

Estimación de ahorro de agua a partir de la demanda, en zonas de alto consumo de la CDMX y su impacto en el manejo de la sequía

Antonina Galván Fernández¹

Elsa Pacheco Luis²

Resumen

El cambio climático es cada vez una realidad más patente, en cualquier punto del planeta y tipo de población; son evidentes los episodios de deslaves, huracanes más intensos, y últimamente, sequías. En particular, la Ciudad de México este año ha padecido uno de los episodios de escasez más intensa, combinado con altas temperaturas, lo que ha provocado un malestar social generalizado. Las quejas por la falta de agua, además se combinaron con la presencia de contaminantes en los flujos de agua potable, de los que aún no hay explicación.

Mientras, al CONAGUA, plantea rehabilitar pozos de extracción –y con ello continuar con la sobre explotación de las fuentes tradicionales de abastecimiento- como estrategia para enfrentar el problema.

En este estudio se realiza el cálculo del consumo de agua de las tres alcaldías con mayor consumo, para determinar si los volúmenes suministrados están dentro del orden de la cuota de confort, si estos volúmenes pueden ser manejados al interior de la ciudad para su redistribución y con ello dar solución al problema, a través de alternativas de políticas públicas que involucren a la población en la adopción de nuevas perspectivas y formas de involucrarse con la realidad del cambio climático.

Conceptos clave: Cambio climático, consumo de agua, políticas públicas.

Introducción

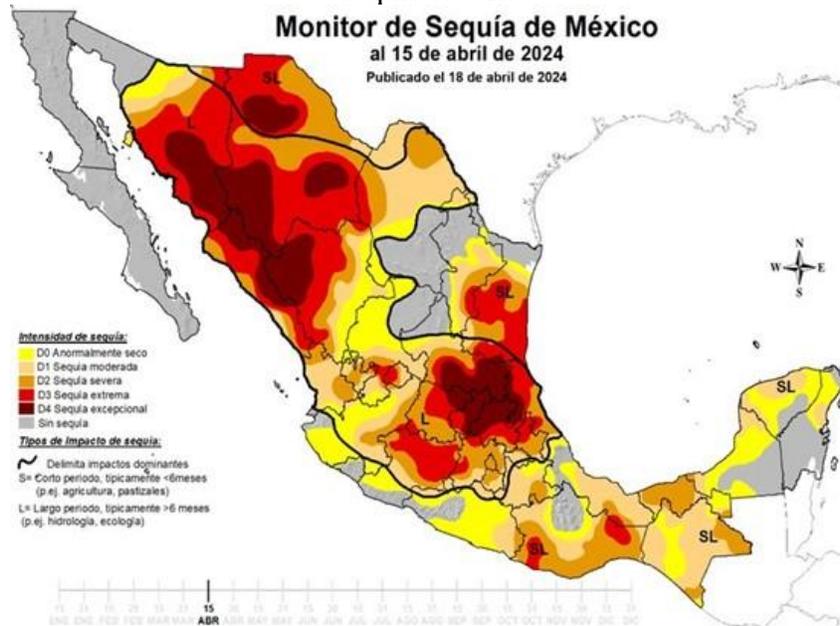
En México iniciamos el año 2024 con niveles bajos en las presas del sistema Cutzamala, responsable del abastecimiento del agua a la CDMX después de haber tenido en 2023 el año más seco de la historia, según el registro de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

De los 2476 municipios que conforman el territorio nacional, 2471 fueron analizados por la CONAGUA, y de ellos, 2075 están afectados por algún grado de sequía, solamente 368 no se consideran en sequía; 517 se clasifican como anormalmente secos, 501 con sequía moderada, 543 con sequía severa, 401 con sequía extrema y 141 con sequía excepcional (CONAGUA 2024). De acuerdo con el mismo reporte, la Ciudad de México (CDMX) y los municipios del Estado de México que conforman el área conurbada, se encuentran catalogados bajo sequía severa (Mapa 1). La situación se vuelve crítica debido a que, en gran parte del país, tras una serie de eventos de circulación anticiclónica está limitada la caída de lluvia, afectando el llenado de las presas del sistema Cutzamala. Esto ha provocado que, por primera vez, colonias en la CDMX que nunca habían vivido cortes de este servicio padecieran la restricción del suministro, además por periodos prolongados.

¹ Doctorado, Universidad Autónoma Metropolitana, lorlalalik@gmail.com

² Maestra en Ciencias, Universidad Autónoma Metropolitana, epluis21@gmail.com

Mapa 1. Municipios del Estado de México que conforman el área conurbada, catalogados bajo sequía severa.



Fuente: CONAGUA (2024).

Colonias como San Miguel Chapultepec, Anzures y Polanco han tenido que recurrir al tandeo y el suministro por pipa, afectando a un sector de la población que no solo no sabía qué es quedarse sin agua, sino que su capacidad económica los sitúa en una posición privilegiada para hacerse escuchar. Se produce un enojo colectivo que moviliza a sectores poblacionales que tradicionalmente evitan involucrarse en eventos de política pública; en muchos de estos espacios se recurre al amigo o vecino que está inserto en el gobierno o es amigo de alguien que puede resolver el problema. Sin embargo, esta vez no hay mecanismo informal que modifique esta realidad y se hacen presente en las redes sociales, chats vecinales y noticieros las quejas. Los temas centrales son las fechas de llenado de cisternas y costos de la cooperación por departamento para la pipa de agua; pero esto dista mucho del hartazgo que existe en la zona oriente y periferias de la ciudad, donde a diario se vive la falta de agua y cuyo mecanismo de presión es la toma de calles y avenidas. Aquí también llegan las pipas, pero no lo hacen cada ocho días como en las zonas de alto impacto económico, hay que esperar meses y es repartida entre varias viviendas, lo que obliga a los pobladores a desarrollar técnicas de optimización y reciclado del recurso.

Por otro lado, el fenómeno climático que más afecta a las actividades económicas del país es la sequía; el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se encarga de detectar su estado actual y evolución; se apoya en el Monitor de Sequía en México (MSM), que es un Reporte que contiene una descripción del estado y avance de la sequía en el país, a través de tablas y gráficos de porcentaje de área afectada por sequía a nivel nacional, estatal, 13 Organismos de Cuenca y 26 Consejos de Cuenca de la Comisión Nacional del Agua, además de la contabilidad de municipios afectados por cualquier categoría de sequía. Se basa en la obtención de indicadores como el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) que cuantifica las condiciones de déficit de precipitación a 30, 90, 180, 365 días, la Anomalía de lluvia a 30, 90, 180, 365 días, Índice Satelital de Salud de la Vegetación (VHI), el Modelo de Humedad del Suelo Leaky Bucket CPC-NOAA, el Índice Normalizado de Diferencia de la Vegetación (NDVI), la Anomalía de la Temperatura Media y el

Porcentaje de Disponibilidad de Agua en las presas del país. Se determinan las regiones afectadas por sequía, de acuerdo a la escala de intensidades que va desde anormalmente seco (D0), sequía moderada (D1), sequía severa (D2), sequía extrema (D3) hasta sequía excepcional (D4).

La sequía es la disminución del volumen de la precipitación en una región, por debajo del promedio de los últimos 10 años, para un lapso de tiempo dado. De acuerdo con el National Drought Mitigation Center (2002), la sequía es un fenómeno cíclico y regional del clima, de tal forma que una región se puede decretar bajo sequía, mientras otra se encuentra en fase normal. Esta disminución provoca *escasez de agua* para los diferentes usos: de almacenamiento, agrícola, municipal, industrial, y en la fase ambiental se nota como una disminución en los ríos, aguas subterráneas y humedad del suelo. Entonces, para definir una sequía, se debe tener un registro histórico del clima en la región. La sequía y la escasez no son lo mismo, la primera depende exclusivamente de condiciones hidrológicas, mientras la segunda involucra aspectos socioeconómicos: la escasez se refiere a que la disponibilidad de agua está por debajo de la demanda, es decir hay agua, pero no cubre las necesidades de desarrollo de la población.

Existen tres tipos de sequía: meteorológica, agrícola e hidrológica. Algunos especialistas, consideran también la sequía en términos socioeconómicos. La sequía meteorológica es la desviación de al menos el 10% de la medición de la precipitación, respecto de la normal, en un periodo de tiempo de 10 años; la sequía agrícola ocurre cuando no existe humedad suficiente en el suelo para un cultivo determinado en un momento particular de tiempo. La sequía hidrológica se refiere a que el volumen almacenado en las fuentes de abastecimiento de aguas superficiales y subterráneas no es suficiente para cubrir la demanda de agua de los diversos usuarios; está relacionada con el término de *escasez*, se mide de acuerdo con los niveles de agua en presas y acuíferos con pozos de extracción. Debido a las definiciones antes dadas, se requiere de un período de tiempo más o menos largo, para que el déficit de precipitación se refleje como la disminución de agua en los ríos, lagunas, presas, y pozos, por lo que la lluvia es el primer indicador de la sequía. Por último, la sequía socioeconómica se presenta cuando la demanda de un bien económico es mayor a la oferta a consecuencia de la baja disponibilidad de agua, como es el caso de los productos agrícolas o la energía eléctrica, lo que provoca que el producto se encarezca, haya déficit alimentario y/o energético, y con ello se afecte la macroeconomía.

