



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Planeación Urbana y Regional



Licenciatura en Ciencias Ambientales

**Análisis del metabolismo urbano en la Ciudad de México y la
Ciudad de Bogotá D.C.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Licenciada en Ciencias Ambientales

PRESENTA:

María Guadalupe Barro Marín

DIRECTORA DE TESIS:

Dra. en G. María Estela Orozco Hernández

Toluca de Lerdo, Estado de México; noviembre de 2018

Dedicatorias

A la mujer más fuerte y valiente que conozco, mi mamá. Gracias por tu confianza, por creer en mí y apoyarme en cada proyecto que he emprendido. Tu eres mi motivo número uno, me diste alas, ahora me toca volar.

A mis hermanos Geovanny y Rafael, y a mi hermana Karen, por su constante motivación durante este trayecto, por toda la alegría que me brindan. Atesoro cada momento con ustedes, y son mi inspiración para esforzarme y avanzar.

A mi querido artista, César, te agradezco todo lo bueno que me has aportado, por compartir conmigo y formar parte de una etapa tan especial e importante. Eres de lo más bonito que la vida me ha dado.

Y finalmente, para el amor de mi vida, el ser más especial. Papá, este logro es para ti, benditos los momentos que compartí contigo, por tu amor, tu tiempo y todas tus enseñanzas que han forjado gran parte de lo que soy. Te prometo que esta es una de tantas metas que voy a alcanzar, y en cada una tú estarás presente. Te amo muchísimo y te guardo en mi corazón.

Agradecimientos

Agradezco a dios por todo lo bueno que me ha dado, mi familia, amigos cercanos y cada una de las oportunidades que he tenido para aprender y crecer. Por ser tan generoso conmigo, y rodearme de buenas personas a quienes estimo mucho.

Gracias a Julio César Baracaldo, por ser un padre para mí y creer en mis sueños. Eres un ser especial a quien amo muchísimo. Agradezco a Dios por tu presencia y por todo el apoyo y la confianza que he recibido y recibo día con día. Gracias papá por estar presente en este feliz proceso.

Gracias al Mtro. Cristian Julián por el tiempo y la asesoría brindada, por compartir conmigo su conocimiento, me hace muy feliz saber que siente un aprecio especial por mi querido México, así como yo quiero a la bella Colombia, donde se encuentra un pedacito de mi corazón, mi familia.

Quiero agradecer a la Dra. María Estela, por aceptar ser mi directora de tesis y ser parte de un trabajo tan significativo para mí. Agradezco su tiempo, sus observaciones tan claras y precisas. Por orientarme, muchas gracias Dra.

Gracias a familiares y amigos que me han acompañado durante esta etapa, en especial a la Miss Noelia a quien tanto estimo, gracias por su amistad, el apoyo y la confianza que me ha brindado, tiene todo mi respeto y la quiero mucho.

Resumen

A partir del concepto de metabolismo urbano y sustentado en el enfoque de las ciencias ambientales, la economía ecológica, la gestión integrada de los recursos hídricos y algunos casos de estudio, se analizó el metabolismo urbano de la ciudad de México y la ciudad de Bogotá D.C., como una entrada analítica al tema del agua -uno de los principales flujos de materia y energía-, tomando en consideración que el agua es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.

Se describen también los antecedentes históricos sobre la provisión de agua potable en la Ciudad de México y Bogotá D.C, el marco institucional de los recursos hídricos, el metabolismo urbano en ambas ciudades y con base en indicadores seleccionados del modelo presión-estado-respuesta, el análisis permitió conocer los cambios que se han dado a lo largo de los años sobre los flujos de agua, en relación al incremento de la población y se determinan los escenarios de desempeño hídrico y propuestas para afrontar las tendencias hacia el 2030, para que las ciudades puedan ser resilientes, y tener una mayor recirculación de flujos de entrada y salida de agua.

Abstract

On the basis of the urban metabolism concept and based on the environmental sciences approach, the ecological economics, the integrated water resources management and some study cases; the water metabolism of Mexico City and Bogota D.C. was analyzed as an analytical input to the subject of water - one of the main flows of matter and energy, taking into consideration that water is a finite and vulnerable resource, essential to sustain life, development and environment.

It is also described the historical background on the provision of drinking water in Mexico City and Bogota D.C, the institutional framework of water resources, the water metabolism in both cities; based on selected indicators of the pressure-state-response model. The analysis allowed us to know the changes that have occurred over the years on water flows, in relation to the increase in population, resulting in the determination of the scenarios of water performance and proposals to address trends towards 2030, so that cities can be resilient, and have greater recirculation of water inflows and outflows.

INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA	13
1.1 Antecedentes	13
1.2 Enfoques de investigación	14
1.2.1 Enfoque de las Ciencias Ambientales	14
1.2.2 Enfoque de la economía ecológica	15
1.2.3 Enfoque del metabolismo urbano	17
1.2.3.1 Medición del metabolismo urbano	18
1.2.3.2 Análisis del flujo de materiales y energía	19
1.2.4 Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)	22
1.3 Caso de estudio	24
1.3.1 Metabolismo Urbano de la ciudad de Bogotá D.C.: una herramienta para el análisis de la sostenibilidad	24
1.3.2 Cambio Climático y el Metabolismo Urbano de las Megaurbes Latinoamericanas	25
1.3.3 Estudio de Metabolismo Urbano en la Ciudad de Cuenca	26
1.4 Escenarios de desempeño hídrico	28
1.4.1 Marco de referencia	28
1.5 Diseño de la investigación	30
1.5.1 Justificación	31
1.5.2 Planteamiento del problema	31
1.5.3 Hipótesis	33
1.5.4 Objetivo general	33
1.5.5 Objetivos específicos	33
1.6 Metodología	33
1.6.1 Selección del modelo analítico y las variables e indicadores	34
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES SOBRE LA PROVISIÓN DE AGUA EN LA CIUDAD DE MÉXICO Y BOGOTÁ D.C.	40
2.1 Antecedentes históricos sobre la provisión de agua en la ciudad de México	40
2.1.1 Época prehispánica	40
2.1.2 Época colonial (1521 - 1821)	43
2.1.3 Siglo XIX, después de la independencia	45
2.1.4 Época posrevolucionaria	47
2.2 Antecedentes históricos sobre la provisión de agua en Bogotá D.C.	49
2.2.1 Época prehispánica	49

