxido de carbono en el centro de la Ciudad de México varía entre 34 y 132 ug/m³, muy por encima de la norma oficial y lo suficientemente alta como para afectar fisiológicamente a los seres humanos en menos de una hora.⁴⁷

La contaminación atmosférica también influye en la calidad del agua de lluvia. De 1983 a 1986 la acidez de la lluvia en la Ciudad de México aumentó significativamente debido a las concentraciones crecientes de sulfuro y óxidos de nitrógeno en el aire.⁴⁸ En las partes urbanas de la cuenca, el pH promedio de la lluvia es de alrededor de 5.5. No obstante, en unos pocos casos, se han registrado valores tan bajos como 3.0. Pero los efectos de la contaminación del aire no están restringidos a las áreas urbanas y tiene un impacto considerable sobre los ecosistemas que rodean a la Ciudad de México. Por ejemplo, los fitopatólogos han descubierto que el ozono producido en la ciudad y llevado por el viento a la Sierra del Ajusco al sudoeste de la cuenca, ha reducido significativamente el contenido de clorofila y el crecimiento de las especies dominantes de pino en las altas montañas que rodean al valle.⁴⁹ Estos bosques recogen agua de lluvia para la ciudad. En la actualidad hay un sorprendente nivel de muerte de bosques en las montañas que rodean a la cuenca. Los escarabajo descortezador (*scoltyd bark*) que atacan a las coníferas son la causa inmediata, pero muchos forestales asocian la nueva y más marcada agresividad de esta peste (que en el pasado no era capaz de producir una mortalidad amplia de árboles) en las estresantes condiciones ambientales generadas por los altos niveles de ozono junto con los efectos de la lluvia ácida. Claramente, la contaminación atmosférica puede haber tenido un impacto considerable en el ya roto balance (equilibrio) del agua, en especial en las laderas de la cuenca, y así sobre la disponibilidad y calidad del agua potable a largo plazo.

Centralismo y subsidios ambientales

El rápido desarrollo y el enorme poder del Estado azteca se basaban en su control político sobre buena parte de Mesoamérica y en la subordinación de cientos de diferentes grupos que le pagaban tributo al emperador. La riqueza mexicana dependía en gran medida de la concentración de bienes de gran valor (metales, obsidiana, frutas tropicales, alimentos con alto contenido proteínico) y trabajo obtenido como tributo de tales grupos. La cuenca de México, donde apareció originalmente la cultura azteca, se convirtió en un ecosistema subsidiado, que recibía entradas de recursos naturales y energía provenientes de otras áreas.

Esta tradición, mantenida durante el dominio español, alcanza hoy proporciones inmensas. Pocos ecosistemas en el mundo son tan distantes de la autosuficiencia como la cuenca de México.⁵⁰ Con la mayor parte de sus bosques talados, y la mayoría de los terrenos chinamperos convertidos en fraccionamientos para el desarrollo urbano, y prácticamente con todos sus lagos desecados, el suministro de materias primas y energía generados dentro de la cuenca son insuficientes para inclusive una pequeña fracción de los 18 millones que allí residen. Como consecuencia, grandes cantidades de alimentos, energía, madera, agua, materiales de construcción, y muchos otros productos se importan de otros ecosistemas a fin de aumentar el flujo de energía y materiales. Con el 20% de la población nacional, la cuenca consume aproximadamente un tercio del petróleo y la electricidad del país.

Dejando de lado los severos problemas ambientales, el modelo mexicano de desarrollo dio prioridad al mejoramiento de la calidad de vida en las grandes ciudades (donde la demanda social está más concentrada). De 1950 a 1980 la cuenca experimentó evidentes mejoras en los indicadores demográficos y sociales? (domestic) de calidad de vida. Sin embargo, en el ámbito nacional, estos mismos indicadores muestran un cambio menor. Las diferencias en las tendencias son más marcadas si se compara el

desarrollo de la cuenca con los de las áreas rurales deprimidas de donde proviene la mayoría de los migrantes. Sin considerar los problemas de salud generados por la contaminación, la esperanza de vida al nacer y la mortalidad infantil son mejores en la Ciudad e México que en el resto del país.⁵¹ Aunque las tasas de mortalidad han bajado considerablemente entre 1950 y 1990, se ha dado un cambio notable en las principales causas de mortandad (véase cuadro 3). Durante la primera mitad del siglo XX, las enfermedades infecciosas eran las causas más comunes de muerte, hoy lo son las asociadas con la vida industrial moderna y la contaminación ambiental, como enfermedades del corazón y cáncer junto con neumonía y gastroenteritis, dos enfermedades infecciosas asociadas con la degradación del aire y el agua se hallan entre las cinco primeras causas de mortalidad.