El almacenamiento actual del sistema Cutzamala es de 386.87 Mm³ (febrero 2024), frente a los 569.39 Mm³ promedio histórico, lo que significa que solo se cuenta con el 67.94%, provocado que la entrega de agua del sistema disminuya en 24%. Esto se explica, a que, el volumen almacenado se envía hacia la CDMX de acuerdo al agua disponible; entonces, el volumen suministrado debe reducirse en 24% para que se pueda enviar agua todos los días. Actualmente se considera como episodio de sequía hidrológica severa en el sistema Cutzamala, lo que está provocando la escasez, dado que no es suficiente para cubrir la demanda de la CDMX. Ante tal situación, los planes de CONAGUA para cubrir este déficit, se centran en incrementar la oferta a partir de la sobre explotación del acuífero. Debemos recordar que en los últimos 15 años, los hundimientos de la ciudad por sobre extracción ha provocado que en más de 350 pozos se haya abatido el nivel de extracción entre 2 y 25 m., además de que al no operar son vandalizados en los elementos eléctricos, y otros sufren daños como colapsos, contaminación, etc.; de este universo, la CONAGUA propone rehabilitar 189 pozos, y reperforar 57 más. En la fase de conducción, reporta la sustitución de tuberías por el tema de las fugas con 193.6 km, y 64 plantas de rebombeo rehabilitadas. Con estos trabajos se espera recuperar 1390 l/s, es decir 1.39 m³/s, frente a los 5.79 m³/s de déficit actual, lo que representa una recuperación de caudales del 5.76%, frente al 24% de

disminución de la actual sequía; es decir, aún con estas obras, el sistema no alcanza a cubrir al menos la disminución por sequía.

En México, debido a las asimetrías sociales y económicas, existen espacios geográficos cuyo consumo ronda en los 600 l/hab/día, incluso con picos de hasta 800 l/hab/día, como son las zonas de alto poder adquisitivo en la CDMX, Monterrey y Guadalajara, en contra parte a las zonas con alto estrés hídrico se les dota con escasos 25 l/hab/día como la Alcaldía Iztapalapa en la misma ciudad, o localidades de Oaxaca, Guerrero y Chiapas con menos de 10 l/hab/día, y que en los últimos años ha bajado a 5 l/hab/día debido a la creciente escasez. Por último, se estima que alrededor del 3% de la población tiene una fuente de agua a más de 6 km, con una dotación de 5 l/hab/día y es insalubre. Esta inequidad en el acceso al agua es determinante del desarrollo regional, el desarrollo humano y el crecimiento económico regional, que en el caso de la CDMX están distantes de una calle a otra.

Marco Teórico

OFERTA HÍDRICA: Es aquella porción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo y cobertura vegetal, escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y embalses, o se infiltra a acuíferos. La porción de agua que escurre por los ríos es denominada escurrimiento superficial y su cuantificación conforma el elemento principal de medición en las redes hidrométricas. Otra fracción importante se infiltra, es decir, ingresa a los sistemas de agua subterránea a través del suelo. Este volumen de agua también es parte importante de la oferta hídrica al ser la base de la recarga de acuíferos. Entonces, en términos de administración del recurso, la oferta hídrica corresponde al volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales, económicas y de alimentación del hombre. La cuantificación del escurrimiento a partir del balance hídrico de la cuenca, permite estimar tanto la oferta de agua superficial, como la recarga de agua subterránea, siendo la suma de ambos la oferta.

La oferta de agua superficial se ve condicionada por la calidad, debido a las descargas de origen doméstico, industrial y de servicios, así como por descargas difusas y/o esporádicas de origen agropecuario. Significa que no basta con tener un volumen de agua disponible, éste debe contar con la calidad necesaria para su uso en cualquiera de las actividades humanas a la que será destinada. De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2024, el Derecho Humano al Agua y al Saneamiento: el acceso al agua debe ser una acción estructural desarrollada por los gobiernos de cada país, definida como abastecimiento, y que debe cumplir:

SUFICIENTE: Se refiere a toda persona debe recibir hasta la puerta de su domicilio la cantidad de agua (dotación) suficiente y de forma continua para el uso personal y doméstico. Incluyen el agua de beber, el saneamiento personal (retrete), el agua para aseo de ropa, la preparación de alimentos, la limpieza del hogar y la higiene personal. De acuerdo con la OMS, y bajo la actual disponibilidad hídrica, son suficientes entre 50 y 100 l/hab/día, para cubrir las necesidades más básicas del ser humano; pero esta dotación depende de la región en que se ubique a nivel mundial.

POTABLE: Este concepto está asociado al consumo humano; significa que debe tener la calidad necesaria para no afectar la salud humana, es decir, libre de microorganismos, sustancias químicas

y peligros radiológicos que puedan afectar la salud humana. Las medidas de seguridad del agua potable están definidas por la normatividad vigente, aunque existe la Guía para la calidad del agua potable de la OMS, en el caso de México, estas son la base de la norma vigente.

ACEPTABLE: Entre los parámetros que define que un agua es potable, están los parámetros organolépticos, que son color, olor y sabor aceptables para el ser humano.

DISTRIBUCIÓN: Aspecto relacionado con la equidad y el acceso universal al agua; las instalaciones y servicios de agua deben ser culturalmente apropiados a las comunidades, haciendo énfasis sobre las poblaciones marginadas y sensibles, como el género, al ciclo de la vida y a las exigencias de privacidad. Se debe garantizar que todas las poblaciones tienen el mismo nivel de acceso al agua (equidad).

ACCESIBLE: Se refiere a que el servicio físicamente debe estar situado dentro o en la inmediata cercanía del hogar, de las instituciones académicas, en el lugar de trabajo o las instituciones de salud. En México, el servicio tanto de agua potable como de saneamiento corresponde al Estado, hasta la entrada de la vivienda; es importante puntualizar que el manejo al interior de la vivienda es responsabilidad del usuario.

ASEQUIBLE: Se refiere al costo del acceso al agua. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) sugiere que el costo del agua no debería superar el 3% de los ingresos del hogar. En México se tiene que las zonas marginadas y/o alta densidad poblacional el suministro es inestable tanto en caudal como continuidad, situación que condiciona fuertemente la capacidad de cobro de los organismos operadores locales. En estas zonas es frecuente que no se realice el cobro efectivo que debiera ser por el servicio, sino que se queda en una recuperación simbólica. Sin embargo, aún con las tasas bajas de cobro, la falta del líquido provoca que los pobladores deban adquirirla de forma comercial, por lo que los costos son de 5 a 10 veces más caros que en las zonas no marginadas. En particular, en la CDMX, las zonas marginadas presentan que la conexión a la red pública de agua y saneamiento representa el 20% de los ingresos de una familia, por tres meses, y en las zonas rurales llega a ser de seis meses.

DEMANDA DE AGUA: La Demanda de Agua Uso Doméstico (DUD) es la cantidad de agua consumida por la población urbana y rural para suplir necesidades exclusivamente de uso humano, expresada en términos de volumen por unidad de tiempo, (l/día/hab). El cálculo de la demanda de agua para consumo humano se realiza empleando la siguiente expresión:

$$DUD = [Dem PC_{urb} * No Hab_{urb}] + [Dem PC_{rur} * No Hab_{rur}] \quad (1)$$

Donde:

Dem PC_{urb} = Demanda de agua per cápita ámbito urbano [l/d]

Dem PC_{rur} = Demanda de agua per cápita ámbito rural [l/d]

No Hab_{urb} = Número de habitantes ámbito urbano [No]

No Hab_{rur} = Número de habitantes ámbito rural [No]

La demanda de agua por parte del ser humano depende de tres factores: necesidades básicas, que están asociadas a aspectos como consumo directo, aseo corporal, preparación de alimentos y uso del sanitario; en el nivel secundario están las actividades periféricas como el aseo del entorno y lavado de ropa. En el nivel terciario está el consumo de agua a nivel suntuario, riego de jardines, lavado de autos, servicios de esparcimiento, etc. La Demanda de Agua para el Sector Servicios (DUS) es la cantidad de agua consumida por el sector servicios que incluye comercio, transporte y almacenamiento, comunicaciones, bancos, seguros y servicios a empresas, alquileres de vivienda, servicios personales y servicios del gobierno. Esta demanda al ser actividades cotidianas, como la asistencia a escuelas y hospitales, y cuando estos servicios no son muy extensos en un territorio, se integra a la demanda de agua potable. La suma de estos tres niveles determina el consumo a nivel individual.

Existen diversos métodos para estimar la demanda, el más utilizado por la ingeniería es el método de vectores lineales independientes, que plantea que la demanda es función de las preferencias individuales, sujeta a una restricción que puede ser económica o de oferta, en este caso definida como disponibilidad, (Varían, 1984 y Deaton y Muellbauer, 1980). Esto se representa como:

$$\text{Consumo}(U) = U(X_1, X_2, X_3, Q) \quad (2)$$

Donde:

U = Relación de primer orden que vincula los valores base del vector lineal independiente

X = Vector que correlaciona el conjunto de condiciones que componen el concepto de calidad de vida

Q = Disponibilidad de agua para el ciclo hidrológico a evaluar

Entonces la demanda total de agua es el máximo de agua que utiliza una persona si no existiese limitante por parte del medio ambiente, representado por:

$$\text{Dem}(Q) = f(Y, P_i) \quad (3)$$

Donde:

Q = Consumo del agua por persona

Y = Condiciones de calidad de vida

P_i = Probabilidad de contar con el agua solicitada = 100%

Esto genera un modelo de vectores autorregresivos a partir de los datos de calidad de vida, que generan un espacio matricial geográfico entre las variables, donde la disponibilidad se considera 1, bajo la premisa de que no hay restricción en la disponibilidad de agua. Se construye un sistema numérico que permite encontrar los valores característicos del sistema, para determinar la existencia de relaciones de segundo grado entre las variables consideradas. De este modo, el sistema es representado por:

$$V(X_i, P_0, t) = (A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3) \quad (4)$$

Donde:

A_i = Valor característico de la variable X_i

La ecuación (4) puede entonces representarse en la forma de un sistema de vectores lineales independientes asociados a la distribución espacial, cuyo método más reconocido para dar solución es a través de Funciones Empíricas Ortogonales, donde se establece:

$$A_1 + A_2 + A_3 = 100\% \quad (5)$$

Donde:

A_1 = Factor de consumo asociado a las necesidades básicas

A_2 = Factor de consumo asociado a actividades periféricas

A_3 = Factor de consumo asociado a actividades suntuarias

X_1 = Dotación diaria para suplir necesidades básicas

X_2 = Dotación diaria para suplir necesidades periféricas

X_3 = Dotación diaria para suplir necesidades suntuarias

DOTACIÓN DE AGUA: es el volumen asignado por habitante, para ser suministrado por las entidades encargadas del agua potable. Este volumen es el balance entre la demanda de agua por parte de los habitantes, y la disponibilidad hídrica. Si la disponibilidad supera a la demanda, normalmente se dota la demanda completa, pero si la disponibilidad es inferior a la demanda, se realiza un ajuste, a fin de no superar a la disponibilidad y entrar en déficit hídrico.