2.2.2	Fundación y Época colonial	50
2.2.3	Época Republicana	53
2.2.4	Crecimiento urbano en la segunda mitad del siglo XX	54
CAPÍTULO 3. MARCO INSTITUCIONAL DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO Y EN BOGOTÁ D.C.		57
3.1	Gestión Integrada de los Recursos Hídricos	57
3.1.1	Antecedentes	57
3.1.2	Asuntos clave en la gestión del agua	59
3.1.3	Beneficios de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos	61
3.2	GIRH en la Ciudad de México	62
3.2.1	Legislación del agua	62
3.2.1.1	Ley Nacional de Aguas	63
3.2.1.2	Programa Nacional Hídrico 2014 - 2018	63
3.2.1.3	Ley de Aguas del Distrito Federal	65
3.2.1.4	Programa de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PGIRH)	66
3.3	GIRH en la ciudad de Bogotá D.C.	68
3.3.1	Leyes	68
3.3.1.1	Ley 99 de 1993	68
3.3.2	Decretos	69
3.3.2.1	Decreto número 2811 de 1974	69
3.3.2.2	Decreto número 3930 de 2010	70
3.3.2.3	Decreto 485 de 2011	70
3.3.2	Resoluciones	70
3.3.2.1	Resolución número 2115 de 2007	70
3.3.3	Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico	70
3.3.4	Normativas relativas a la GIRH en Bogotá D.C.	71
3.3.4.1	Acuerdo 347 del 23 de diciembre de 2008	71
3.3.4.2	Plan Distrital del Agua	71
3.3.4.3	Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado para Bogotá Distrito Capital	72
CAPÍTULO 4. METABOLISMO URBANO DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.		74
4.1	Metabolismo urbano de la ciudad de México	74
4.1.1	Abastecimiento de agua en la ciudad de México	77
4.1.1.1	Consumo de agua	80

4.1.1.2 Potabilización	81
4.1.1.3 Pago del servicio de agua potable	82
4.1.1.4 Aguas residuales	83
4.2 Metabolismo urbano de Bogotá D.C.	86
4.2.1 Abastecimiento de agua en Bogotá D.C.	90
4.2.1.1 Consumo de agua	92
4.2.1.2 Potabilización del agua	94
4.2.1.3 Servicio de alcantarillado sanitario	95
4.2.1.4 Tratamiento y recuperación de aguas	96
CAPÍTULO 5. INDICADORES PRESIÓN - ESTADO - RESPUESTA Y ESCENARIOS DE DESEMPEÑO HÍDRICO EN LAS CIUDADES DE MÉXICO Y LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.	98
5.1 Indicadores Presión - Estado - Respuesta	98
5.2 Modelo PER, Ciudad de México	99
5.2.1 Indicadores de presión	99
5.2.1.1 Población total	99
5.2.1.2 Extracción de agua subterránea	100
5.2.1.3 Abastecimiento per cápita	100
5.2.1.4 Descarga de aguas residuales	101
5.2.2 Indicadores de estado	102
5.2.2.1 Condiciones de las fuentes de abastecimiento de agua	102
5.2.2.2 Coliformes fecales en aguas superficiales	103
5.2.3 Indicadores de respuesta	105
5.2.3.1 Población con acceso a agua potable	105
5.2.3.2 Tarifas para uso doméstico	105
5.2.3.3 Población con acceso a alcantarillado	106
5.2.3.4 Agua residual que recibe tratamiento	107
5.2.3.5 Reúso de agua residual	107
5.3 Modelo PER, ciudad de Bogotá D.C.	108
5.3.1 Indicadores de presión	108
5.3.1.1 Población total	108
5.3.1.2 Extracción de agua subterránea	109
5.3.1.3 Abastecimiento per cápita	110
5.3.1.4 Descarga de aguas residuales	111
5.3.2 Indicadores de estado	111
5.3.2.1 Condiciones de las fuentes de abastecimiento de agua	111
5.3.2.2 Coliformes fecales en aguas superficiales	112
5.3.3 Indicadores de respuesta	113

5.3.3.1 Población con acceso a agua potable	113
5.3.3.2 Tarifas para uso doméstico	114
5.3.3.3 Población con acceso a alcantarillado	115
5.3.3.4 Agua residual que recibe tratamiento	115
5.3.3.5 Reúso de agua residual	116
5.4 Escenarios de desempeño hídrico de las ciudades de México y Bogotá D.C.	116
5.4.1 Escenarios prospectivos para la ciudad de México	117
5.4.2 Escenarios prospectivos para la ciudad de Bogotá D.C.	119
Propuestas	124
Conclusión integral	125
Bibliografía	129

INTRODUCCIÓN

Este documento se enfoca en el estudio del metabolismo urbano de la Ciudad de México y la ciudad de Bogotá D.C., con el fin de determinar los escenarios de metabolismo urbano en la Ciudad de México y la ciudad de Bogotá D.C, por medio del modelo presión-estado-respuesta, propuesto por la OCDE como un modelo analítico para el recurso hídrico. Es de destacar que la autora del presente documento realizó una estancia académica durante un semestre en la Universidad Central, en Colombia para participar como auxiliar en el grupo de investigación Agua y desarrollo sostenible, y derivado de dicha movilidad, bajo la dirección del Mtro. Cristian Julián Díaz Álvarez, pionero en estudios de metabolismo urbano en Latinoamérica, surgió el interés por analizar el metabolismo urbano de las ciudades en cuestión, ya que constituyen el principal centro económico y administrativo de México y Colombia, respectivamente.

Los estudios sobre metabolismo urbano permiten identificar las demandas de una sociedad sobre los recursos naturales y las presiones de sus descargas de desechos en los sistemas naturales, así como, observar la disponibilidad natural y antrópica de los recursos y su uso, como una herramienta para determinar el grado de habitabilidad de un centro urbano y evidenciar sus áreas vulnerables, a fin de proponer alternativas de reuso y reciclaje de materiales y agua para suplir la creciente demanda en los diferentes sectores de su economía, de ahí la importancia del metabolismo urbano al ser considerado como un elemento clave y oportunidad única de los hacedores de política para desarrollar planes que influyeran de forma positiva el consumo y conservación de los recursos (Díaz, 2011).