Cuadro 3

Principales causas de muerte en México en 1955-1957 y 1980

1955-1957		
Causas de muerte	Tasa	Porcentaje
1. Gastroenteritis	227.5	17.5
2. Influenza y neumonía	202.0	15.5
3. Enfermedades infecciosas en infantes	135.3	10.4
4. Enfermedades del corazón	91.4	7.0
5. Malaria	66.4	5.1
6. Accidentes	48.1	3.7
7. Homicidios	38.0	2.9
8. Tumores malignos (cáncer)	37.8	2.9
9. Bronquitis	31.7	2.4
10. Tuberculosis	31.2	2.4
Otras	390	30.2
1980		
Causas de muerte	Tasa	Porcentaje
1. Enfermedades del corazón	74.9	11.7
2. Accidentes	71.1	11.1
3. Influenza y neumonía	56.9	8.9
4. Enteritis y enfermedades diarreicas	55.1	8.6
5. Tumores malignos (cáncer)	39.2	6.1
6. Males perinatales	39.2	6.1
7. Enfermedades cerebrovasculares	22.6	3.5
8. Cirrosis y otras enfermedades crónicas	22.1	3.5
9. Diabetes	21.7	3.4
10. Diabetes y nefrosis	10.5	1.6
Otras	231.6	35.4

Notas: La primera columna muestra la tasa de mortalidad por cada 10,000 personas y la segunda la distribución porcentual de los diferentes casos.

Fuentes: C. Santos-Burgoa y L. Rojas Bracho, 1992. Los efectos de la contaminación atmosférica en I. Restrepo 8ed.). La contaminación del aire en México. Sus causas y efectos en la salud. CNDH, México, pp. 205.250.

A través del sistema de subsidios ambientales, muchos de los problemas generados por el crecimiento de la Ciudad de México son exportados a las áreas vecinas. Por ejemplo, la escasez crónica de agua, es en buena medida transferida a las cuencas del Lerma y el Cutzamala, de donde se importa el agua. Por otra parte, las aguas residuales, enviadas a la cuenca de Tula en el estado de Hidalgo, de donde fluyen hasta llegar al Golfo de México. De esta manera, la contaminación generada por las aguas no tratadas se extiende a otras regiones geográficas. En la cuenca de Tula, el agua residual de la Ciudad de México se utiliza para regar una variedad de productos agrícolas, incluyendo parcelas con productos vegetales. Esta práctica ha contribuido a la difusión de enfermedades parasitarias como la amebiasis y la cisticercosis y también ha contaminado suelos adecuados para la agricultura. En un año, cerca de 2,300 kg de detergentes o 750 kg de boro son depositados sobre el suelo.⁵² Aunque la práctica de regar con aguas negras las cosechas ha sido legalmente prohibida en la región, los campesinos no tienen alternativas a la mano y continúan echando mano de esta práctica.

Debido a lo irregular de la topografía de las tierras altas mexicanas, el costo energético de suministrar agua a la Ciudad de México de fuentes externas y desechar las aguas residuales fuera de la cuenca es enorme. Aunque no hay datos oficiales, se pueden hacer cálculos con facilidad. Subir un metro cúbico de agua a una altitud de 10 m requiere un insumo de energía fija de 98 kilojoules más la energía requerida para la eficiencia mecánica del sistema. Con esto podemos calcular que el mover 43.5 m³/s de agua obtenida dentro de la cuenca, los 19.5 m³/s de las fuentes externas y las aguas residuales enviadas al sistema de drenaje profundo, necesita un promedio aproximado de 370 MW.⁵³ Esto representa un costo diario de casi \$ 900,000 para obtener agua a lo que debemos añadir 20 centavos al costo de cada metro cúbico de agua.