La disponibilidad de agua se evalúa a partir de los escurrimientos y recarga de acuíferos; sin embargo, este concepto se está modificando a favor del llamado *índice de escasez*, donde la demanda y la calidad del agua también son consideradas y condicionan el uso de agua. En contraparte, el *índice de disponibilidad* no es igual a la oferta hídrica; la disponibilidad es un volumen menor a la oferta hídrica, en función de *a*) la cercanía de las fuentes y *b*) la calidad del agua (Lvovitch, 1970; Korzun et al., 1978 y UNESCO, 1979). Mientras más lejos se encuentra la fuente de agua, el costo de transporte-conducción encarece el agua servida; de igual forma, un agua contaminada se encarece al ser potabilizada. Y mientras más cara es el agua, menos oportunidad tienen los pobladores de pagar por ella, por lo tanto, la disponibilidad es menor. Entonces este indicador detecta los espacios geográficos con crisis de agua no solo por volúmenes bajos de escurrimiento-infiltración, también incluye la distancia a la que se encuentra la fuente de la zona de servicio, la infraestructura de conducción y la potabilización.

El papel que juega la población depende de su nivel socioeconómico; significa que los hábitos, cultura y nivel de ingreso y educativo determinan como el ser humano usa el agua. Por mediciones en diversas ciudades alrededor del mundo, (UNESCO, 2001) se sabe que las poblaciones con un índice de marginación alto, concentran su consumo en las necesidades básicas, y conforme su nivel de marginación aumenta, las actividades suntuarias disminuyen o desaparecen. En el caso contrario, se tiene que las poblaciones con altos ingresos y niveles de confort, concentran su consumo en las actividades suntuarias, bajando drásticamente las actividades básicas, e incluso tienden a desaparecer. Este sesgo en ambos casos, modifica la demanda de agua, así como la calidad de las descargas.

DOTACIÓN DE CONFORT: Es la cantidad de agua necesaria para que una persona pueda desarrollar sus actividades económicas y cotidianas, sin restricción alguna; considera que con esta agua es capaz de desarrollar la totalidad de su potencial productivo. El consumo medio de agua en los países desarrollados varía de 200 a 300 l/hab/día, en contraste a los países en desarrollo cuya dotación de confort está tasada en 180 l/hab/día, y frente a los menos de 60 litros en países con muy baja disponibilidad y altamente marginados.

DESARROLLO HUMANO Y CAMBIO CLIMÁTICO: En la actualidad, la naturaleza bajo el concepto de cambio climático presenta eventos extremos que afectan la normalidad del desarrollo humano; heladas extremas, lluvias torrenciales y más recientemente, sequías. Debido a que estos fenómenos representan una amenaza para el ser humano, es imperiosa la necesidad de entender y predecir el entorno. Es necesario para el desarrollo del ser humano tener seguridad de *a)* sobrevivencia como individuo y *b)* como sociedad; este concepto se compone de tres ejes:

- 1) Seguridad hídrica, que se refiere a contar con volúmenes de agua disponibles y seguros para su subsistencia y desarrollo.
- 2) Seguridad alimentaria, que se refiere a contar con almacenes de alimentos que garanticen la subsistencia en época de estiaje (baja o nula producción agropecuaria).
- 3) Seguridad habitacional, que es la certeza de que los eventos naturales no amenazan su vivienda e integridad física.

Esta es la triplete definida como base del desarrollo humano; para tener lo anterior, el ser humano interviene sobre los ecosistemas provocando modificaciones que tarde o temprano amenazan su seguridad en alguno de los tres aspectos y condicionan su desarrollo (Galván, 2015).

El cambio climático es un problema que ataca la totalidad del planeta; modifica los patrones hidrológicos, los procesos agropecuarios con la intensificación de las sequías e intensifica los desastres naturales. En 2009, el Land Uses Change and Forestry (LULUCF), lo definió como un fenómeno complejo, que modifica los patrones hidrológicos, con un efecto amplio, ya que genera incrementos en los escurrimientos (inundaciones), sequías, deslaves, pérdida de la producción agrícola, pérdida de especies y sistemas ecológicos, contaminación de los sistemas de abastecimiento de agua potable, azolvamiento de los sistemas de drenaje y desagüe, problemáticas que conectan el patrón hidrológico con el deterioro ambiental. La modificación de los patrones hidrológicos es el efecto que más fácilmente percibe el ser humano; es decir, que la modificación de la respuesta de los sistemas físicos, a los eventos de lluvia, incide en todos los aspectos del desarrollo humano: agua potable, producción agrícola, salud pública, asentamientos humanos, entre otros, además de que son de largo alcance en la variable tiempo.

Los fenómenos hidrológicos dependen directamente del cambio e intensificación del uso del suelo para el crecimiento de ciudades, producción agrícola e industrial, lo que impacta en el ámbito de la globalización; las tendencias económico-expansionistas empujan hacia la producción acelerada de bienes y alimentos, debido al incremento de la población; aunado a esto, las políticas sociales y ambientales actuales nunca fueron concebidas para enfrentar de manera integrada la pobreza y el deterioro ecológico, mucho menos para promover el desarrollo económico y la conservación de los recursos naturales.

Por otro lado, actualmente se reconoce que existe una relación íntima entre el espacio y los fenómenos sociales, que esta relación determina cómo la degradación ambiental impacta y se distribuye geográficamente de manera desigual en las regiones que componen una misma jurisdicción. Aparecen comunidades y recursos naturales expuestos a impactos diferenciados y crecientes en función al grado de vulnerabilidad y marginación de la población; en particular las poblaciones que viven en asentamientos con insuficiente infraestructura, urbanizaciones irregulares, o inaccesibilidad a saneamiento básico y al agua segura para consumo. En este sentido,

los efectos negativos sobre las condiciones de calidad de vida y bienestar se incrementan, entonces las situaciones de inequidad e injusticia se traducen en sufrimiento ambiental que pide se problematicen los patrones de producción que regulan las relaciones sociales y económicas que determinarán la sustentabilidad del ambiente.

La Zona de Estudio

La CDMX padece desde hace más de 25 años episodios de sequía en época de estiaje, solo que éstos se han concentrado en la zona oriente de la cuenca, principalmente en las Alcaldías de Iztapalapa e Iztacalco y los municipios conurbados de Netzahualcóyotl, Los Reyes y Chimalhuacán. La zona tiene un déficit crónico de agua; la forma en que se enfrenta esta situación es a través del tandeo, que es la presencia del servicio de agua potable por periodos de tiempo cortos, pero en época de estiaje se limita aún más, llegando a la distribución en pipas, con intervalos que rebasan los 10 días, lo que obliga a los pobladores a administrar el recurso de forma extrema. Sin embargo, existe una región al norponiente que no sufría de estos recortes en el suministro, el llamado corredor Reforma-Polanco-Las Lomas; este espacio es el de más alto impacto económico en la ciudad, es asiento de colonias con alto poder adquisitivo donde la dotación de agua varía de 230 hasta 800 l/hab/día promedio, y donde nunca se había recurrido al tandeo; además es la región donde los desarrollos inmobiliarios han modificado el paisaje urbano, pasando de viviendas unifamiliares, a edificaciones que albergan hasta 120 familias, con la consiguiente presión sobre el suministro de agua potable. También, en esta zona se asienta una importante masa de edificios corporativos de empresas de orden mundial como Nestlé, PepsiCo, L&G, etc.; comercios de alto impacto, y otros servicios. Este corredor es responsable del 0.3% del PIB nacional, de ahí su importancia. Colinda con áreas de nivel medio y medio bajo, conforme se traza un vector de este corredor hacia el nororiente, donde la falta de agua es normal y los tandeos son la única forma de suministro, que en esta sequía se abastece a través de pipas.

Este corredor al ser de alto consumo de agua, presenta demandas que sobre pasan la media de los 680 l/hab/día, llegando hasta 800 l/hab/día (consumo medido en 2019), sin embargo, dentro del mismo hay espacios que reciben menos de 100 l/hab/día, marcando un elemento de marginación. El tipo de vivienda que priva en la zona es de nivel residencial alto y muy alto, con valores por encima de los 3.5 millones de pesos. Los pocos espacios que aún conservan viviendas unifamiliares, actualmente padecen un proceso de gentrificación muy agresivo, donde los costos de vivienda y servicios se han incrementado entre 25 y 50 veces; pero a pesar de esto, aún quedan islas de viviendas tradicionales que se resisten a la gentrificación, pero que son los espacios que reciben menos de 100 l/hab/día. Adicional, las actividades comerciales y económicas de este espacio presurizan más en la demanda de servicios, en particular agua y electricidad, incrementando las asimetrías entre los diferentes tipos de población, de tal forma que, en este episodio de sequía, los espacios menos favorecidos están recibiendo cada vez menos agua, con tal de mantener las dotaciones de las áreas de alto impacto económico.

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de las autoridades, por mantener las dotaciones de agua de alta demanda, se ha tenido que recurrir a tandeos y suministro en pipa, lo que ha reducido los volúmenes entregados y la calidad del agua, lo que ha generado un problema más al sistema de aguas de la CDMX (SACMEX).