Las ciudades se identifican como ecosistemas urbanos que han sido continuamente modificados y controlados por el hombre, cuya particularidad reside en los grandes recorridos horizontales de los recursos de agua, alimentos, electricidad y combustibles, capaces de explotar ecosistemas lejanos y provocar importantes desequilibrios territoriales (Higuera, 2002). Por ello, en la perspectiva ambiental Maya y Velásquez (2008) consideran que la ciudad es solo un espacio consumidor de energía y productor de desechos, cuya planificación privilegia la racionalidad económica y política, e integra en menor medida la dinámica ambiental.

Cabe señalar que los estudios de metabolismo urbano tienen su referente en el trabajo de Wolman (1965), quien empleó por vez primera dicho término y lo definió como el conjunto de materiales y materias primas necesarias para mantener a los habitantes de una ciudad.

En su artículo “*The Metabolism of cities*”, cuantificó los flujos de entrada y salida de energía y materiales de una ciudad hipotética de EUA e identificó tres flujos clave de entrada; agua, alimentos y combustibles, y tres de salida; aguas residuales, residuos sólidos y contaminantes atmosféricos. A partir de su análisis argumentó que las ciudades consumen más de lo que necesitan y generan residuos que la naturaleza es incapaz de procesar.

El caso descrito anteriormente fue el trabajo pionero, y a la fecha se han reportado alrededor de 150 estudios de metabolismo urbano en más de 60 ciudades, siendo el continente asiático y europeo las áreas con mayor número de estudios, mientras que Latinoamérica y África son las regiones menos estudiadas.

En el contexto latinoamericano, se identifican tres casos de estudio. El trabajo precursor es el de Díaz (2011) relativo al metabolismo de la ciudad de Bogotá D.C., como una herramienta para el análisis de la sostenibilidad ambiental urbana. Posteriormente, Delgado, Campos, y Rentería, (2012) en su trabajo sobre Cambio climático y el metabolismo urbano de las megaurbes latinoamericanas, ofrecen un primer acercamiento integral comparativo de las dimensiones de metabolismo de las megaurbes; Ciudad de México, Sao Paulo, Rio de Janeiro y Buenos Aires. Y finalmente, el estudio de metabolismo urbano más reciente fue el efectuado por Jaramillo (2017) en la Ciudad de Cuenca, Ecuador, como un primer paso para comprender los flujos de energía y materiales que posteriormente pueden ser optimizados por medio de políticas públicas.

Es importante señalar que los estudios de metabolismo urbano contemplan flujos de entrada - agua, alimentos y energía o combustible - y flujos de salida - aguas residuales, residuos sólidos y contaminantes atmosféricos -, sin embargo, por la complejidad del tema, la disponibilidad de información y dado que el estudio abarca dos ciudades, en el presente trabajo únicamente se analizó el agua como flujo de entrada y las aguas residuales como flujo de salida.

Otra de las razones por la cual se le dio preferencia al recurso hídrico es debido a que el crecimiento de la población y la urbanización suponen desafíos para los sistemas de abastecimiento en las ciudades, pues tal y como se estableció en la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente de Dublín en 1992, el agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente (OMS, 2017). Si bien, en el contexto latinoamericano el principal problema, no es la falta del recurso, ya que la región cuenta con alrededor del 31% de las fuentes de agua potable del mundo (Casma, 2015), la

problemática es la contaminación del líquido asociada a los efectos de políticas ineficientes de gestión y administración del agua (Nieto, 2011).

De acuerdo a lo anterior, y retomando que en las ciudades latinas son escasos los estudios de esta índole, este trabajo adquiere total importancia como un primer acercamiento para estudiar los flujos de un recurso tan vital como lo es el agua, y puede ser la base para futuros estudios que puedan ser más precisos y focalizados para atender problemáticas más específicas y particulares, sin privilegiar la racionalidad económica, y prestando mayor interés al medio ambiente.

Para el tratamiento de la información se utilizó el método hipotético-deductivo y el método analítico. La hipótesis a comprobar es si la tendencia hídrica de la Ciudad de México y la ciudad de Bogotá D.C., está condicionada por el crecimiento de la población, el consumo de agua y la descarga de aguas residuales. Para esto, se caracterizó por separado a las ciudades en estudio para posteriormente presentar la síntesis a través del sistema presión-estado-respuesta, alimentado por los indicadores seleccionados, y el producto final fue la exposición de los escenarios tendenciales y las propuestas.

Es preciso dejar claro al lector que no se trata de un estudio comparativo, sino que se presentan ambos casos por separado y se identifican algunas semejanzas, pero sin pretender generar una síntesis comparativa en donde se analicen sus diferencias y sus distintas causalidades, esto debido a la disponibilidad de información de los diferentes indicadores que se analizaron en el modelo PER, los datos son diferentes para cada ciudad y varía según los años.

La estructura de este documento consta de 5 apartados capitulares, en el primero se expone el contexto internacional que fundamenta la renovación de los compromisos respecto al desarrollo sostenible, la gestión integrada de los recursos hídricos como factor influyente de la permanencia de las ciudades; los enfoques de las ciencias ambientales, la economía ecológica y el metabolismo urbano como base teórica y metodológica para abordar la problemática medioambiental que representa el abastecimiento y distribución del agua en las ciudades. También se describen los casos de estudio de metabolismo urbano en el ámbito latinoamericano, así como, el diseño y los fundamentos metodológicos de la investigación.

El capítulo dos describe los antecedentes más relevantes sobre la provisión de agua tanto de la ciudad de México, como de Bogotá D.C. La descripción se realiza a partir de etapas históricas que van desde la época prehispánica hasta el siglo XX, donde a partir de fenómenos políticos, sociales, económicos y ambientales, hubo importantes cambios y retos en el manejo y aprovechamiento del agua.

El tercer capítulo trata el marco institucional de la gestión integrada de los recursos hídricos de las ciudades en estudio. Se describen los principios rectores de la GIRH, así como las normas y políticas vigentes que abordan temas referentes al agua en la Ciudad de México y en Bogotá, D.C. En este apartado se pueden identificar los avances que tanto México, como Colombia han logrado al incluir en sus políticas y programas hídricos el concepto de gestión integrada del recurso hídrico.

Por su parte, en el capítulo cuarto se caracteriza el metabolismo urbano, particularmente del recurso hídrico de la ciudad de México y Bogotá D.C. En esta sección se describen aspectos demográficos, económicos, geográficos e inclusive climatológicos de las ciudades, los cuales inciden de forma directa e indirecta sobre la demanda del líquido vital, y por ende, sobre los flujos metabólicos como son; consumo de agua y aguas residuales que se generan en cada una de las urbes.