Aparte de las interpretaciones ecológicas de estos subsidios, la concentración urbana de la Ciudad de México ha implicado la concentración de riqueza y un subsidio económico del resto de la nación a los residentes en la capital. El transporte público en la Ciudad de México cuesta aproximadamente 7 centavos de dólar por viaje, sin importar la distancia. El Metro, que utilizan alrededor de 4 millones de pasajeros al día, genera ingresos diarios por \$ 280,000. En 1986 el costo real por operar el sistema era del orden de \$ 1.5 millones por día, actualmente probablemente sea más de \$ 2 millones.⁵⁴ La diferencia es en última instancia pagada por quienes toman taxis, muchos de los cuales no se benefician directamente del servicio.

Cuesta alrededor de 30 centavos por metro cúbico distribuir agua en la Ciudad de México. El precio refleja los altos costos de bombear el agua desde la cuenca del Lerma a la Ciudad.⁵⁵ El gobierno gasta cerca de \$ 450 millones anuales para suministrar agua a esta urbe. Los ingresos obtenidos por el servicio son de \$42 millones, menos del 10% del costo total. Otros servicios, como electricidad, gas, recolección de basura y conservación de vías son subsidiadas en todo el país, no sólo en la cuenca de México. Sin embargo, debido a que la ciudad recibe estos servicios en una proporción mayor que el resto de la nación, tiene una porción mayor del subsidio. Esta asimetría, nuevamente, es, en particular, cierta para las áreas que exportan sus productos a la ciudad pero no se benefician de los precios bajos de los servicios urbanos.

La contaminación atmosférica también tiene un costo oculto grande. En un estudio reciente, un investigador cuantificó los efectos que sobre la salud tienen los contaminantes en la Ciudad de México por medio de curvas normales de respuesta a dosis (standard dose-response curve) y calculó el costo económico de la contaminación integrando el costo individual promedio asociado con cada contaminante (en términos de costo de tratamiento, salarios bajos o muerte prematura) para el conjunto de la población de esta ciudad (estimada en 17 millones en 1992).⁵⁶ Este estudio estimó el costo total anual de contaminación por partículas de materia en \$850 millones, el del ozono en \$102 millones y el del plomo atmosférico en \$125 millones. Así, en conjunto el costo "oculto" de la contaminación atmosférica, estimados por los efectos conocidos por la contaminación sobre la salud humana, llega a alrededor de \$1.1 mil millones anuales (aunque el impacto del plomo parece haberse reducido desde 1992, también es cierto que los efectos sobre la salud del ozono han aumentado).

Los costos monetarios últimos de los efectos de la contaminación ambiental en los bosques de la cuenca no han sido calculados pero con toda seguridad son altos. Los árboles juegan un papel fundamental en el control de la erosión, conservación de la biodiversidad ecológica, regulación del ciclo del agua y recarga de los acuíferos. Debido al desequilibrio en el agua del subsuelo en la cuenca nadie ha calculado en detalle ni los costos futuros de la sobreexplotación de los acuíferos ni el valor futuro de la recarga que se evita con la deforestación. Este déficit pone en duda la sustentabilidad a mediano plazo de la cuenca y actúa como una limitante del desarrollo futuro.

Aunque el tratamiento y reuso del agua no han sido componentes principales del manejo del agua en la ciudad, hay esfuerzos gubernamentales por mejorar las descargas de aguas negras, iniciándose en 1956 cuando se instaló la primera planta de tratamiento de aguas residuales. Los dos sistemas más comunes para el tratamiento son los pozos de estabilización y los lodos activados. En 1993, se instaló una planta de tratamiento de aguas residuales basadas en lodos activados con una capacidad de 1 m³/s, con un costo de entre \$20 y \$30 millones. En 1994 el costo de tratar el agua, incluyendo los costos de operación y recuperación de la inversión era de alrededor de 20 centavos por metro cúbico.⁵⁷ Si las 27 plantas de tratamiento de la Ciudad de México operaran a toda su capacidad en lugar de al 50% podrían manejar cerca de 8.6 m³/s de aguas residuales con un costo anual de \$ 55 millones.⁵⁸ Hasta fechas recientes, el gobierno subsidiaba el tratamiento de aguas residuales. La nueva legislación se ha puesto en marcha para transferir los derechos y obligaciones a los usuarios de los recursos acuíferos nacionales y convierten al sector privado en responsable por la descarga de aguas residuales de calidad aceptable.⁵⁹