Justificación

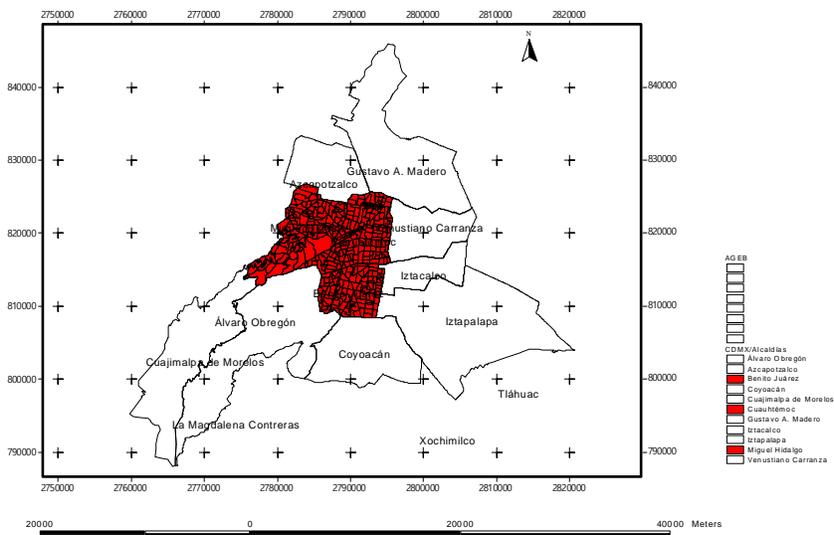
La escasez de agua en la CDMX no es un evento temporal que pueda resarcirse a corto plazo; aspectos como el incremento de la población, el cambio climático y diversificación y demanda de usos del agua presuriza al sistema para su obtención y administración, tanto en la ciudad como en las fuentes. El restringir el consumo en áreas de bajo impacto económico, para llevarla a espacios de alta demanda no es la mejor de las soluciones, o perforar más pozos y traer de otras fuentes en términos económicos y técnicos no es la mejor opción, debido a los hundimientos por sobre extracción y la contaminación; la realidad es que el sistema hace mucho tiempo fue rebasado por la demanda. Por lo que explorar nuevas formas -no técnicas- de enfrentar el problema es imperioso.

En este documento se realiza la estimación de las demandas de agua a nivel de AGEB del llamado corredor Reforma-Polanco-Las Lomas, para establecer una dotación de confort, y con ello estimar la cantidad de agua que podría ahorrarse en este espacio geográfico, y si estos caudales son suficientes para revertir el problema de escasez en la CDMX.

Metodología

Se calculó la demanda de agua para el corredor Reforma-Polanco-Las Lomas, que se asienta en las tres alcaldías de mayor impacto económico dentro de la CDMX: Benito Juárez, Cuauhtémoc, y Miguel Hidalgo, a partir de las ecuaciones 3 y 4. Este cálculo se hace a partir de datos reportados por INEGI, en una base de datos desagregada a nivel manzana y AGEB para el año 2022 (Mapa 2).

Mapa 2. Delegaciones y Manzanas de la CDMX.



Fuente: Elaboración propia

Los coeficientes A_i de la ecuación utilizada se obtienen de la matriz construida a partir de la definición de un sistema vectorial, donde las características de calidad de vida del habitante, determinan su consumo de agua. Estas características no son otros que los indicadores de calidad de vida reportados por INEGI (2023); la Tabla 1 muestra las variables utilizadas para cada coeficiente.

Tabla 1. Variables utilizadas para determinar Coeficientes A_i .

| Variables | A_1 | A_2 | A_3 |
|-----------|--------------|--------------|-------------------|
| | Escolaridad | Agua potable | Computadora |
| | Ingreso | Saneamiento | Teléfono Celular |
| | Agua potable | Electricidad | Internet |
| | Saneamiento | Refrigerador | Automóvil |
| | Teléfono | Lavadora | Motocicleta |
| | Electricidad | Micro ondas | Servicio de Cable |
| | Gas | P der SS | Stream privado |

Fuente: Elaboración propia.

Para dar el marco geográfico de la evaluación matricial, se definieron solo los AGEBS que conforman el corredor citado y mantienen continuidad espacial entre ellos. Se recurrió a Sistemas de Información Geográfica para determinar los AGEB a utilizar. Los valores característicos A_i se calculan por AGEB, en un barrido matricial doble. Por ser grande la matriz de valores se omite.

Respecto a la dotación asignada para cada necesidad (X_i) la OMS recomienda para la región Norteamérica que estén entre 50 y 100 l/hab/día; teniendo esto como base, se designó que $X_1 = 50$ l/hab/día, $X_2 = 33.4$ l/hab/día y $X_3 = 16.7$ l/hab/día.

Una vez calculadas las demandas a nivel manzana, se realiza la agregación a nivel AGEB, dado que SACMEX reporta el consumo medido de forma bimestral a este nivel de agregación. Con este reporte para el año 2019, que es el último año publicado, se realiza la calibración de las demandas calculadas. Una vez calibradas las demandas, se procede a estimar los caudales de agua como el resultado de la demanda por habitante, por el número de habitantes, por AGEB, por día y se realiza la acumulación por delegación para el citado corredor.

Reporte de Resultados

La demanda estimada a través de funciones empíricas ortogonales, a nivel manzana y agregada posteriormente a nivel AGEB, para el año 2022, se muestra en las Tablas 1a a 1c.

Tabla 1a. Demanda estimada Alcaldía Benito Juárez.

| BENITO JUÁREZ | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------------------|------------------|---------------------|------|------------------------|------------------|---------------------|------|------------------------|------------------|---------------------|
| AGEB | Población (No. hab) | Demanda Estimada | | AGEB | Población (No. hab) | Demanda Estimada | | AGEB | Población (No. hab) | Demanda Estimada | |
| | | (l/hab/día) | (m ³ /d) | | | (l/hab/día) | (m ³ /d) | | | (l/hab/día) | (m ³ /d) |
| 11 | 4007 | 278.50 | 0.12916 | 134 | 5119 | 238.31 | 0.14119 | 295 | 2227 | 232.68 | 0.05998 |
| 26 | 4197 | 252.82 | 0.12281 | 149 | 3427 | 177.63 | 0.07045 | 308 | 3900 | 371.18 | 0.16755 |
| 30 | 5412 | 328.29 | 0.20563 | 153 | 2926 | 170.97 | 0.05790 | 312 | 2186 | 277.35 | 0.07017 |
| 45 | 3510 | 484.00 | 0.19663 | 168 | 1684 | 347.82 | 0.06779 | 327 | 1792 | 527.21 | 0.10935 |
| 005A | 5965 | 323.30 | 0.22320 | 172 | 1844 | 692.67 | 0.14783 | 331 | 2642 | 685.07 | 0.20949 |
| 64 | 4099 | 296.91 | 0.14086 | 187 | 6973 | 473.60 | 0.38222 | 350 | 3733 | 169.80 | 0.07337 |
| 79 | 6364 | 324.63 | 0.23912 | 223 | 1137 | 514.51 | 0.06771 | 365 | 1744 | 236.19 | 0.04767 |
| 83 | 4973 | 252.76 | 0.14548 | 238 | 6835 | 336.26 | 0.26601 | 384 | 4139 | 294.25 | 0.14096 |
| 98 | 6267 | 512.88 | 0.37202 | 242 | 4553 | 440.25 | 0.23199 | 399 | 4125 | 634.72 | 0.30303 |
| 100 | 2000 | 425.56 | 0.09851 | 257 | 7833 | 323.92 | 0.29366 | 401 | 5581 | 229.03 | 0.14794 |
| 115 | 5208 | 424.45 | 0.25585 | 261 | 8317 | 194.83 | 0.18754 | 416 | 3037 | 240.56 | 0.08456 |
| 012A | 5693 | 328.97 | 0.21676 | 280 | 2438 | 407.20 | 0.11490 | 420 | 5658 | 278.50 | 0.18238 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1b. Demanda estimada Alcaldía Cuauhtémoc.

| CUAUHTÉMOC | | | | | | | | | | | |
|------------|------------------------|------------------|---------------------|------|------------------------|------------------|---------------------|------|------------------------|------------------|---------------------|
| AGEB | Población (No. Hab) | Demanda Estimada | | AGEB | Población (No. Hab) | Demanda Estimada | | AGEB | Población (No. Hab) | Demanda Estimada | |
| | | (l/hab/día) | (m ³ /d) | | | (l/hab/día) | (m ³ /d) | | | (l/hab/día) | (m ³ /d) |
| 659 | 9896 | 207.17 | 0.02373 | 1089 | 4744 | 282.51 | 0.01551 | 1322 | 2964 | 132.34 | 0.00454 |
| 663 | 945 | 383.99 | 0.00420 | 1093 | 2112 | 702.20 | 0.01716 | 1337 | 4657 | 556.56 | 0.03000 |
| 714 | 6359 | 175.86 | 0.01294 | 1106 | 3674 | 430.18 | 0.01829 | 1341 | 8279 | 292.73 | 0.02805 |
| 729 | 850 | 253.86 | 0.00250 | 1110 | 14931 | 534.92 | 0.09244 | 1356 | 7834 | 603.37 | 0.05471 |
| 733 | 774 | 289.59 | 0.00259 | 1125 | 20447 | 516.75 | 0.12229 | 1360 | 4214 | 230.10 | 0.01122 |
| 748 | 11252 | 311.65 | 0.04059 | 113A | 21482 | 323.31 | 0.08039 | 1375 | 7666 | 259.84 | 0.02305 |
| 752 | 3816 | 308.44 | 0.01362 | 1144 | 18873 | 312.18 | 0.06819 | 138A | 1383 | 286.01 | 0.00458 |
| 822 | 7396 | 466.15 | 0.03990 | 1159 | 10080 | 354.94 | 0.04141 | 1394 | 12386 | 397.58 | 0.05700 |
| 837 | 1733 | 405.84 | 0.00814 | 1163 | 6641 | 140.53 | 0.01080 | 1407 | 5398 | 364.21 | 0.02275 |
| 841 | 4268 | 400.80 | 0.01980 | 1178 | 7126 | 165.36 | 0.01364 | 1411 | 6241 | 564.19 | 0.04075 |
| 856 | 388 | 365.64 | 0.00164 | 1182 | 7249 | 309.08 | 0.02593 | 1426 | 3317 | 319.92 | 0.01228 |
| 907 | 571 | 261.03 | 0.00172 | 1197 | 2855 | 811.39 | 0.02681 | 1430 | 3137 | 385.27 | 0.01399 |
| 911 | 10800 | 165.20 | 0.02065 | 120A | 4441 | 377.39 | 0.01940 | 1445 | 3963 | 403.14 | 0.01849 |
| 926 | 7119 | 197.67 | 0.01629 | 1214 | 6536 | 311.45 | 0.02356 | 145A | 8300 | 443.68 | 0.04262 |
| 930 | 1482 | 575.88 | 0.00988 | 1229 | 1989 | 337.14 | 0.00776 | 1464 | 7176 | 415.73 | 0.03453 |
| 095A | 1612 | 285.06 | 0.00532 | 1233 | 22237 | 600.30 | 0.15450 | 1479 | 7412 | 440.57 | 0.03780 |
| 964 | 8982 | 127.04 | 0.01321 | 1248 | 15194 | 330.75 | 0.05816 | 1483 | 17476 | 583.13 | 0.11795 |
| 979 | 5646 | 260.99 | 0.01706 | 1252 | 12455 | 333.36 | 0.04805 | 1498 | 14249 | 453.25 | 0.07475 |
| 833 | 2090 | 371.33 | 0.00898 | 1267 | 7765 | 443.62 | 0.03987 | 1500 | 7446 | 331.09 | 0.02853 |
| 1036 | 15914 | 237.37 | 0.04372 | 1271 | 3873 | 457.05 | 0.02049 | 1515 | 8580 | 88.75 | 0.00881 |
| 1040 | 12119 | 237.39 | 0.03330 | 1286 | 3187 | 452.17 | 0.01668 | 152A | 8440 | 445.04 | 0.04347 |
| 1055 | 5618 | 208.38 | 0.01355 | 1290 | 11586 | 365.10 | 0.04896 | 1534 | 7417 | 280.05 | 0.02404 |
| 106A | 14832 | 258.79 | 0.04442 | 1303 | 4749 | 247.16 | 0.01359 | 1549 | 11442 | 207.17 | 0.02743 |
| 1074 | 18106 | 163.52 | 0.03427 | 1318 | 5630 | 533.38 | 0.03475 | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1c. Demanda estimada Alcaldía Miguel Hidalgo.