Finalmente, el quinto capítulo recupera el concepto de metabolismo urbano, perspectiva que focaliza el recurso hídrico del que disponen o carecen las ciudades en estudio para su funcionamiento. En éste capítulo se presenta información muy interesante derivada del análisis de datos secundarios de fuentes oficiales, tanto de México como de Colombia, y a partir de indicadores seleccionados del modelo presión-estado-respuesta, se expone la síntesis de los escenarios prospectivos de la tendencia hídrica en las ciudades de México y Bogotá D.C, para el año 2030.

Por último, la parte final de este documento contiene las propuestas y las conclusiones generales del trabajo.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA

En el presente capítulo se expone el contexto internacional que fundamenta la renovación de los compromisos respecto al desarrollo sostenible, la gestión integrada de los recursos hídricos como factor influyente de la permanencia de las ciudades; los enfoques de las ciencias ambientales, la economía ecológica y el metabolismo urbano como base teórica y metodológica para abordar la problemática medioambiental que representa el abastecimiento y distribución del agua en las ciudades. También se describen los estudios de metabolismo urbano en el ámbito latinoamericano, así como, el diseño y los fundamentos metodológicos de la investigación.

1.1 Antecedentes

En 1987 la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, en el Informe titulado *Nuestro futuro común*, definió al Desarrollo Sostenible como la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, este ha emergido como el principio rector para el desarrollo mundial a largo plazo y trata de lograr de manera equilibrada el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente (Naciones Unidas, 2015).

El 25 de septiembre de 2015 los 193 Estados Miembros de las Naciones Unidas adoptaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible: un plan de acción compuesto por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y 169 metas. En este marco se ubica el objetivo 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todas y todos, el cual plantea ocho metas.

- 6.1. Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable segura y asequible para todos.
- 6.2. Lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.
- 6.3. Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentado considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.

- 6.4. Aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
- 6.5. Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
- 6.6. Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.
- 6.7. Ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización.
- 6.8. Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

Este objetivo y sus metas se relacionan directamente con el objetivo 11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, de forma particular con las metas 11.1 y 11.3, las cuales establecen asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales, y aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países [ONU MEXICO, 2015].

1.2 Enfoques de investigación

1.2.1 Enfoque de las Ciencias Ambientales

Las ciencias ambientales son un área de conocimiento que se comenzó a desarrollar a finales de los años sesenta del siglo XX. Este nuevo campo de estudio y acción surgió ante la necesidad de comprender y encontrar soluciones a la grave y compleja crisis ambiental de la sociedad globalizada en relación con la naturaleza (Sáenz, 2007).

Según Trillo citado por Pacheco (2008), el enfoque de las ciencias ambientales es multidisciplinario porque trata de vincular distintas disciplinas con el propósito de simplificar un problema acorde a la realidad, de tal forma que se pueda explicar el fenómeno a partir de indicadores que deriven de la revisión de otras disciplinas.

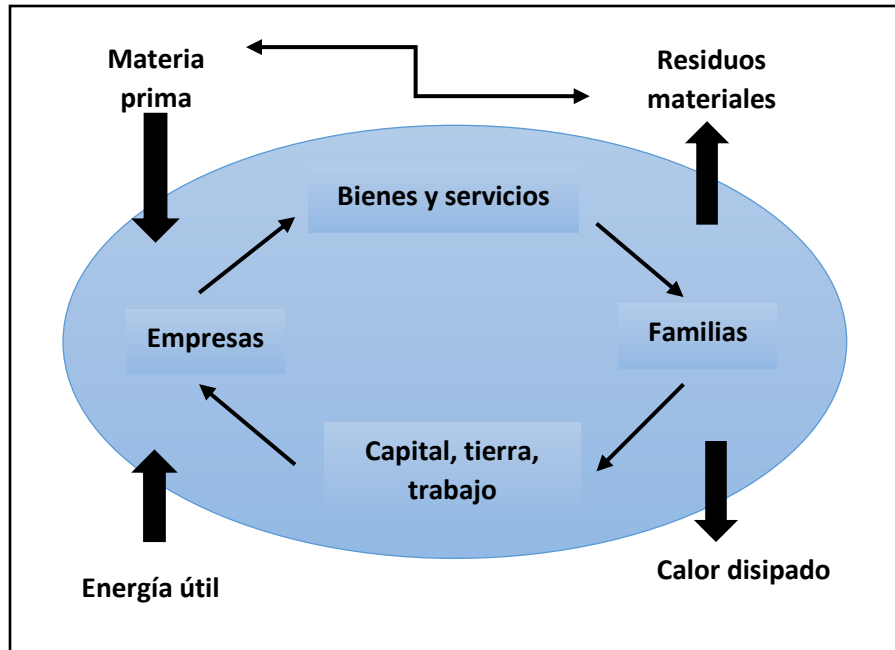
Por su parte, para Armesto (2000) el quehacer de las Ciencias Ambientales ha sido definido como la búsqueda de conocimiento nuevo, de conceptualizaciones y explicaciones en el ámbito del medio ambiente incorporando como agente y sujeto de cambio al ser humano. Lo más característico de su accionar es la relación directa con la calidad de vida humana apoyada en la sustentabilidad del funcionamiento, a corto y largo plazo. La definición de Ciencias Ambientales es estrictamente operacional: son ciencias que contribuyen al desarrollo económico y social, sobre una base ambientalmente sustentable.

En el enfoque multidisciplinario de las ciencias ambientales es indispensable la participación e integración de otras disciplinas para el estudio y la solución de problemas ambientales, relacionados con la interacción Hombre – Ambiente, entre ellas, las relacionadas con la ciudad y el abastecimiento de agua es un tema que debe ser abordado desde ésta visión ambiental, donde se incorpore la participación de los diferentes actores y agentes sociales, económicos y políticos, dada la importancia que tiene el agua como líquido vital de cuya disponibilidad depende la permanencia de las ciudades en el tiempo y espacio.