Problemas de sustentabilidad y respuesta gubernamental

A juzgar por la situación que guarda tanto el aire como el agua en la cuenca de México, y por los inmensos subsidios económicos y naturales que la nación en su totalidad proporcionan a la continuidad de esta área, podemos concluir que en su situación actual la megalópolis que es la Ciudad de México resulta muy poco sostenible. Si el uso del agua, que duplica la recarga normal, se proyecta a futuro, la cuenca sufrirá escasez de agua en gran escala en algún momento durante los

próximos 30 años, los cuales se verían gravados por los próximos aumentos de población y el continuo crecimiento urbano. Otras cuestiones importantes son los conflictos con las cuencas vecinas. Si se obtiene más agua de fuentes externas, es seguro que estos conflictos aumentarán en intensidad. En algunas áreas la calidad del agua ya se encuentra por debajo de la norma de potabilidad y el aumento tanto en las aguas residuales como en la contaminación no presagian ninguna mejoría a corto plazo. La cada vez peor calidad del agua deberá convertirse en un problema de salud central durante las próximas décadas. A pesar de los esfuerzos por reducir las emisiones a la atmósfera, el rápido crecimiento en el número de automóviles (casi 100% cada diez años) también pone en duda la capacidad para mejorar la calidad del aire de la cuenca. Además, cerca del 48% de todas las industrias mexicanas se encuentran ubicadas en esta cuenca, lo que sugiere que existirá una demanda creciente sobre los recursos naturales, el aire, el agua así como crecientes cantidades de residuos sólidos y líquidos para los cuales no existen sistemas adecuados de tratamiento y disposición.

Los problemas de la Ciudad de México son tan importantes que han demandado una atención creciente de parte de los responsables de la formulación de políticas. En 1972 se creó una Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente dentro de la Secretaría de Salubridad y Asistencia. En 1982, se creó la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología a fin de atender las cuestiones relacionadas con la calidad ambiental urbana. También le fueron asignadas algunas funciones de protección de los recursos naturales. En 1992, un sistema de drenaje en Guadalajara explotó debido al derrame de desechos de combustible dentro de las pipelines. Como resultado, cientos de personas murieron. Como consecuencia, la administración federal del medio ambiente se dividió en dos nuevas instituciones: el Instituto Nacional de Ecología, autorizada para desarrollar los proyectos de regulación ambiental, administrar los esfuerzos de protección ambiental y coordinar la administración ambiental general; y por otra parte, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, a fin de prever el cumplimiento de la legislación ambiental.

Como resultado de las protestas de los ciudadanos por el deterioro de la calidad del aire, el Departamento del Distrito Federal, que administra una grande parte de la Ciudad de México, creó en 1992 la Comisión Metropolitana para la Protección de la Calidad del Aire, con la participación del gobierno del Estado de México y las autoridades federales. El manejo del agua en la cuenca se coordina a través de un complejo conjunto de instituciones federales y estatales, que incluyen al Departamento del Distrito Federal y la Comisión de Agua y Sanidad del Estado de México (en el ámbito estatal) y la Comisión Nacional del Agua y la Secretaría de Salud (a nivel federal).

En diciembre de 1994 se creó una nueva secretaría para cumplir con todas las funciones ambientales a nivel federal, incluyendo las que tiene que ver con el "sector café" (contaminación ambiental) y "sector verde" (manejo de recursos naturales). La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca centralizó las funciones que previamente estaban dispersas entre varias secretarías de estado. Sus funciones incluyen la protección y manejo de los recursos naturales, manejo de residuos y control de la contaminación, administración de los parques nacionales y otras áreas naturales protegidas, y el cumplimiento de la legislación ambiental. Las instancias descentralizadas como el Instituto Nacional de Ecología, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, la Comisión Nacional del Agua, cayeron bajo la jurisdicción de esta poderosa secretaría. La complejidad y tamaño siempre crecientes de las autoridades ambientales ilustra las preocupaciones cada vez mayores en torno a la

calidad ambiental y la degradación de los recursos naturales en México en general y en la cuenca en particular.