| MIGUEL HIDALGO | | | | | | | | | | | |
|----------------|------------------------|------------------|---------------------|------|------------------------|------------------|---------------------|------|------------------------|------------------|---------------------|
| AGEB | Población (No. Hab) | Demanda Estimada | | AGEB | Población (No. Hab) | Demanda Estimada | | AGEB | Población (No. Hab) | Demanda Estimada | |
| | | (l/hab/día) | (m ³ /d) | | | (l/hab/día) | (m ³ /d) | | | (l/hab/día) | (m ³ /d) |
| 16 | 200974 | 310.01 | 0.72111 | 124 | 29829 | 395.91 | 0.13669 | 029A | 64650 | 222.51 | 0.16650 |
| 20 | 200486 | 60.56 | 0.14053 | 139 | 34814 | 317.99 | 0.12813 | 302 | 0 | 305.27 | 0.00000 |
| 35 | 139 | 371.29 | 0.00060 | 143 | 399998 | 103.46 | 0.47896 | 317 | 39888 | 169.92 | 0.07845 |
| 004A | 50017 | 258.66 | 0.14974 | 177 | 119039 | 398.10 | 0.54849 | 321 | 9398 | 518.15 | 0.05636 |
| 54 | 30038 | 375.62 | 0.13059 | 181 | 62833 | 159.30 | 0.11585 | 336 | 47964 | 191.87 | 0.10651 |
| 69 | 32579 | 431.28 | 0.16262 | 196 | 0 | 177.47 | 0.00000 | 374 | 180438 | 438.51 | 0.91578 |
| 73 | 83606 | 121.90 | 0.11796 | 209 | 89732 | 446.42 | 0.46363 | 389 | 32412 | 317.72 | 0.11919 |
| 88 | 6196 | 355.62 | 0.02550 | 213 | 52523 | 205.88 | 0.12515 | 393 | 74605 | 142.24 | 0.12282 |
| 92 | 56094 | 451.50 | 0.29313 | 251 | 27428 | 261.73 | 0.08309 | 410 | 51653 | 310.01 | 0.18533 |
| 105 | 35705 | 449.70 | 0.18584 | 270 | 51340 | 636.18 | 0.37803 | | | | |
| 011A | 68151 | 232.90 | 0.18371 | 285 | 53219 | 309.56 | 0.19068 | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la demanda máxima es de 692.67 l/hab/día, mientras el mínimo es de 60.56 l/hab/día, y el promedio es de 351.07 l/hab/día. La demanda promedio es congruente numéricamente con lo reportado por SACMEX de 380 l/hab/día, lo que da confianza al cálculo.

Los valores de demanda fueron calibrados a partir del reporte de consumo de agua por Alcaldía-AGEB publicado por SACMEX para el año 2019. Se comparó por AGEB la demanda calculada contra el consumo reportado por bimestre; las Tablas 2a a 2b muestra esta calibración.

ESTIMACIÓN DE AHORRO DE AGUA A PARTIR DE LA DEMANDA, EN ZONAS DE ALTO CONSUMO DE LA CDMX Y SU IMPACTO EN EL MANEJO DE LA SEQUÍA

Tablas 2a. Calibración de la demanda calculada contra el consumo reportado por bimestre.

| BENITO JUÁREZ | | | | | | MIGUEL HIDALGO | | | | | |
|---------------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|----------------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|
| AGEB | Consumo Medido (l/hab/día) | AGEB | Consumo Medido (l/hab/día) | AGEB | Consumo Medido (l/hab/día) | AGEB | Consumo Medido (l/hab/día) | AGEB | Consumo Medido (l/hab/día) | AGEB | Consumo Medido (l/hab/día) |
| 321 | 503.29 | 209 | 477.38 | 393 | 142.45 | 029A | 221.77 | 20 | 70.11 | 209 | 442.88 |
| 139 | 343.60 | 181 | 156.40 | 92 | 457.24 | 317 | 166.81 | 88 | 357.59 | 54 | 363.46 |
| 73 | 127.51 | 143 | 113.35 | 317 | 162.19 | 213 | 205.07 | 73 | 121.19 | 196 | 181.58 |
| 213 | 187.95 | 389 | 332.91 | 124 | 395.69 | 302 | 304.76 | 393 | 143.40 | 16 | 305.63 |
| 177 | 403.41 | 54 | 370.71 | 270 | 629.70 | 336 | 191.89 | 270 | 630.45 | 374 | 435.27 |
| 336 | 197.06 | 374 | 334.97 | 251 | 243.80 | 251 | 262.29 | 139 | 325.16 | 004A | 266.68 |
| 410 | 331.17 | 011A | 242.91 | 302 | 306.25 | 285 | 307.40 | 69 | 429.63 | 410 | 207.98 |
| 35 | 337.98 | 196 | 177.53 | 285 | 311.25 | 35 | 380.23 | 011A | 233.51 | 124 | 391.25 |
| 69 | 433.21 | 029A | 218.01 | 16 | 315.50 | 321 | 553.53 | 92 | 455.94 | 177 | 399.50 |
| 004A | 259.08 | 105 | 458.63 | | | 181 | 168.73 | 389 | 315.59 | | |
| 88 | 351.98 | 20 | 54.28 | | | 143 | 100.94 | 105 | 442.88 | | |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2b. Calibración de la demanda calculada contra el consumo reportado por bimestre.

| CUAUHTÉMOC | | | | | | | | | | | |
|------------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|
| AGEB | Consumo Medido (l/hab/día) | AGEB | Consumo Medido (l/hab/día) | AGEB | Consumo Medido (l/hab/día) | AGEB | Consumo Medido (l/hab/día) | AGEB | Consumo Medido (l/hab/día) | AGEB | Consumo Medido (l/hab/día) |
| 979 | 262.57 | 837 | 411.29 | 1483 | 592.40 | 1407 | 389.89 | 1159 | 359.28 | 152A | 451.23 |
| 926 | 198.85 | 833 | 373.17 | 752 | 307.09 | 841 | 399.75 | 1229 | 337.41 | 1197 | 809.56 |
| 1445 | 403.15 | 1252 | 335.11 | 1430 | 385.80 | 1110 | 542.13 | 1106 | 435.63 | 1322 | 130.27 |
| 714 | 173.53 | 930 | 576.33 | 1479 | 483.78 | 113A | 322.34 | 1426 | 321.87 | 1093 | 694.50 |
| 729 | 253.48 | 1337 | 558.64 | 1394 | 393.90 | 659 | 208.34 | 1233 | 592.43 | 1375 | 276.20 |
| 1318 | 532.13 | 1411 | 568.38 | 1341 | 298.87 | 1144 | 319.08 | 911 | 177.23 | 1040 | 234.82 |
| 1303 | 245.63 | 733 | 238.72 | 907 | 261.61 | 120A | 376.12 | 1178 | 167.20 | 663 | 381.13 |
| 1036 | 237.85 | 1089 | 272.10 | 1290 | 362.92 | 1356 | 558.29 | 748 | 309.50 | 1055 | 213.58 |
| 1163 | 147.96 | 1549 | 205.50 | 1267 | 422.70 | 1360 | 239.51 | 1182 | 308.88 | 856 | 364.67 |
| 095A | 286.59 | 1498 | 474.75 | 964 | 129.84 | 1500 | 346.20 | 1214 | 312.56 | 106A | 250.54 |
| 1515 | 86.83 | 822 | 466.50 | 138A | 284.68 | 1534 | 280.69 | 1248 | 331.20 | 1271 | 455.66 |
| 1464 | 418.16 | 1125 | 518.90 | 1286 | 450.19 | 1074 | 156.92 | 145A | 445.26 | | |

Fuente: Elaboración propia.