1.2.2 Enfoque de la economía ecológica

La economía ecológica es una corriente del pensamiento económico, de carácter transdisciplinario que deriva de la necesidad de estudiar la relación entre los ecosistemas naturales y el sistema económico, surgió como respuesta teórica a la crisis ambiental en gran parte resultado de las actividades humanas y con el objeto de construir un marco teórico más amplio que el de la economía neoclásica-ambiental. La economía ecológica contempla las principales causas humanas de la crisis ambiental; utilización de recursos naturales a un ritmo no recuperable y la emisión de contaminantes a un ritmo incapaz de ser reciclado por los ecosistemas, ya que, considera al sistema económico como un sistema abierto, con entradas y salidas, pues recibe de fuera tanto energía solar y formas derivadas como materiales, y al mismo tiempo disipa calor y lanza desperdicios al medio ambiente (Foladori, 2005).

Figura 1. Economía Ecológica



Fuente: Elaboración propia en base a Foladori (2005).

Para Aguilera y Alcántara (1994), la actividad económica no puede existir sin el sustrato biofísico que la sostiene, por ello consideran tres nociones biofísicas sobre las que se articula la economía ecológica, estas son;

- a) Primera Ley de la Termodinámica. La materia y la energía no se crean ni se destruyen, solo se transforman. Permite evidenciar la presencia de externalidades ambientales, pues la generación de residuos es inherente a los procesos de producción y consumo.
- b) Ley de la Entropía o segunda Ley de la Termodinámica. La materia y la energía se degradan continua e irrevocablemente desde una forma disponible a una forma no disponible, o de una forma ordenada a una forma desordenada. Así que, lo que confiere valor económico a la materia y energía es su disponibilidad para ser utilizada, por contraste con la energía y materia no disponible o ya utilizada, a la que debemos considerar como residuo en un sentido termodinámico.
- c) Imposibilidad de generar más residuos de los que puede tolerar la capacidad de asimilación de los ecosistemas, así como, la imposibilidad de extraer de los sistemas biológicos más de lo que se puede considerar como su rendimiento sostenible o renovable.

1.2.3 Enfoque del metabolismo urbano

Un ecosistema es el conjunto de seres bióticos (animales, plantas y microorganismo) y abióticos (suelo, agua y aire) que interactúan entre sí, está conformado por varios subsistemas interconectados interdependientemente y se caracteriza por ser un sistema dinámico y estructurado por comunidades bióticas que intercambian materia y energía con el ambiente abiótico, de tal manera que mantiene un metabolismo cíclico y autorregulado (Jaramillo, 2017).

La analogía de los componentes dinámicos de los ecosistemas aplicados a las ciudades, identifica a las ciudades como ecosistemas urbanos, los cuales han sido continuamente modificados y controlados por el hombre, su particularidad reside en los grandes recorridos horizontales de los recursos de agua, alimentos, electricidad y combustibles, capaces de explotar ecosistemas lejanos y provocar importantes desequilibrios territoriales. Aunque las características dinámicas de una ciudad pueden compararse con un ecosistema natural, el ecosistema urbano incumple con dos requisitos determinantes; no posee un metabolismo de ciclo cerrado y carece de una fuente de energía inagotable (como el Sol) que garantice indefinidamente su funcionamiento (Higuera, 2002). Asimismo, la intensidad metabólica de los ecosistemas urbanos es muy alta, debido a que existen más consumidores que productores, de tal forma que los recursos se explotan de manera acelerada y los desechos se acumulan fácilmente (Jaramillo, 2017).

En la perspectiva ambiental Maya y Velásquez (2008) consideran que la ciudad es solo un espacio consumidor de energía y productor de desechos, cuya planificación privilegia la racionalidad económica y política, e integra en menor medida la dinámica ambiental.

En cuanto al estudio de metabolismo urbano, tiene su referente en el trabajo de Abel Wolman, quien empleó el término por vez primera en el año 1965 (Zhang, 2013). Definió el concepto de metabolismo urbano, como el conjunto de materiales y materias primas necesarias para mantener a los habitantes de una ciudad. En su artículo "*The Metabolism of cities*", cuantificó los flujos de entrada y salida de energía y materiales de una ciudad hipotética de EUA de un millón de habitantes e identificó tres flujos clave de entrada; agua, alimentos y combustibles, y tres de salida; aguas residuales, residuos sólidos y contaminantes atmosféricos (Wolman, 1965).

Wolman comparó el metabolismo de la ciudad con el de un organismo vivo, argumentando que una ciudad consume recursos para mantener su dinámica y a la vez genera emisiones, efluentes y desechos. Es decir, mientras que un organismo vivo consume alimentos para sustentar su desarrollo y desecha lo que no necesita, las ciudades consumen más de lo que necesitan y a la vez generan residuos que la naturaleza es incapaz de procesar (Jaramillo, 2017).

Scott Cook (1973) definió al metabolismo urbano como el proceso por medio del cual los miembros de toda sociedad se apropian y transforman ecosistemas para satisfacer sus necesidades y deseos. La definición más reciente concibe al metabolismo urbano como la suma total de los procesos técnicos y socioeconómicos que ocurren en las ciudades, resultando en crecimiento, producción de energía y eliminación de desechos (Kennedy, 2007). De manera que los espacios urbanos pueden analizarse como sistemas abiertos a los flujos de materiales y de energía, es decir, toman energía y materiales fuera del sistema (urbano) y desechan energía disipada y materiales degradados (Delgado, Campos, y Rentería, 2012).

1.2.3.1 Medición del metabolismo urbano

Los impactos negativos en las ciudades están relacionados con los flujos entrantes y salientes de materiales y energía que sustentan la vida urbana (Villalba, 2016). Por ello, la identificación, el cálculo y el análisis de dichos flujos se constituyen en el centro metodológico para la determinación del metabolismo de un sistema urbano (Díaz, 2011).

Según Jaramillo (2017) los primeros estudios de metabolismo urbano fueron desarrollados en torno a dos métodos; balance de masas y el método “emergy” de Odum, el primero está regido por el principio de que la materia no se crea ni se destruye, solo se transforma, y se ha utilizado en la contabilización de los flujos de materia, mientras que el método de Odum mide los flujos metabólicos generados por la energía solar usada directa e indirectamente para transformar materia en productos y servicios. En estudios recientes el método de cuantificación ampliamente usado es el Análisis de flujo de materiales y energía que utiliza el balance de masas y en algunos casos se complementa con el análisis del ciclo de vida (ACV). En el cuadro 1 se muestran los principales métodos utilizados en estudios de metabolismo urbano.