Perspectivas del futuro

Aunque la mayor parte de los problemas ambientales en la Cuenca de México alcanzaron proporciones críticas a fines del siglo XX, el desarrollo urbano no es el único culpable. La centralización urbana y política ha sido una tradición en la sociedad mexicana desde el imperio azteca. La Cuenca de México, por más de dos mil años, una de las áreas más densamente pobladas del mundo, ha utilizado históricamente su posición preminente administrativa y política para sacar ventaja sobre otras regiones de la nación. Sin embargo, la industrialización moderna ha exagerado esta tendencia en forma dramática, y es verdaderamente responsable de la urbanización desproporcionada y la distribución desigual de la población y la riqueza. Aunque el crecimiento poblacional en la cuenca está claramente desacelerándose el uso de los recursos naturales ya no es sustentable con las actuales densidades de población. El consumo de energía fósil, la cantidad de autos, la deforestación, y el bombeo del agua del subsuelo de un acuífero críticamente agotado están creciendo a una tasa que a veces supera la del crecimiento poblacional.

En el pasado, el agotamiento de los recursos por un uso inadecuado produjo grandes bajas en la población, lo que muestra que hay límites al crecimiento poblacional en una cuenca cerrada con un nivel tecnológico dado. La contaminación del aire, la escasez de agua, el crecimiento desbocado (desenfrenado) del área urbana, y los siempre crecientes costos económicos y en recursos naturales de mantener la megalópolis sugiere que un proceso similar de limitación de población o inclusive declive de la misma puede presentarse a futuro. En la Ciudad de México, el uso del aire, el agua y suelos como un recurso común (*commons*) es claramente insostenible, y pronto los residentes de la ciudad deberán enfrentar decisiones difíciles y penosas. En nuestra opinión, resulta claro que en el futuro deberán eliminarse los subsidios y que tanto el costo como la calidad de vida en la ciudad empeorarán. Las autoridades han hecho varios intentos durante los últimos años para fijar el precio del agua cercano a su valor real, pero las protestas populares han abortado sus iniciativas. Sin embargo, la capacidad de subsidiar el uso del agua se está volviendo cada vez más reducida y muy pronto llegará a su límite. Los problemas de salud típicos de las sociedades desarrolladas (como las enfermedades del corazón y los tumores malignos) coexisten con problemas relacionados con la contaminación del aire y el agua (como neumonía y enteritis) que son más característicos de los países en desarrollo. Aunque no existen datos sobre este problema, la reducción en la tasa de crecimiento de la Ciudad de México sugiere que para algunos sectores de la población emigrar de la cuenca hacia ciudades medidas es ya una alternativa ventajosa.

Los conflictos en ascenso en trono al uso del agua, la contaminación del aire, la disposición de residuos, los problemas de salud relacionados con el ambiente y el agotamiento de los recursos son todos problemas que comparten la mayoría de la megalópolis del Tercer Mundo. Así, la Ciudad de México es un laboratorio donde prueban los procesos que dan lugar a cambios en la población, los recursos naturales y el uso de la tierra. Proporciona tanto fascinantes como terribles avances/descubrimientos de lo que el futuro puede depararle a muchas de las megalópolis de América Latina y el Tercer Mundo.