El caso del consumo medido tenemos un máximo medido de 809.56 l/hab/día, el mínimo es de 54.28 l/hab/día y el promedio es de 319.65 l/hab/día, que presenta un 16% por debajo del promedio reportado de 380 l/hab/día.

La Tabla 3 muestra los valores máximos, mínimos y promedio entre la demanda estimada y el consumo de agua reportado, agregados a nivel alcaldía.

Tabla 3. Calibración de la demanda de agua.

| Alcaldía | Demanda calculada (l/hab/día) | | | Consumo medido (l/hab/día) | | |
|-----------------------|-------------------------------|--------|----------|----------------------------|--------|----------|
| | Máximo | Mínimo | Promedio | Máximo | Mínimo | Promedio |
| Benito Juárez | 692.67 | 169.80 | 353.54 | 629.70 | 54.28 | 302.50 |
| Cuauhtémoc | 603.37 | 132.34 | 132.34 | 809.56 | 86.83 | 353.80 |
| Miguel Hidalgo | 636.18 | 636.18 | 60.56 | 630.45 | 70.11 | 302.68 |

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la Tabla 4 muestra los coeficientes de correlación entre los valores de la demanda estimada y el consumo de agua reportado, agregados a nivel alcaldía. Se presentan dos diferentes tipos de correlación.

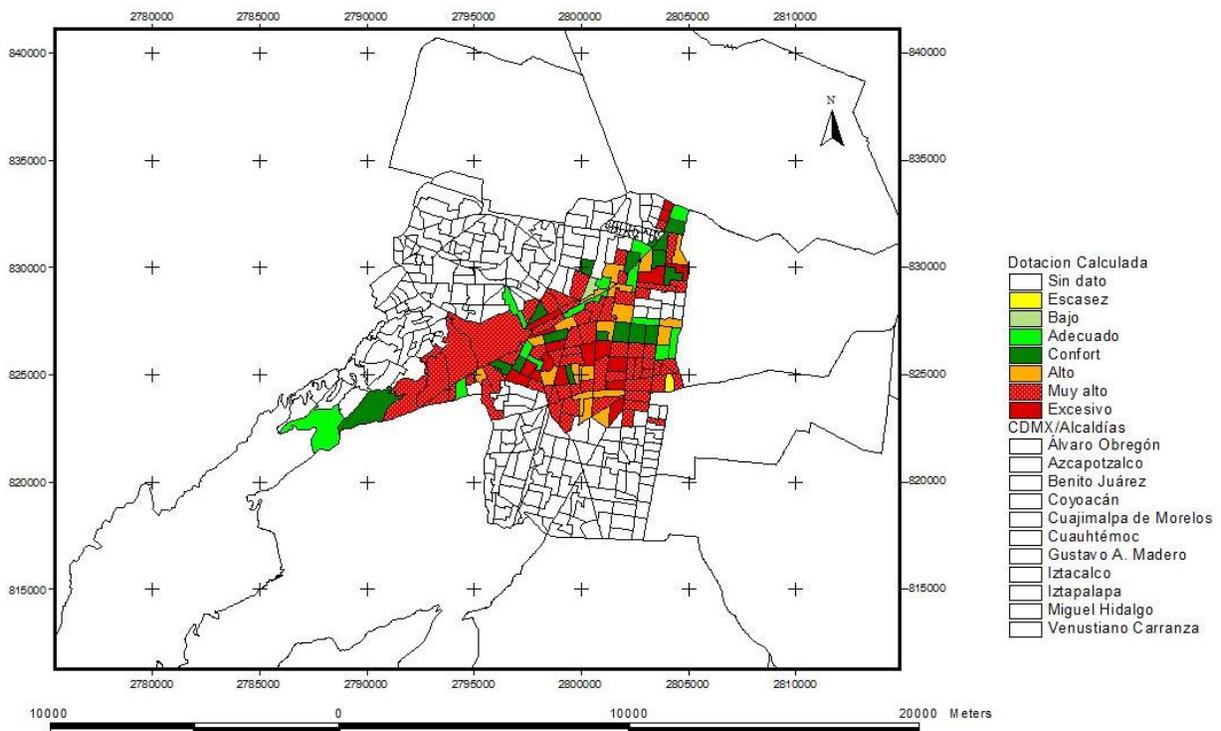
Tabla 4. Coeficientes de correlación.

| Coeficiente de Correlación entre Caudal Medio y Estimado | | |
|--|-------------------|----------------------|
| Alcaldía | Coef. Correlación | Coef. R ² |
| Benito Juárez | 0.9855 | 0.9711 |
| Miguel Hidalgo | 0.9887 | 0.9776 |
| Cuauhtémoc | 0.9564 | 0.9146 |

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, los coeficientes varían de 0.91 a 0.99, lo que nos indica que las demandas estimadas son aceptables. El consumo estimado varía de 60.56 a 692.67 l/hab/día, que respecto al consumo promedio reportado para toda la ciudad de 380 l/hab/día muestra una desviación del 16%. El Mapa 3 muestra la distribución de estas demandas para las tres delegaciones.

Mapa 3. Demandas estimadas son aceptables.

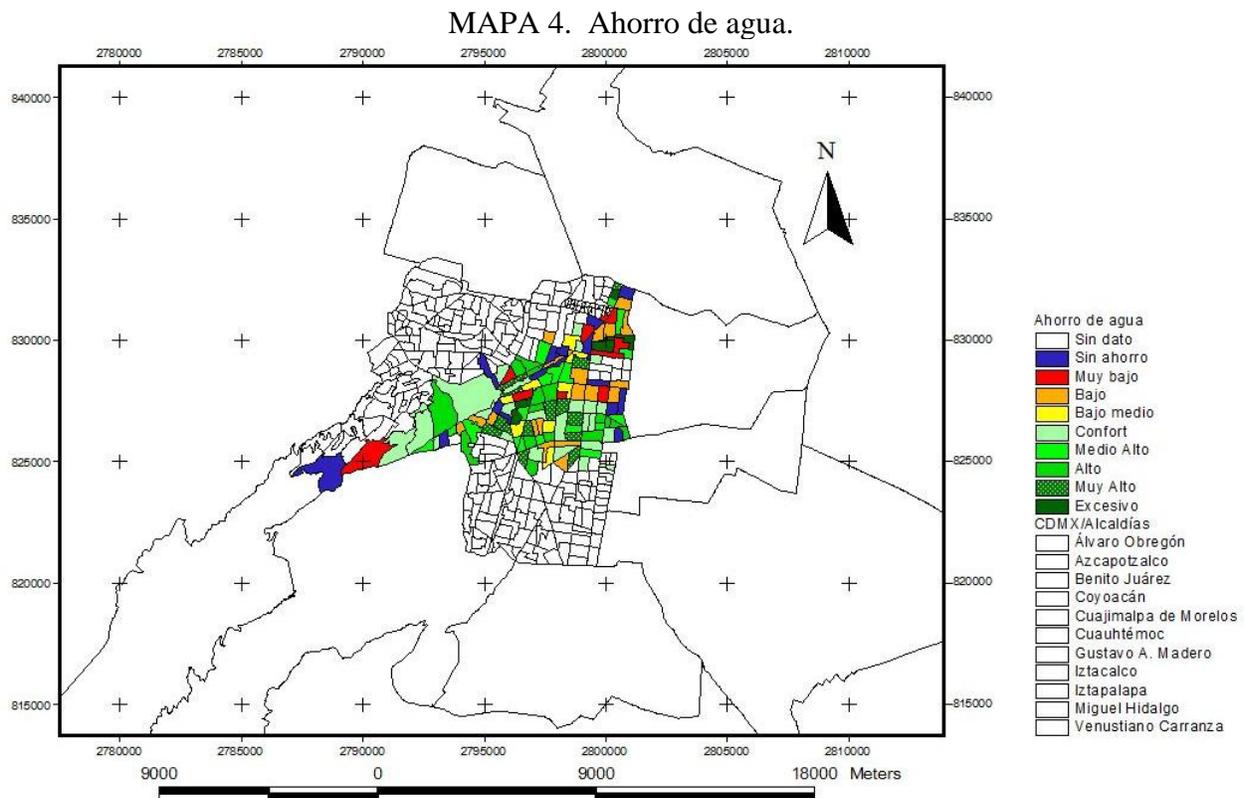


Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el Mapa 3, los espacios de más alta demanda de agua son los que colindan directamente con el corredor Reforma-Polanco-Las Lomas (rojo intenso y rojo achurado); existen algunos AGEBS a los que no se les cubre la demanda de 100 l/hab/día, que marca la OMS (amarillo y verde claro) y que son los más alejados de este corredor, además de ser cercanos a zonas económicamente deprimidas y marginadas. Es importante señalar que son muy pocos los

ESTIMACIÓN DE AHORRO DE AGUA A PARTIR DE LA DEMANDA, EN ZONAS DE ALTO CONSUMO DE LA CDMX Y SU IMPACTO EN EL MANEJO DE LA SEQUÍA

AGEBS que reciben la cuota de confort (verde y verde oscuro) y a pesar de que son parte del corredor Reforma-Polanco estos se extienden hacia el noreste (Peralvillo y Tepito). Pero, debido a que se está evaluando solo el corredor Reforma-Polanco, se realiza el filtrado sólo para los AGEBS que colindan con el citado corredor (Mapa 4). Sobre los AGEBS de este corredor se aplica la “cuota de confort” de 180 l/hab/día a aquellos que la rebasan; la diferencia entre la demanda y la cuota de confort se define como “ahorro de agua”, mientras que los AGEBS que están por debajo de esta cuota se dejan con la dotación estimada (color azul). Con esta información se calcula el total de agua que se ahorraría si se aplica esta política. Lo que se obtiene es un volumen de ahorro de agua por AGEBS; se muestra en las Tablas 5a y 5b. Esto significa que mientras más gastan agua más alto es el ahorro que se puede lograr (todos los tonos verdes); en contraparte las zonas que menos consumen agua es donde se pueden lograr los ahorros más bajos (rojo y naranja)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5a. Volumen de ahorro de agua por AGEB (Benito Juárez y Miguel Hidalgo).