Cuadro 1. Métodos para medir el metabolismo urbano

Método	Méritos	Desventajas
Análisis de flujo de materiales	Mide los flujos de entrada y salida de los materiales de una ciudad. Es una herramienta efectiva para la gestión de recursos.	No toma en cuenta la importancia y calidad de diferentes materiales. Ignora la importancia de los flujos energéticos, los cuales son cruciales para dirigir los flujos de materiales a través de los procesos metabólicos.
Emergy (Análisis del flujo de energía)	Este método garantiza que la energía que se destina a la reacción y flujo de materiales sea considerada.	La transformación de energía debe ser definida para todos los flujos, y los métodos para contabilizar los residuos no han sido unificados.
Análisis de la huella ecológica	Combina las demandas del desarrollo socioeconómico con la capacidad de las reservas naturales permitiendo saber el déficit o superávit ecológico. Este método ayuda a interpretar la relación entre el capital natural y el desarrollo económico, también refleja situaciones ecológicamente insustentables.	El criterio para seleccionar el área de recursos ecológicos, no han sido unificados, y el método se basa en una descripción incompleta de los recursos ofertados y eliminación de residuos por el sistema natural. De esta manera desestimando la magnitud de los impactos humanos.

Fuente: Jaramillo (2017).

Inicialmente, los métodos que se utilizaron para estudiar el metabolismo urbano estaban limitados a cuantificar las entradas y salidas, pero a medida que avanzaron los estudios, los investigadores han integrado el análisis de aspectos metabólicos como; producción, consumo y circulación de la materia y energía, con el objetivo de relacionarlos entre los componentes del sistema urbano (Zhang, 2013). A la fecha se han incluido también aspectos sociales y urbanísticos, entre ellos; calidad urbana, estilo de vida, diseño urbano, entre otros.

1.2.3.2. Análisis de flujo de materiales y energía

El estudio de los flujos de materia en el contexto del metabolismo permite caracterizar un área geográfica como sistema mediante la medición de las magnitudes y localización de los flujos específicos de materiales con relevancia ambiental, con el propósito de monitorear, analizar y gestionar el medio ambiente, además, posibilita el conocimiento del metabolismo de un sistema económico, que deriva en indicadores agregados de uso de recursos, de productividad, ecoeficiencia, y de intensidad del estilo de vida de los individuos (Díaz, 2011).

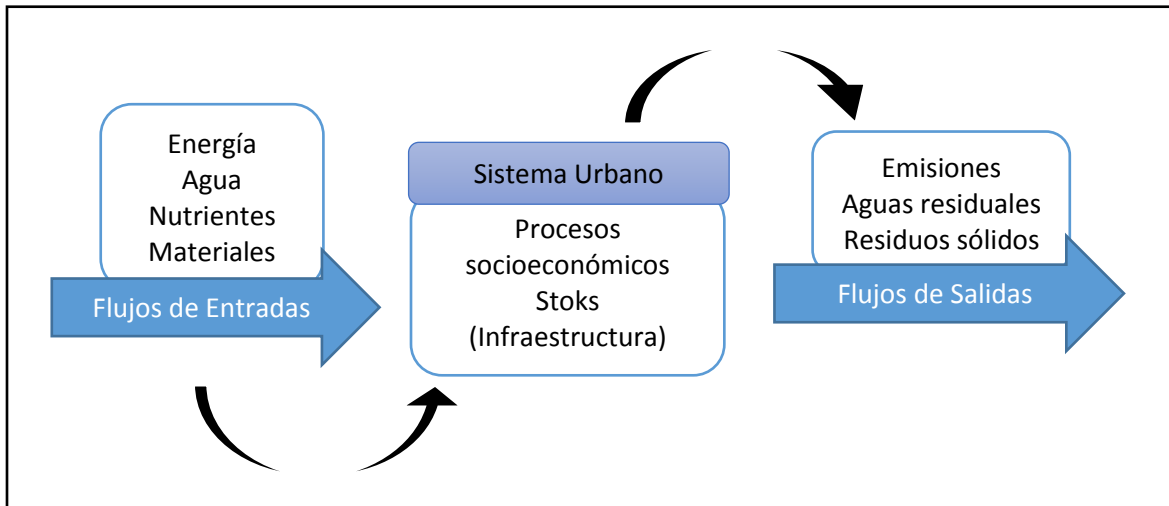
El Análisis de Flujo de Materiales (AFM) es “*un estudio sistemático de los flujos y stocks de materiales dentro de un sistema definido en tiempo y espacio*”, permite enlazar las fuentes, rutas y disposición final de los materiales, de ahí que el AFM sea considerado como una herramienta potencial para gestionar los recursos, residuos y el medio ambiente, pues una de sus particularidades consiste en la identificación de las fuentes de recursos y las cargas ambientales en el sistema, no obstante, este método se complementa con el análisis de energía (Brunner *et. al.*, 2004).

Para permitir una comprensión, reproducción y contabilización de los flujos y stocks de materiales dentro de un sistema, Brunner *et. al.*, (2004) define de la siguiente manera los términos que se utilizan en un AFM cuando se aplica a un estudio de metabolismo urbano.

- **Material.** Toda sustancia o material que tiene un valor económico asignado por el mercado. Existen materiales que tienen valor positivo y otros con valor negativo, e igualmente se consideran los bienes inmateriales tales como la energía eléctrica, servicios e información.
- **Proceso.** Transporte, información o almacenamiento de materiales, es un término común en todo sistema, por lo cual no necesita de una explicación específica en el contexto de metabolismo urbano.
- **Stocks.** Es la materia que ha entrado al sistema y está almacenada temporal o permanentemente dentro del sistema analizado, los stocks pueden incrementarse, agotarse o mantenerse en el tiempo. Este flujo generalmente se contabiliza mediante la diferencia de los flujos de entrada y salida en un tiempo determinado.
- **Flujos metabólicos.** Representa la cantidad de material que entra o sale del sistema en un periodo determinado, entradas y salidas.

Un sistema comprende una serie de flujos de materiales, stocks y procesos dentro de un límite espacial y temporal, razón de que en las ciudades se puedan llevar a cabo AFM (Jaramillo, 2017), (Ver figura 2).

Figura 2. Análisis de Flujo de materiales



Fuente: Elaboración propia en base a Jaramillo (2017).

