



VULNERABILIDAD DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE MÉXICO EN EL CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Sandra Martínez^a, Maria Perevochtchikova^b, Oscar Escolero^a y Stefanie Kralisch^a

^a Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México

^b Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales, El Colegio de México
mperevochtchikova@colmex.mx

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un diagnóstico sistémico de los sistemas de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, que permite conocer el estado actual de cada una de las infraestructuras existentes. A partir de esta información fue posible evaluar la vulnerabilidad de la oferta de agua, elementos útiles para estructurar políticas públicas dirigidas a la disminución de la demanda. Se estimó a futuro, introduciendo el factor de cambio climático, la fragilidad y la resiliencia local, así como las condiciones actuales ambientales y socio-administrativas, útiles para definir igualmente políticas públicas para atenuarlas o revertirlas las debilidades detectadas. Se evaluaron los planes de desarrollo de infraestructura para mejorar la oferta en la ZMVM, en interacción con los escenarios a futuro (climáticos, de efecto estacional, etc.). Con esta información se evaluó cada alternativa y se determinaron cuáles son las opciones más adecuadas y viables a las condiciones de la Ciudad de México. Se analizó la capacidad de adaptación, que resultó ser baja, y se enumeran una serie de medidas para superar las diversas causas de esta situación.

INTRODUCCIÓN

Los efectos del cambio climático (CC) se han evidenciado de manera ascendente y dramática a nivel de todo el planeta. La discusión acerca de los efectos negativos del cambio climático surgió a inicios de los años noventa. Inicialmente, la discusión fue enfocada en la aceptación de los cambios como fenómeno de origen antropogénico, así como en la validez de la base científica y los modelos de cálculo, los cuales fueron incrementando su nivel de certidumbre y detalle espacial. Debido a la ineficiencia y el fracaso de los mecanismos de mitigación propuestos en el Protocolo de Kyoto, la agenda política se ha orientado a la atención de la problemática de vulnerabilidad (social, económica, ambiental) frente a los riesgos por amenazas de naturaleza hidrometeorológica relacionados con el cambio climático, por medio de la implementación de medidas de adaptación a un fenómeno que ya no es reversible. Reconociendo de manera igual otros ejes claves en la evaluación de medidas de adaptación, como seguridad alimenticia e impacto sobre disponibilidad del agua. En este sentido se reconoce la necesidad e importancia de los estudios multidisciplinarios de vulnerabilidad; con especial interés a los análisis de los sistemas de abastecimiento de agua potable para los centros urbanos, porque de este conocimiento dependerá el nivel de preparación y respuesta para afrontar el riesgo por diversos efectos de CC y de seguridad íntegra a escala local y nacional en los países.

En la presente investigación se analiza la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México (capital de México, megalópolis con cerca de 20 millones de habitantes), por considerar que este es uno de los principales puntos que determinará la sustentabilidad de la ciudad ante el fenómeno de CC. Sobre todo porque la creciente demanda de agua ha impactado de manera negativa el balance hídrico de las cuencas hidrográficas y acuíferos locales y vecinos, generando daños económicos y expandiendo costos sociales y ambientales a los territorios colindantes. Las tradicionales prácticas de gestión del agua vía

construcción de grandes obras hidráulicas e importación de agua para satisfacer la demanda urbana aunada al déficit regional, ha llevado al aumento de conflictos sociales y políticos en torno al agua. Pero, el problema de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México no es solamente de sus fuentes, sino incluye todo un sistema complejo de captación, conducción y distribución que enfrenta serios limitantes. En específico, se refiere al envejecimiento de infraestructura, aumento de costos de operación, falta de mantenimiento, así como pérdida de calidad y cantidad del recurso que han llevado a que el sistema opere al límite de sus capacidades físicas y económicas.

En el contexto de cambio climático, los efectos negativos presentados en las fuentes de abastecimiento de la CM pueden verse todavía más agravados. La cuestión en qué grado aumenta la vulnerabilidad en la disponibilidad de las fuentes frente a los diferentes escenarios de cambio climático se vuelve un punto esencial para la toma de medidas preventivas correctas y eficientes en términos de recursos invertidos y beneficios esperados.