| BENITO JUÁREZ | | | | | MIGUEL HIDALGO | | | | | | | | | | |
|---------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|------|------------------------|----------------------------|----------------------------|------|------------------------|----------------------------|----------------------------|------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| AGEB | Población (No. Hab) | Dif. Ahorro (l/hab/día) | Agua ahorrada (m³/s) | AGEB | Población (No. Hab) | Dif. Ahorro (l/hab/día) | Agua ahorrada (m³/s) | AGEB | Población (No. Hab) | Dif. Ahorro (l/hab/día) | Agua ahorrada (m³/s) | AGEB | Población (No. Hab) | Dif. Ahorro (l/hab/día) | Agua ahorrada (m³/s) |
| 11 | 4007 | 98.50 | 0.0457 | 223 | 1137 | 334.51 | 0.0440 | 16 | 200974 | 130.01 | 0.3024 | 196 | 0 | 177.47 | 0.0000 |
| 26 | 4197 | 72.82 | 0.0354 | 238 | 6835 | 156.26 | 0.1236 | 20 | 200486 | 0.00 | 0.0000 | 209 | 89732 | 266.42 | 0.2767 |
| 30 | 5412 | 148.29 | 0.0929 | 242 | 4553 | 260.25 | 0.1371 | 35 | 139 | 191.29 | 0.0003 | 213 | 52523 | 25.88 | 0.0157 |
| 45 | 3510 | 304.00 | 0.1235 | 257 | 7833 | 143.92 | 0.1305 | 004A | 50017 | 78.66 | 0.0455 | 251 | 27428 | 81.73 | 0.0259 |
| 005A | 5965 | 143.30 | 0.0989 | 261 | 8317 | 14.83 | 0.0143 | 54 | 30038 | 195.62 | 0.0680 | 270 | 51340 | 456.18 | 0.2711 |
| 64 | 4099 | 116.91 | 0.0555 | 280 | 2438 | 227.20 | 0.0641 | 69 | 32579 | 251.28 | 0.0948 | 285 | 53219 | 129.56 | 0.0798 |
| 79 | 6364 | 144.63 | 0.1065 | 295 | 2227 | 52.68 | 0.0136 | 73 | 83606 | 0.00 | 0.0000 | 029A | 64650 | 42.51 | 0.0318 |
| 83 | 4973 | 72.76 | 0.0419 | 308 | 3900 | 191.18 | 0.0863 | 88 | 6196 | 175.62 | 0.0126 | 302 | 0 | 125.27 | 0.0000 |
| 98 | 6267 | 332.88 | 0.2415 | 312 | 2186 | 97.35 | 0.0246 | 92 | 56094 | 271.50 | 0.1763 | 317 | 39888 | 0.00 | 0.0000 |
| 100 | 2000 | 245.56 | 0.0568 | 327 | 1792 | 347.21 | 0.0720 | 105 | 35705 | 269.70 | 0.1115 | 321 | 9398 | 338.15 | 0.0368 |
| 115 | 5208 | 244.45 | 0.1473 | 331 | 2642 | 505.07 | 0.1544 | 011A | 68151 | 52.90 | 0.0417 | 336 | 47964 | 11.87 | 0.0066 |
| 012A | 5693 | 148.97 | 0.0982 | 350 | 3733 | 0.00 | 0.0000 | 124 | 29829 | 215.91 | 0.0745 | 374 | 180438 | 258.51 | 0.5399 |
| 134 | 5119 | 58.31 | 0.0345 | 365 | 1744 | 56.19 | 0.0113 | 139 | 34814 | 137.99 | 0.0556 | 389 | 32412 | 137.72 | 0.0517 |
| 149 | 3427 | 177.63 | 0.0705 | 384 | 4139 | 114.25 | 0.0547 | 143 | 399998 | 0.00 | 0.0000 | 393 | 74605 | 0.00 | 0.0000 |
| 153 | 2926 | 170.97 | 0.0579 | 399 | 4125 | 454.72 | 0.2171 | 177 | 119039 | 218.10 | 0.3005 | 410 | 51653 | 130.01 | 0.0777 |
| 168 | 1684 | 167.82 | 0.0327 | 401 | 5581 | 49.03 | 0.0317 | 181 | 62833 | 159.30 | 0.1158 | | | | |
| 172 | 1844 | 512.67 | 0.1094 | 416 | 3037 | 60.56 | 0.0213 | | | | | | | | |
| 187 | 6973 | 293.60 | 0.2369 | 420 | 5658 | 98.50 | 0.0645 | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5b. Volumen de ahorro de agua por AGEB (Cauhtémoc).

| CUAUHTÉMOC | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|------|------------------------|----------------------------|----------------------------|------|------------------------|----------------------------|----------------------------|------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| AGEB | Población (No. Hab) | Dif. Ahorro (l/hab/día) | Agua ahorrada (m³/s) | AGEB | Población (No. Hab) | Dif. Ahorro (l/hab/día) | Agua ahorrada (m³/s) | AGEB | Población (No. Hab) | Dif. Ahorro (l/hab/día) | Agua ahorrada (m³/s) | AGEB | Población (No. Hab) | Dif. Ahorro (l/hab/día) | Agua ahorrada (m³/s) |
| 659 | 9896 | 27.17 | 0.0031 | 833 | 2090 | 191.33 | 0.0046 | 120A | 4441 | 197.39 | 0.0101 | 138A | 1383 | 106.01 | 0.0017 |
| 663 | 945 | 203.99 | 0.0022 | 1036 | 15914 | 57.37 | 0.0106 | 1214 | 6536 | 131.45 | 0.0099 | 1394 | 12386 | 217.58 | 0.0312 |
| 714 | 6359 | 0.00 | 0.0000 | 1040 | 12119 | 57.39 | 0.0080 | 1229 | 1989 | 157.14 | 0.0036 | 1407 | 5398 | 184.21 | 0.0115 |
| 729 | 850 | 73.86 | 0.0007 | 1055 | 5618 | 28.38 | 0.0018 | 1233 | 22237 | 420.30 | 0.1082 | 1411 | 6241 | 384.19 | 0.0277 |
| 733 | 774 | 109.59 | 0.0010 | 106A | 14832 | 78.79 | 0.0135 | 1248 | 15194 | 150.75 | 0.0265 | 1426 | 3317 | 139.92 | 0.0054 |
| 748 | 11252 | 131.65 | 0.0171 | 1074 | 18106 | 0.00 | 0.0000 | 1252 | 12455 | 153.36 | 0.0221 | 1430 | 3137 | 205.27 | 0.0075 |
| 752 | 3816 | 128.44 | 0.0057 | 1089 | 4744 | 102.51 | 0.0056 | 1267 | 7765 | 263.62 | 0.0237 | 1445 | 3963 | 223.14 | 0.0102 |
| 822 | 7396 | 286.15 | 0.0245 | 1093 | 2112 | 522.20 | 0.0128 | 1271 | 3873 | 277.05 | 0.0124 | 145A | 8300 | 263.68 | 0.0253 |
| 837 | 1733 | 225.84 | 0.0045 | 1106 | 3674 | 250.18 | 0.0106 | 1286 | 3187 | 272.17 | 0.0100 | 1464 | 7176 | 235.73 | 0.0196 |
| 841 | 4268 | 220.80 | 0.0109 | 1110 | 14931 | 354.92 | 0.0613 | 1290 | 11586 | 185.10 | 0.0248 | 1479 | 7412 | 260.57 | 0.0224 |
| 856 | 388 | 185.64 | 0.0008 | 1125 | 20447 | 336.75 | 0.0797 | 1303 | 4749 | 67.16 | 0.0037 | 1483 | 17476 | 403.13 | 0.0815 |
| 907 | 571 | 81.03 | 0.0005 | 113A | 21482 | 143.31 | 0.0356 | 1318 | 5630 | 353.38 | 0.0230 | 1498 | 14249 | 273.25 | 0.0451 |
| 911 | 10800 | 0.00 | 0.0000 | 1144 | 18873 | 132.18 | 0.0289 | 1322 | 2964 | 0.00 | 0.0000 | 1500 | 7446 | 151.09 | 0.0130 |
| 926 | 7119 | 17.67 | 0.0015 | 1159 | 10080 | 174.94 | 0.0204 | 1337 | 4657 | 376.56 | 0.0203 | 1515 | 8580 | 0.00 | 0.0000 |
| 930 | 1482 | 395.88 | 0.0068 | 1163 | 6641 | 140.53 | 0.0108 | 1341 | 8279 | 112.73 | 0.0108 | 152A | 8440 | 265.04 | 0.0259 |
| 095A | 1612 | 105.06 | 0.0020 | 1178 | 7126 | 165.36 | 0.0136 | 1356 | 7834 | 423.37 | 0.0384 | 1534 | 7417 | 100.05 | 0.0086 |
| 964 | 8982 | 0.00 | 0.0000 | 1182 | 7249 | 129.08 | 0.0108 | 1360 | 4214 | 50.10 | 0.0024 | 1549 | 11442 | 27.17 | 0.0036 |
| 979 | 5646 | 80.99 | 0.0053 | 1197 | 2855 | 631.39 | 0.0209 | 1375 | 7666 | 79.84 | 0.0071 | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Si comparamos la demanda de agua respecto al volumen potencial de ahorro, la Tabla 6 muestra la demanda para el total de cada alcaldía, y su comparativo solo para el corredor y el porcentaje que representa.

Tabla 6. Demanda por AGEB para el corredor.

| Alcaldía | Demanda (m ³ /s) | | | Caudal de Ahorro (m ³ /s) | |
|----------------|--------------------------------|----------------|--------|---|--------|
| | Total | AGEB | % AGEB | AGEB | % AGEB |
| Benito Juárez | 14.0581 | 5.9717 | 42.48 | 2.9513 | 49.42 |
| Cuauhtémoc | 4.4240 | 2.2120 | 50.00 | 1.1338 | 51.25 |
| Miguel Hidalgo | 19.1877 | 6.5110 | 33.93 | 2.8132 | 43.21 |
| Total | 37.6698 | 14.6947 | | 6.8982 | |

Fuente: Elaboración propia.