Notas

1. World Resources Institute. 1994. *World Resources 1994-95*. New York, Oxford University Press.
2. Sanders, W. T., J. R. Parsons y R. S. Santley, 1979. *The Basin of Mexico: Ecological Process in the Evolution of a Civilization*, Academic Press, New York y Sanders, W. T., 1976. "The Agricultural History of the Basin of Mexico", en E. R. Wolf (ed.), *The Valley of Mexico: Studies in Prehispanic Ecology and Society*, University of New Mexico Press, Albuquerque, pp.101-159.
3. Corona, V. R., 1991. Confiabilidad de los resultados preliminares del XI Censo General de Población y Vivienda de 1990, en *Estudios Demográficos y Urbanos*, vol. 6, núm. 1, pp. 33-68.
4. L. Unikel, 1974. *La dinámica del crecimiento de la Ciudad de México*. SepSetentas, México; C. Stern, 1977. Cambios en los volúmenes de migrantes provenientes de distintas zonas geoeconómicas en H. Muñoz, O. de Oliveira y C. Stern (eds.). *Migración y desigualdad social en la Ciudad de México*. Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM y El Colegio de México, México, pp.115-128; A. M. Goldani, *ibid*. Impacto de los inmigrantes sobre la estructura y el crecimiento del área metropolitana, pp. 129-137.
5. V. Partida, 1987. El proceso de migración a la ciudad de México en G. Garza (ed.). *Atlas de la Ciudad de México*, Departamento del Distrito Federal-El Colegio de México, México, pp. 134-139.
6. E. Calderón y B. Hernández, 1987. Crecimiento actual de la población de México en *Ciencia y Desarrollo* n° 76:49-66.
7. A. M. Goldani, nota 4.
8. Ward, P. M., 1991. *México: una megaciudad. Producción y reproducción de un medio ambiente urbano*, Alianza, México.
9. Instituto de Geografía, 1989. Sistema urbano, crecimiento espacial de las principales ciudades en *Atlas Nacional de México*, México; E. Ezcurra, 1990. *De la chinampas a la megalópolis: El medio ambiente en la Cuenca de México*. FCE, México.
10. Negrete, M. E. y H. Salazar, 1986. "Zonas metropolitanas en México, 1980", en *Estudios Demográficos y Urbanos*, vol. 1, núm. I, pp.97-124; Garza, G., y A. Damián, 1991. "Ciudad de México. Etapas de crecimiento, infraestructura y equipamiento", en M. Schteingart (ed.), *Espacio y vivienda en la Ciudad de México*, El Colegio de México/Asamblea de Representantes del Distrito Federal, México, pp. 21-49.
11. García, G., y M. Schteingart, Ciudad de México: dinámica industrial y estructuración del espacio en una metrópoli semiperiférica, en *Demografía y Economía*, vol. 4, núm. 60, 1984, pp. 581-604; Brambilia, C., 1987. Ciudad de México: ¿la urbe más grande del mundo?, en G. Garza (ed.), nota 5. pp. 146-149.
12. G. Galindo y J. Morales, 1987. El relieve y los asentamientos humanos en la Ciudad de México en *Ciencia y desarrollo*, n°76:67-80.
13. M. Lavín, 1983. Cambios en las áreas verdes de la zona metropolitana de la Ciudad de México de 1940 a 1980. Reporte Interno del Instituto de Ecología, México, D.F.
14. M. T. Calvillo Ortega, 1978. Áreas verdes de la Ciudad de México en *Anuario de Geografía*. UNAM, Facultad de Filosofía y Letras, N° 16:377-382; y V. Barrantas y J. Seres, 1988. Los pulmones urbanos en *Ciencia y desarrollo*, n°78:61-72.
15. M. Mazari y J. Alberro, 1990. Hundimiento de la Ciudad de México en J. Kumate y M. Mazari (eds.). *Problemas de la Cuenca de México*, El Colegio Nacional, México, pp. 83-114.

16. C. Ramirez. El agua en la cuenca de México, *ibid*, pp. 61-80.
17. Gerencia de aguas del Valle de México. 1995. *Informe interno. Uso del agua*. México, D.F.
18. Departamento del Distrito Federal, 1991. *Agua 2000. Estrategia para la Ciudad de México*, véase también Gerencia de aguas del Valle de México, nota 17.
19. Lerner, D. N., 1986. Leaking Pipes Recharge Ground Water en *Ground Water* 24, n° 5:654-662.

Departamento del Distrito Federal, nota 18; Gerencia de aguas..., nota 17.

M. Mazari, H. M. Mazari, C. Ramírez y J. Alberro, 1992. Efectos de la extracción de agua en la zona lacustre de la Cuenca de México en *Volumen Raúl J. Marsal*. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C., México.

H. M. Mazari y D. M. Mcckay, 1993. Potential for Groundwater Contamination in Mexico City. *Environmental Science & Technology* 27, n° 5:794-802; Consejo Nacional de Investigación, 1995. *El agua y la Ciudad de México*. Academia de la Investigación Científica, A.C., Academia Nacional de Ingeniería, A.C., Academia Nacional de Medicina, A.C. y U.S. National Research Council.

Mazari, H. M. y D. M. Mackay, nota 22.

G. Guerrero, A. Moreno y H. Garduño (eds.), 1982. *El sistema hidráulico del Distrito Federal*. Departamento de Distrito Federal, México.

Ibid; Departamento del Distrito Federal, 1985. *Actividades geohidrológicas en el Valle de México*. Contrato 7-33-1-0403, México, D.F.