El Gobierno de la Ciudad de México (CM) ha estado desarrollando estrategias y planes para enfrentar el reto en materia de abastecimiento de agua. Estas incluyen el Plan Verde y sus derivadas, como la Estrategia de Acción Climática Local (ELAC) y el Plan de Acción Climática de la CM (GDF, SMA y FFE, 2004). Dentro de estos lineamientos el presente proyecto se enfoca en determinar los factores que inciden en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de la CM. Por lo tanto se determinan y evalúan tanto factores que están directamente relacionados al cambio climático, como otros que son de relevante importancia para el sostenimiento de las fuentes.

METODOLOGÍA

Para el presente trabajo se desarrolló la siguiente metodología:

1. Revisión documental para la conceptualización e identificación de las fuentes de abastecimiento de la Ciudad de México.
2. Caracterización y diagnóstico de los problemas actuales de las fuentes de abastecimiento de agua, incluyendo factores de infraestructura, ambientales y socio-administrativos de las áreas de captación.
3. Revisión y análisis de los indicadores internacionales, nacionales y locales; su adecuación por medio del Taller de expertos con aplicación del algoritmo simple de Análisis Multi-criterio (AMC) para la interpretación de sus resultados; la determinación de indicadores locales de vulnerabilidad; la valoración de indicadores y determinación de vulnerabilidad. Objetivo del Taller fue conocer el punto de vista de los expertos sobre el tipo y gravedad de los principales problemas que inciden sobre la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México, y discutir con ellos posibles soluciones (técnicas, económicas e institucionales), y las oportunidades y obstáculos para su implementación. Obtener una perspectiva práctica-operativa, sobre las raíces de la vulnerabilidad y los problemas que han impedido mejorar la gestión.
4. Análisis de los escenarios de impacto del efecto de cambio climático en la disponibilidad de agua; la proyección del cambio climático en el contexto de la vulnerabilidad; la validación de la vulnerabilidad actual de las fuentes de abastecimiento.
5. Elaboración de informes y mapas.

RESULTADOS

Fuentes de abastecimiento

En el presente proyecto se consideran para el análisis de vulnerabilidad todas *las fuentes* que abastecen de agua potable al Distrito Federal (con excepción del Río Magdalena), como son: i) Sistema Cutzamala, ii) Sistema Lerma, iii) Sistema de Pozos Plan de Acción Inmediata (PAI), iv) Pozos y manantiales del Sistema de Agua de la Ciudad de México, incluyendo a v) Batería Chiconautla. Las fuentes de abastecimiento son entendidas como el conjunto formado por las áreas de captación y la infraestructura, hasta el punto de entrega al Distrito Federal. El área de captación corresponde a las sub-cuencas hidrológicas en caso de las fuentes superficiales de agua potable y a acuíferos en caso de las fuentes subterráneas; mientras la infraestructura se compone de presas, pozos, líneas de conducción, plantas de bombeo, etc. El término *vulnerabilidad* dentro del proyecto se refiere a la propensión que disminuya la disponibilidad de agua potable entregada al Distrito Federal y su zona metropolitana.

Las fuentes mencionadas incluyen una compleja estructura de administración en la que actúan organismos de diferentes niveles de gobierno: federal, regional, estatal y local. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es la instancia responsable de gestionar las aguas a nivel

federal y actúa a escala regional a través del Organismo de Cuenca Región XIII, Aguas del Valle de México (OCAVM). El OCAVM opera la fuente externa del Sistema Cutzamala, así como la presa y planta potabilizadora Madín en la Cuenca Valle de México, y 217 pozos del Sistema PAI (Programa de Acción Inmediata), 84 de los cuales fueron transferidos al Gobierno del Distrito Federal.