En síntesis, los análisis de flujos de materiales y energía permiten tener una mejor comprensión sobre los flujos metabólicos del sistema urbano en cuanto a estimaciones de la energía y materiales consumidos, almacenados y desechados, tanto en pérdidas energéticas como en forma de residuos, comportamiento que se ha reflejado en crecimiento económico, poblacional y contaminación.

De acuerdo a lo anterior, se puede observar que el enfoque de la economía ecológica, específicamente bajo el concepto de metabolismo urbano, dota de fundamentos teóricos para entender la dinámica de las ciudades y la búsqueda de su permanencia en el espacio y tiempo, en lo que al abastecimiento de agua refiere.

A su vez, el tema del presente documento puede ser perfectamente estudiado bajo el enfoque de las ciencias ambientales, que al ser de carácter multidisciplinario tienen la capacidad de vincular diferentes disciplinas para dar posibles soluciones a problemas ambientales, incorporando al ser humano como agente y sujeto de cambio. Ya que en el presente trabajo la relación entre la ciudad y los recursos hídricos se analiza a través de los casos de las ciudades de México y Bogotá D.C., al tratarse de un estudio de metabolismo urbano, éste permite tener una mejor comprensión sobre los flujos de agua y aguas residuales, es decir, permite identificar el volumen de agua que ingresa a la ciudad, la cantidad que se pierde durante el proceso de suministro y finalmente, el agua residual que se genera y el porcentaje de ésta que recibe tratamiento.

Lo anterior es importante, ya que a partir de la disponibilidad de información se pueden determinar acciones a implementar para avanzar y dar cumplimiento a dos de los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, al objetivo 6 sobre Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todas y todos, mismo que se relaciona directamente con el objetivo 11, de lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

1.2.4 Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)

La Asociación Mundial para el Agua define a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) como un proceso que promueve el desarrollo y manejo coordinados del agua, la tierra y otros recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales. Considera que los recursos hídricos son un componente integral de los ecosistemas, un recurso natural y un bien social y económico, y está diseñado para reemplazar el enfoque tradicional y fragmentado de la gestión del agua, que ha derivado en servicios pobres y un uso inadecuado (Asociación Mundial para el Agua, 2011).

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos se basa en los Principios Rectores establecidos en la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA) celebrada en Dublín el 1992, los cuales se describen a continuación:

- *Principio No. 1. El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.*

Dado que el agua es indispensable para la vida, la gestión eficaz de los recursos hídricos requiere un enfoque integrado que concilie el desarrollo económico y social y la protección de los ecosistemas naturales. La gestión eficaz establece una relación entre el uso del suelo y el aprovechamiento del agua en la totalidad de una cuenca hidrológica o un acuífero.

- *Principio No. 2. El aprovechamiento y la gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.*

El planteamiento basado en la participación implica que los responsables de las políticas y el público en general cobren mayor conciencia de la importancia del agua. Este planteamiento entraña que las decisiones habrán de adoptarse al nivel más elemental apropiado, con la realización de consultas públicas y la participación de los usuarios en la planificación y ejecución de los proyectos sobre el agua.

- *Principio No. 3. La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua.*

Este papel primordial de la mujer como proveedora y consumidora de agua y conservadora del medio ambiente viviente rara vez se ha reflejado en disposiciones institucionales para el aprovechamiento y la gestión de los recursos hídricos. La aceptación y ejecución de este principio exige políticas efectivas que aborden las necesidades de la mujer y la preparen y doten de la capacidad de participar, en todos los niveles, en programas de recursos hídricos, incluida la adopción de decisiones y la ejecución, por los medios que ellas determinen.

- *Principio No. 4. El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico.*

En virtud de este principio, es esencial reconocer ante todo el derecho fundamental de todo ser humano a tener acceso a un agua pura y al saneamiento por un precio asequible. La ignorancia, en el pasado, del valor económico del agua ha conducido al derroche y a la utilización de este recurso con efectos perjudiciales para el medio ambiente. La gestión del agua, en su condición de bien económico, es un medio importante de conseguir un aprovechamiento eficaz y equitativo y de favorecer la conservación y protección de los recursos hídricos.

En cuanto al desarrollo de políticas y la planificación, la Asociación Mundial para el Agua (2011) menciona los siguientes requerimientos para adquirir un enfoque de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos:

- En el desarrollo y la gestión del agua deben considerar los diversos usos del agua y el abanico de necesidades de las personas.
- Que las partes involucradas tengan voz en la planificación y gestión del agua, así como, asegurar la participación de mujeres y personas de bajos recursos.
- En las políticas y prioridades se deben considerar las implicaciones en los recursos hídricos, incluyendo la relación entre las políticas macroeconómicas y el desarrollo, gestión y uso del agua.

- Las decisiones vinculadas al agua tomadas a nivel local y de cuenca deben estar alineadas con el logro de objetivos más amplios a nivel nacional.
- Debe incorporarse en los objetivos sociales, económicos y ambientales la planificación y estrategias relacionadas al agua.

De tal manera que, la GIRH no es un fin en sí, sino un medio que permite cumplir con tres objetivos estratégicos: a) Eficiencia para lograr una mayor durabilidad de los recursos hídricos, b) Equidad en la disposición del recurso agua entre los diferentes grupos socioeconómicos y c) Sostenibilidad ambiental, para proteger los recursos hídricos y los ecosistemas conexos (Sustainable Sanitation and Water Management, 2010).

1.3 Casos de estudio

De acuerdo a Jaramillo (2017), actualmente se han reportado alrededor de 150 estudios de metabolismo urbano en más de 60 ciudades, la mayor cantidad de estos se han llevado a cabo en el continente asiático con 65 estudios en más de 10 ciudades diferentes, mientras que en Europa se ha estudiado el mayor número de ciudades, alrededor de 28, por el contrario, Latinoamérica y África han sido las regiones menos estudiadas en cuanto al metabolismo de sus ciudades.

En Latinoamérica, entre los trabajos pioneros se encuentra el estudio de Díaz (2011) relativo al metabolismo de la ciudad de Bogotá D.C., como una herramienta para el análisis de la sostenibilidad ambiental urbana. Una primera aproximación integral comparativa de los flujos de entrada y salida de cuatro megaurbes; Ciudad de México, Sao Paulo, Río de Janeiro y Buenos Aires, efectuada por Delgado, Campos, y Rentería (2012). Y finalmente, el análisis de Jaramillo (2017) sobre el metabolismo urbano de Cuenca, la tercera ciudad más poblada en Ecuador.