Departamento del Distrito Federal, 1975. *Memoria de las obras del sistema de drenaje del Distrito Federal*, DDF 1975, 1982, 1988. 4 vols.; DDF. 1988. *El sistema de drenaje profundo de México*, México, D.F.; y Guerrero, Moreno y Garduño, nota 24.

Moreno Mejía, S., 1987. "Sistema hidráulico del Distrito Federal", en G. Garza (ed.), *Atlas de la Ciudad de México*, Departamento del Distrito Federal/El Colegio de México, México, pp. 183-186.

DDF, 1992. Inventario y políticas de gestión de desechos industriales en la Ciudad de México. Reporte no publicado; Mazari y Mackay, nota 22.

Consejo Nacional de Investigación, nota 22.

20. *Ibid*.

21. A. Palacio *et al.*, 1994. Evolución de la calidad del agua del embalse del proyecto hidroeléctrico Zimapán, Hidalgo. Vol. 2. Comisión Federal de Electricidad, México.

Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, 1978. *Diagnóstico de la calidad atmosférica del Valle de México*. Subsecretaría de Asentamientos Humanos, México, D.F.; Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, 1978. *Fuentes emisoras en México. Industrias altamente contaminantes*. Secretaría de Salubridad y Asistencia, México; Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, 1978. *Situación actual de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de la Ciudad de México*. Secretaría de Salubridad y Asistencia. Para información adicional sobre contaminación atmosférica en las megaciudades del mundo, incluyendo a la Ciudad de México, véase Air Pollution in the World's Megacities en *Environment*, 1994, 36, n° 2.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, 1986. *Informe sobre el estado del medio ambiente en México*. México, D.F., A. Velasco Levy, 1983. La contaminación atmosférica en la Ciudad de México en *Ciencia y Desarrollo*, n° 52.

K. M. Barfoot *et al.*, 1984. Multi-elemental Measurement of Air Particulate Pollution at a Site in Mexico City en *Atmospheric Environment*, 18, n° 2; E. Sigler Andrade, V. Fuentes Gea y C. Vargas Aburto, 1982. Análisis de la contaminación del aire por partículas en Ciudad Universitaria en *Memorias del III Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, vol. 2, México, D.F., pp.1-13.

V. Fuentes Gea y A. A. C. Hernández, 1984. Evaluación preliminar de la contaminación del aire por partículas en el área metropolitana del Valle de México en *Memorias del IV Congreso Nacional de Ingeniería sanitaria y Ambiental*, México, D.F., pp. 523-526.

I. Restrepo (ed.), 1992. *La contaminación del aire en México: Sus causas y efectos en la salud*. Comisión Nacional de Derechos Humanos, México, D.F., pp. 523-526.

S. Salazar, J. L. Bravo e Y. Falcón, 1981. Sobre la presencia de algunos metales pesados en la atmósfera de la Ciudad de México en *Geofísica Internacional*, 20:41-54.

G. Halffter y E. Ezcurra, 1983. Diseño de una política ecológica para el Valle de México en *Ciencia y Desarrollo*, n° 53:89-96.

L. Albert y F. Badillo, 1991. Environmental Lead in Mexico en *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 117:1-49.

H. Bravo, G. Roy-Ocotla, P. Sánchez y R. Torres, 1992. La contaminación atmosférica por ozono en la zona metropolitana de la Ciudad de México en I. Restrepo, nota 36, pp. 173-84.

A. Avediz Aznavourian, 1984. Normas de calidad del aire en México en *Ponencias a la I Reunión regional sobre Legislación Ambiental*. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Monterrey, pp. 101-120.

L. Skärby y G. Sellden, 1984. The Effects of ozone on Crop and Forests en *Ambio*, 13, nº 2, pp. 68-72.

H. Bravo, G. Roy-Ocotla, P. Sánchez y R. Torres, nota 40.

Instituto Nacional de Ecología, 1995. *Elementos de política ambiental para una ciudad sustentable: Manejo de cuenca atmosférica*, México, D.F.

L. Calderón-Garcidueñas, A. Osorno Velázquez, H. Bravo-Álvarez, R. Delgado-Chávez y R. Barrios-Márquez, 1992a. Histopathologic Changes of the Nasal Mucosa in Southwest Metropolitan Mexico City Inhabitants en *American Journal of Pathology* 140, nº 1:225-232; L. Calderón-Garcidueñas, A. Hernández-Martínez, H. Bravo y H. López, 1992b. Nasal Cytology in Southwest Metropolitan Mexico City Inhabitants. Trabajo presentado en la 85th Annual Meeting & Exhibition of the Air & Waste Management Association, Kansas City, Missouri, pp. 1-8.