Por su parte el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) es el organismo operador que abastece de agua potable directamente al Distrito Federal. Fue conformado en 2003 al fusionarse la entonces Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) y la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF). El SACM opera dentro de la Cuenca Valle de México 549 pozos en el D.F., 39 pozos en el Estado de México (Sistema Chiconautla), y fuentes superficiales, entre ellos 68 manantiales. Adicionalmente es responsable de la operación del Sistema Lerma, que corresponde a baterías de pozos en los acuíferos del Valle de Toluca e Iztlahuaca-Atzacomulco; de donde el agua se entrega tanto al D.F. como a zonas peri-urbanas de El Estado de México, que cuenta con la Comisión de Agua del Estado de México (CAEM) y 22 organismos operadores (CONAGUA, 2007).

Caracterización y diagnóstico

Por medio de la realización de un extenso trabajo de revisión documental (Anexo A-1, IGg-UNAM, 2009) fue posible *caracterizar y diagnosticar* los problemas actuales de las fuentes de abastecimiento de agua, incluyendo factores físicos, así como socio-administrativos y ambientales de las áreas de captación y de infraestructura. Donde se pudo determinar sus lados positivos de la construcción y desempeños físicos y limitantes, sobre todo en términos del deterioro de la infraestructura, ambientales y de la contaminación del agua.

Vulnerabilidad de las fuentes

Para determinar y validar la vulnerabilidad actual de las fuentes de abastecimiento se realizó un taller con especialistas en el tema (académicos, funcionarios y operadores de los sistemas de abastecimiento) y se utilizó el algoritmo simple de Análisis Multi-criterio (AMC) para la interpretación de sus resultados. De este modo los nueve indicadores que se establecieron y se evaluaron en el desarrollo del proyecto se obtuvieron combinando la visión de los colaboradores previo análisis de la correspondencia de indicadores internacionales, regionales y nacionales en agua (SEMARNAT, 2008; PNUD, 2007), representando la visión académica, con la visión del grupo de expertos técnicos que han actuado en el diseño, construcción y operación de las fuentes de abastecimiento de agua a la Ciudad de México (Tabla 1).

Tabla 1. Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable (Fuente: IGg-UNAM, 2009).

	Indicador de Vulnerabilidad	Cutzamala	Lerma	Pozos PAI	Pozos SACM	Chiconautla
Vulnerabilidad de la infraestructura	Estado	9	7	8	7	7
	Exposición a daños por terceros	7	7	4	2	4
	Capacidad	5	3	5	5	3
Vulnerabilidad ambiental	Disponibilidad	10	6	7	8	8
	Calidad del agua	8	nd	7	8	nd
	Degradación ambiental	10	8	7	8	8
Vulnerabilidad socio-administrativa	Conflictos por demanda del agua	9	7	6	6	6
	Eficiencia económica	9	7	5	5	5
	Situación administrativa	5	6	7	2	7
	suma	8.00	6.38	6.22	5.67	6.00

Se observa una disminución gradual en la aportación del agua en todas las fuentes del abastecimiento en los últimos años, que se relaciona básicamente con dos aspectos: i) mal estado de infraestructura y ii) degradación ambiental en las áreas de captación. Por ejemplo, la

infraestructura de prácticamente todos los sistemas (pozos y presas) presenta limitaciones relacionadas con la edad y la falta de mantenimiento e incluso problemas del diseño y la construcción. En las áreas de captación, se presenta el abatimiento del nivel del agua en acuíferos que induce problemas de pozos parados, reducción en la extracción e incrementos en los costos de operación. El deterioro en la calidad de agua se observa en varias fuentes, destacando las presas del Cutzamala y los pozos localizados en el este y sureste de la Ciudad de México.

En la degradación ambiental de las cuencas juega un papel importante el cambio de uso de suelo, sobre todo en zonas de mayor pendiente con desarrollo de agricultura, deforestación y urbanización, incrementando la erosión hídrica y eólica y afectando los patrones del ciclo hidrológico. En relación a los aspectos socio-administrativos, destacan los conflictos sociales por demanda de agua e infraestructura en los lugares de captación, así como extracciones que exceden los volúmenes concesionados, y en general la falta de planeación y cooperación entre las diferentes entidades, lo cual limita la capacidad de adaptación a cualquier cambio. El sistema de abastecimiento más vulnerable corresponde al Sistema Cutzamala, mientras el sistema menos vulnerable en puntos totales corresponde a los pozos del SACM.