Cómo se observa, el caudal ahorrado aplicando una política de manejo del agua, sobre los AGEBS asociados al corredor que más consume agua en el país, arroja un ahorro de 6.89 m³/s, que frente a los 1.39 m³/s que estima la CONAGUA recuperar al realizar obras de rescate y adecuación de pozos que han salido de operación por diversas causas, tenemos que el caudal es 5.59 m³/s mayor, que equivale a 4.3 veces el caudal de 1.39 que la CONAGUA espera recuperar.

La inclusión del espacio como un elemento para el análisis de los fenómenos sociales resulta central sobre todo en una interrelación global-local como es la que se da en este corredor; sin embargo, el espacio asociado a lo ambiental permite determinar la magnitud el impacto, que en este caso es el consumo de agua, así como la relación entre el volumen suministrado a este espacio, y su impacto en la economía. Esto significa que el espacio es el límite físico donde se dan las relaciones sociales que se ven influenciadas por lo global, donde se refleja fielmente la lógica económica.

Discusión

El cambio climático es un fenómeno complejo cuyos efectos son de muy largo plazo, por lo que cualquier actividad diseñada para paliar sus efectos, debe pensarse a largo plazo. Esto significa que las acciones a implementar deben contener elementos del análisis complejo, con impacten en los 3 ejes del desarrollo humano, que contemplen efectos en el sistema natural y sobre todo, que el ser humano los entienda, los acepte y se haga parte de.

La participación social es la base de construcción del buen vivir desde la percepción del ciudadano, situación que en más de un sentido se contrapone a la percepción del gobernante y de la implementación de las políticas públicas; esto es mucho más que el acceso a bienes y la satisfacción de necesidades básicas, implica la adopción de una visión holística que busca crear las condiciones materiales y espirituales de vida ideales desde y para el poblador. Por lo tanto, lograr que el poblador adopte estas nuevas visiones es necesaria la participación de la ciudadanía en las problemáticas ambientales; implica generar herramientas de intervención y control de la gestión pública ambiental en la medida que se encuentran canales institucionalizados de participación (como audiencias públicas, foros, mesas o comisiones) y asegurando el acceso a la información, para definir un modelo de bienestar y desarrollo desde la comunidad, que permita incidir en los patrones de consumo. El segundo efecto de este tipo de estrategias es que permite organizar las bases sociales que normen las relaciones de interdependencia entre los grupos de autogestión y

autogobierno de los bienes comunes, fundamentalmente para definir de manera constructiva el buen vivir de las comunidades. Se considera que el buen vivir es “una forma de armonía con uno mismo, con la sociedad y con la naturaleza”. Comprende tres elementos: la identidad (armonía personal), la equidad (armonía social) y la sostenibilidad (armonía integral); se sostiene que por medio de un proceso de participación cada comunidad puede concretar el significado de su propio bienestar, que éste puede variar de una comunidad a otra, pero debe enmarcarse en los principios de equidad social y sostenibilidad ambiental.

Para lograr lo arriba descrito, se necesita de un replanteamiento conceptual de los problemas socio-ambientales, de acuerdo a los intereses, preocupaciones y objetivos de los actores y sujetos que realmente viven las situaciones, y que conocen de forma inmediata e integral todas las circunstancias emergentes alrededor del problema, que las materializan y las resignifican a partir de sus formas espaciales, condicionantes económicos, e incluso histórico-temporales, lo que les da rasgos particulares.

Proponer un plan de recuperación de volúmenes de agua, que ya se encuentran al interior de la cuenca, y del sistema de abastecimiento por un lado implica que se aborden temas de la mejora-creación de tecnologías, pero por otro, y el más importante, es la incorporación de los pobladores como elemento activo del sistema complejo, y con ello, ampliar la base de participación del ciudadano en la toma de decisiones que lleven a un proceso de reconocimiento y resignificación de sus realidades ambientales, generación de empatía y definición de buen vivir, no solo a nivel individual, sino local-regional.

Conclusiones

Actualmente nos encontramos ante un conflicto fundamental que condiciona la existencia del ser humano: nuestra cultura y su modelo de producción y consumo insisten en que el mundo está hecho para el servicio exclusivo de los humanos. La inseguridad para el hombre ahora también proviene de la degradación ambiental y la escasez de recursos naturales. Las confrontaciones entre comunidades por la rectoría y explotación de los recursos que son base del desarrollo económico han dejado de ser latentes.

La gestión del ambiente comprende un conjunto de factores y procesos que permiten sostener el capital ambiental, al tiempo que eleva el patrimonio natural de la región y la calidad de vida de las personas que la habitan, todo ello dentro del complejo sistema de relaciones económicas y sociales que condicionan todos sus actos. Los aspectos sociológicos de equidad, inclusión, y los técnicos de conservación del medio ambiente y desarrollo humano debieran ser parte sustantiva de cualquier política pública. Es decir, se debe abordar desde la óptica de los sistemas complejos, dado que sus elementos están relacionados entre sí, de forma directa o indirecta y se influyen mutuamente. En la ciencia contemporánea se percibe un cambio general en la actitud y concepciones científicas, de lo que se llama totalidad, es decir, se consideran más importantes los problemas de organización, y los procesos sociales, que son fenómenos no desagregables en acontecimientos locales; se reconocen más interacciones dinámicas entre elementos de diferentes esferas, que se manifiestan con diferencias de comportamiento, que de las partes técnicas y aisladas. Adicionalmente, el cambio de patrones hidrológicos es un fenómeno de largo plazo con impactos regionales extensos, por lo que las soluciones inmediatas y puntuales, como es la perforación de nuevos pozos, o traer volúmenes de agua de otras cuencas no está en armonía al problema que se pretende solucionar.

En las últimas décadas, se ha incrementado la percepción de que las relaciones entre las instituciones y la sociedad civil se han tensado a partir de la posesión y explotación de recursos energéticos, hídricos y naturales en general. Esta modificación se ha dirigido invariablemente hacia los espacios de conflicto y confrontación, por lo que existe una tendencia a favor de conceder una mayor oportunidad a los instrumentos participativos de la sociedad civil; la reflexión en pro de una mayor inclusividad va ganando terreno, siendo la participación ciudadana uno de los puntales del nuevo estilo de gobernanza. Sin embargo, la implementación de instrumentos y procesos participativos aún no ha sido del todo generados.

Actualmente se siguen ofreciendo soluciones puramente técnicas a problemas complejos, soluciones que inciden cada vez menos en una solución a largo plazo y de efectos regionales extensos como es el cambio climático. En el caso de lo que estamos analizando, las obras proyectadas se orientan a continuar con la sobre explotación de los acuíferos de la CDMX, y con ello las afectaciones por hundimientos, grietas y colapsos del terreno, además de que el volumen que se espera obtener es muy pequeño respecto al déficit a cubrir, además de que los costos energéticos de extracción y potabilización prometen incrementarse con el tiempo, conforme se abatan los niveles del agua.

En el caso de optar por una política de ahorro y reeducación del usuario, la recuperación de estos volúmenes no tendría estos efectos colaterales, pero si un proceso de largo plazo, que está en armonía con los efectos del cambio climático, y que podrían incidir gradual y positivamente a abatir los déficits de agua para la CDMX.

Referencias literarias

- Bertalanffy, L.** (1968), *General System Theory*. New York, George Braziller Publisher.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)**, (2024). “Monitor de Sequía en México (MSM)” [En Línea], disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico> [Accesado el 1 de marzo del 2024]
- Deaton, A. y J. Muellbauer**, (1980). “Economics and Consumers Behavior”. *Cambridge University Press*.
- Galván F. A.; Bustamante G. A.; Ambriz G. J. J. y Martínez M. R. M.**, (2015). Propuesta de estructura para la generación de un marco lógico para la gestión integral de cuencas. *Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*. Fecha de aceptación: julio-2015 Vol. 4, Núm. 8. pp. 1-32 julio-diciembre 2015 RICEA. ISSN: 2007-9907. DOI: 10.23913/ricea.v4i8.26, disponible en: https://www.researchgate.net/publication/281402106_Propuesta_de_estructura_para_la_generacion_de_un_marco_logico_para_la_gestion_integral_de_cuencas_Proposed_structure_for_generating_a_frame_Software_for_integrated_river_basin_management
- García, R.**, (2009). Interdefinibilidad e interacción en la teoría de sistemas complejos. México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Sociales. Disponible en http://conceptos.sociales.unam.mx/conceptos_final/442trabajo.pdf [Accesado el 25 de agosto del 2020]
- INEGI**, 2023, “Indicadores de Bienestar por entidad federativa” [En Línea], disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/bienestar/> [Accesado el 1 de febrero del 2024]

- Korzun, V. I.; A. A., Sokolov; M. I, Budyko; K. P., Voskresensky; G. P., Kalinin; A. A., Konoplyantsev; E. S., Korotkevich & M. I., L’vovitch, eds.** (1978). “Atlas of world water balance”. USSR National Committee for the International Hydrological Decade. English translation. Paris, UNESCO. 663 pp.
- Lvovitch, M. I.** (1970). “World water balance (General Report)”, Symposium on the world water balance. Wallingford, International Association of Hydrological Sciences, Pub. No 93, Vol. II, pp. 401-415.
- National Drought Mitigation Center,** (2002). “What is Drought?”, University of Nebraska-Lincoln.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD),** 2004, “Water as a Human Right?”.
- UNESCO,** (1979). “Balance hídrico mundial y recursos hidráulicos de la tierra / Estudios e informes sobre hidrología”, 25, 821 p, Madrid.
- UNESCO,** (2021). “Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: el valor del agua”
- Varían, H. R.** (1984). “Microeconomics Analysis”, Norton International Student Edition, 1984.