E. Jáuregui, 1990. Algunos efectos antropogénicos sobre el clima de las grandes ciudades en *Atlas de México*, mapa nº V.2.5. Instituto de Geografía, México, D.F.

A. Fernández-Bremauntz, 1993. 'Commuters' Exposure to Carbon Monoxide in the Metropolitan Area of Mexico City. Centre for Environmental Technology, Imperial College of Science, Technology and Medicine, Londres; y C. Santos-Burgoa y L. Rojas-Bracho. Los efectos de la contaminación atmosférica en Restrepo, nota 36, pp. 205-250.

V. H. Páramo, M. A. Guerrero, M. A. Morales, R. E. Morales y D. Baz Contreras, 1987. Acidez de precipitaciones en el Distrito Federal en *Ciencia y Desarrollo*, nº :59-66; y H. Bravo, 1987. *La contaminación del aire en México*. Fundación Universo Veintiuno, México, D.F.

L. I. de Bauer, T. Hernández Tejeda y W. J. Manning, 1985. Ozone causes Needle Injury and tree Decline in *Pinus hartwegii* at High Altitudes in the Mountains around Mexico City en *Journal of Air Pollution Control Association*, 35, nº8, 838; T. Hernández Tejeda y L. I. de Bauer, 1986. Photochemical oxidant damage on *Pinus hartwegii* at the Desierto de los Leones, México, D.F. en *Phytopathology* 76, nº 3, 377. ; T. Hernández Tejeda, L. I. de Bauer y S. V. Krupa, 1985. Daños por gases oxidantes en pinos del Ajusco en *Memoria de los simposios nacionales de parasitología forestal II y III*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Publicación Especial 46, pp.26-36; y ; T. Hernández Tejeda, L. I. de Bauer y M. L. Ortega Delgado. Determinación de clorofila total de hojas de *Pinus hartwegii* afectadas por gases oxidantes, *ibid*:334-341.

E. Ezcurra y J. Sarukhan. Costos ecológicos del crecimiento y del mantenimiento de la Ciudad de México en Kumate y Mazari, nota 15, pp. 215-246; Mazari y Mackay, nota 22.

Ezcurra, nota 9.

V. Ibarra, F. Saavedra, S. Puente y M. Schteingart, 1986. La ciudad y el medio ambiente: El caso de la zona metropolitana de la Ciudad de México en V. Ibarra, S. Puente y F. Saavedra (comps.). *La ciudad y el medio ambiente en América Latina: Seis estudios de caso*. El Colegio de México, México, pp.97-150.

Se aplicó el siguiente cálculo: $1 \text{ MW} = 106 \text{ watt} \cdot \text{h} \times 3.600 = \text{kilojoule}$.
 $\text{W/h}(3,600) = \text{kJ}$.

C. Bazdresch, 1986. Los subsidios y la concentración en la ciudad de México en B. Torres (ed.). *Descentralización y democracia en México*. El Colegio de México, México, pp. 205-218.

22. *Ibid.*

23. S. Margulis, 1992. Back-of-the-Envelope estimates of Environmental Damage Costs in Mexico en Policy Research Working Papers. The World Bank, Washington, D.C., 31.

Los detalles del cálculo del tratamiento de agua aparecen en Instituto Nacional de Ingeniería, 1993. *Plantas de tratamiento de aguas residuales*. UNAM, México, 52.

Una descripción detallada de la capacidad instalada de las plantas de tratamiento de agua en la cuenca de México se presenta en Consejo Nacional de Investigación, nota 22.

24. Comisión Nacional del Agua, 1994. Ley de aguas nacionales y su reglamento. México, D.F, 174. *Diario Oficial de la Federación* 1993, 1995. Normas oficiales mexicanas que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de diversas industrias, NOM-CCA-001 a la 031 (octubre de 1993), 2-119; y *Diario Oficial de la Federación*, Normas oficiales mexicanas que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de diversas industrias, NOM- 063-ECOL-1994 (enero de 1994), 4-20, 3-18, 6-17, 2-13.