Evaluación integrada

Con énfasis en los efectos previstos por el cambio climático, es de suma importancia evaluar la disponibilidad futura en estas fuentes y sus requerimientos energéticos. Dentro de evaluación de las propuestas oficiales de nuevas fuentes de abastecimiento de agua para el Distrito Federal (la importación de agua superficial desde las cuencas vecinas mediante construcción de grandes obras hidráulicas, como de Temascaltepec, Tecolutla, Amacuzac; la adecuación de fuentes superficiales; el uso de agua residual tratada, y la infiltración masiva de agua pluvial en el sur del valle de México) se observa claramente que los grandes proyectos de trasvases son los más susceptibles a efectos de CC, tal y como se observa en el Sistema Cutzamala. A esto se suman los altos costos ambientales y sociales.

En este caso las soluciones a futuro deben orientarse al principio de la combinación de proyectos que integren la gestión del agua dentro de la cuenca, antes que priorizar las grandes obras de importación (Sheinbaum, 2004; UAM, 2008). Esta gestión al interior de la cuenca debe incluir una integración de muchas soluciones descentralizadas, considerando el ciclo total de agua urbana, desde el manejo de las áreas de captación, protección civil, abastecimiento, reutilización, y transferencia intersectorial hasta el saneamiento.

Evaluación del efecto de cambio climático

Sobre este estado crítico actual que presentan las fuentes de abastecimiento de la Ciudad de México, la creciente demanda de agua y degradación del recurso, se evaluó el efecto adicional al cambio climático (CC). Cabe aclarar que los escenarios de cambio climático proporcionados por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (Estrada-Porrúa y Martínez-López, 2008) implican un alto grado de incertidumbre que se debe a tres factores: a) los modelos climáticos que se basan en los datos climáticos pronosticados, b) los escenarios de desarrollo y de emisión de gases invernaderos, y c) el método de "downscaling". Dado estas incertidumbres, los cambios deben ser estimados por rangos de escenarios probables y no con un valor único. En la mayoría de los escenarios para el año 2050, el aumento de la temperatura varía entre 1-3°C, en tanto la precipitación varía en un rango aun mayor, de 0 a -15%.

El análisis de cuatro diferentes escenarios de CC dio como resultado los cambios de temperatura de 1.3 a 1.9°C y dos tendencias diferentes en cuanto a precipitación. Dentro del modelo HADGEM se prevé una disminución de precipitación entre 2-5% en la estación de lluvias, y cambios entre -8 y +5% en la precipitación de la temporada seca. A su vez el modelo ECHAM prevé un clima más extremo, con aumento de las lluvias de verano de 0 a 11%, y una reducción de la precipitación de 12 a 23% en la época de estiaje.

Con estos escenarios de CC se analizó el impacto de los cambios de temperatura y precipitación en valores promedios mensuales en el balance hidrológico (Carrera-Hernández and Gaskin, 2007) y la disponibilidad natural de agua para las áreas de captación (acuíferos y áreas de captación de las 3 grandes presas del Sistema Cutzamala).

El resultado del análisis re resalta en el exceso de humedad, que forma el escurrimiento y la recarga. Debido a que no existen datos de escurrimiento para calibrar no fue posible continuar con esta parte de análisis, por lo que se utilizó este parámetro para expresar un cambio probable (%) en la disponibilidad natural de agua en las áreas de captación, derivado de los cambios promedios probables en temperatura y precipitación. De este modo el valor estimado

de disponibilidad natural real de agua (escurrimiento + recarga) en las áreas de captación, fue de una disminución total de 10-17%.

A pesar de que este valor puede ser considerado como un impacto mínimo, se verá agravado a futuro por los efectos climáticos locales. Aunque es difícil distinguir en el análisis entre los efectos de cambio de cobertura de suelo, y cambios climáticos locales y globales; es evidente que todos apuntan en la misma dirección: un clima más extremo con periodos de lluvia más intensas (Jáuregui, 1999), incremento en los caudales máximos, aumento en la erosión, reducción de la infiltración, y disminución del flujo base. Añadido a una menor capacidad de resiliencia de las cuencas para amortiguar y regular estos efectos.

CONCLUSIONES

Se ha visto claramente que la infraestructura y los factores socio-administrativos juegan un rol tan importante en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento, como los factores ambientales. Es evidente, que los sistemas de abastecimiento operan al límite y no llegan a satisfacer la demanda de agua que presenta la zona metropolitana del valle de México. A la situación de alta vulnerabilidad actual se agregan los efectos del cambio climático, así como los cambios producidos por i) el crecimiento en la demanda de agua, ii) el aumento de la degradación en las áreas de captación, y iii) la reducción de la calidad de agua y recarga, entre otros. Para garantizar el abastecimiento a futuro, será necesario desarrollar nuevas estrategias de administración de agua potable. El hecho de que el Sistema Cutzamala como fuente externa de agua superficial presenta la vulnerabilidad integral más alta, apunta a la necesidad de un cambio de paradigma en la planeación de futuras fuentes de abastecimiento, atendiendo la problemática de resolución de las causas y no sólo de los efectos de la situación actual.

El efecto de Cambio Climático en los escenarios climáticos evaluados indica una reducción significativa en la futura disponibilidad natural de agua en un 10-17% en todas las fuentes. Las tendencias consideran establecimiento de un clima más extremo (lluvias y sequías más intensas) en conjunto con una reducción de la capacidad de resiliencia ecosistémica de las cuencas. Frente a la situación actual de alta vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento y de baja capacidad de adaptación, medidas que incluyan i) el mantenimiento y readecuación de la infraestructura, ii) la protección y restauración de las áreas de captación, iii) la reducción de la demanda de agua, iv) el aprovechamiento de fuentes no-convencionales, y v) fortalecimiento de acción interinstitucional, deben ser consideradas en el replanteamiento de los existentes y el desarrollo de los futuros proyectos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Gobierno de la Ciudad de México, que a través del Centro Virtual de Cambio Climático (CVCCCM) financió ocho proyectos académicos en 2008, incluyendo el presente.

BIBLIOGRAFÍA

Carrera-Hernández JJ and Gaskin SJ (2007) Spatio-temporal analysis of daily precipitation and temperature in the Basin of Mexico. *Jornal of Hydrology* 336(3-4):231-249, DOI 10.1016/j.jhydrol.2006.12.021.

Conagua (2007) Estadísticas del agua 2007 de la Región XIII. Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México.

Estrada-Porrúa, F. y Martínez-López, B. (2008) Métodos para la Generación de Escenarios de Cambio Climático. Segundo Taller del Centro Virtual de Cambio Climático, Centro de Ciencias de la Atmósfera, 6 de Febrero 2008.

Gobierno del Distrito Federal, Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal y Fundación Friedrich Ebert (2004). Hacia la agenda XXI de la Cd. de México.

IGg-UNAM (2009). Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México en el contexto del Cambio Climático. Informe final, Instituto de Geología, UNAM, México.

Jáuregui O. E. (1999): Las precipitaciones extremas en la Ciudad de México. Boletín Informativo 26/27 del Colegio de Pilotos Aviadores.

PNUD (2007) Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies. United Nations.

Sheinbaum, C. (2004): Proyecto de recarga del acuífero en el sur del Distrito Federal. Conferencia en el Colegio de Ingenieros Civiles de México, Febrero 18 de 2004 [en] Revista *Tláloc*, Asociación Mexicana de Hidráulica, No. 30, Enero-Abril 2004 pp. 43-44.

SEMARNAT (2008) Indicadores básicos del desempeño ambiental de México. México, Edición 2008, CD.

UAM (2008) Aprovechamiento de los servicios hidrológicos como estrategia para aumentar la competitividad de la Zona Metropolitana de la Cuenca de México. Universidad Autónoma de México, Diciembre 2008.