1.3.1 Metabolismo Urbano de la Ciudad de Bogotá D.C.: una herramienta para el análisis de la sostenibilidad ambiental

En un primer acercamiento, Díaz (2011) realizó un estudio cuyo objetivo general fue determinar conceptualmente y en cifras agregadas el metabolismo de la Ciudad de Bogotá D.C., respecto a los principales flujos de materia y energía que en ella circulan y se transforman.

Como punto de partida, conceptualizó el metabolismo de acuerdo a los principios de la Teoría General de Sistemas y el Principio de Conservación de la Materia, describió a la ciudad primero como un sistema vivo y después como un súper organismo que requiere y transforma flujos de materia y energía para crecer y mantenerse, a su vez que libera desechos líquidos, sólidos y gaseosos. De igual forma, realizó un análisis crítico del contexto económico, político y demográfico en seis momentos históricos de la Ciudad de Bogotá D.C.: a) Fundación, b) Época Colonial, c) Ciudad republicana, d) El Bogotazo, e) Crecimiento urbano del siglo XX, y f) Ciudad extendida del siglo XXI, dicho análisis permitió identificar diferentes sucesos económicos, políticos, sociales, técnicos y tecnológicos, que han determinado el crecimiento de la capital colombiana y por ende, dinámicas de metabolismo que varían en función de la calidad, cantidad, disponibilidad y acceso a los recursos naturales tanto en su interior, como en regiones aledañas y distantes.

Respecto a la determinación de la magnitud de demandas ambientales y el grado de exigencia de esta urbe durante el periodo de 1980 a 2010, identificó que el consumo total y per cápita de alimentos y energía (eléctrica y liberada por combustión) se ha incrementado durante los últimos 30 años, mientras que en el caso del agua, su consumo se mantuvo constante debido a restricciones de abastecimiento en el año 1997 y por la implantación de instrumentos directos e indirectos de políticas públicas.

Aunado a lo anterior, los resultados del pronóstico para el año 2025 no son muy prometedores, pues se espera un incremento en el consumo total y por habitante en todos los elementos estudiados, con condiciones de alta presión sobre la infraestructura urbana y sobre los alrededores, razón por la cual Díaz concluyó que se deben llevar a cabo estrategias de acción que promuevan la sostenibilidad urbana y donde se contemple la reutilización de residuos, uso de energías renovables y mayor conciencia ciudadana.

1.3.2 Cambio Climático y el Metabolismo Urbano de las Megaurbes Latinoamericanas

Mientras que el estudio de Díaz (2011) fue una primera aproximación del metabolismo urbano de una ciudad latina, en su trabajo sobre Cambio climático y el metabolismo urbano de las megaurbes latinoamericanas, Delgado, Campos, y Rentería (2012) buscaron ofrecer un primer acercamiento integral comparativo de las dimensiones de metabolismo de las megaurbes; Ciudad de México, Sao Paulo, Rio de Janeiro y Buenos Aires, con el fin de contribuir a cimentar este tipo de estudios en la región.

Se describió la problemática de las ciudades latinoamericanas como iconos de desordenamiento territorial, con acelerados patrones de expansión, socialmente excluyentes, e inclusive ambiental y económicamente inviables en el largo plazo, reconoció que los espacios urbanos toman energía y materiales fuera del sistema urbano y desechan energía disipada y materiales degradados, además menciona que se debe incluir la presencia de los gases de efecto invernadero que se generan tanto en los flujos de entrada, como en los de salida.

En este contexto, los flujos energético-materiales que fueron evaluados en el estudio comparativo del metabolismo urbano son; energía, agua y alimentos como flujos de entrada, y gases de efecto invernadero, aguas residuales y residuos sólidos como flujos de salida.

A partir de los resultados obtenidos, específicamente sobre los flujos de agua y aguas residuales, el análisis permitió identificar las principales fuentes de abastecimiento, la producción y/o extracción total de agua diaria en dichas fuentes, la disponibilidad de plantas potabilizadoras y su capacidad, el consumo per cápita y las áreas de mayor consumo, así como, la extensión de los sistemas de distribución, y en el caso particular de la capital mexicana, la energía que demanda el trasvase de agua y la emisión de GEI. Respecto a las aguas residuales, se obtuvieron datos sobre la cantidad de agua residual por habitante al día, la longitud de la red de drenaje y/o sistema de alcantarillado, el vertimiento de agua residual a cuerpos de agua, y la capacidad de las plantas de tratamiento.

Se determinó que el metabolismo urbano en las cuatro megaurbes en relación con el cambio climático, son ingentes y cada vez más insostenibles en el corto, mediano y largo plazo, y que de continuar con la tendencia actual de extracción de recursos, se espera un futuro socio ambientalmente incierto, aunado a lo anterior, recomienda que los análisis posteriores de esta índole requieren de otros ejercicios de mayor fineza y desagregación, así como, trabajo documental y de campo más detallado, con una perspectiva histórica y por supuesto, una proyección a futuro.

1.3.3 Estudio de Metabolismo Urbano en la Ciudad de Cuenca

El estudio efectuado por Jaramillo (2017) en la Ciudad de Cuenca, en Ecuador describe a las ciudades como consumidoras de energía, materiales, agua u otros recursos que sustentan su desarrollo, y con una elevada producción de residuos. Al metabolismo urbano se le concibe como un primer paso para comprender los flujos de energía y materiales que posteriormente pueden ser optimizados por medio de políticas públicas.

Con el objetivo de describir a la ciudad de Cuenca bajo el enfoque del metabolismo urbano, Jaramillo realizó una intensa recopilación de información, en primer lugar, un diagnóstico de los aspectos más importantes de Cuenca; poblacionales, económicos, geográficos y climatológicos, al igual que un diagnóstico breve de algunos flujos metabólicos como son; consumo de agua, energía, producción de aguas residuales, emisiones y residuos sólidos.

A partir de los datos obtenidos y referente a la cobertura de agua potable, se logró identificar que un 87% de la población de Cuenca se abastece de la red pública y dispone de 20 plantas potabilizadoras, en la zona urbana la cobertura es del 97.7% y se consume el 71.8% del agua total de Cuenca, siendo el consumo de 207 litros por habitante al día, mientras que en la zona rural la cobertura con red pública es superior al 89.5%, consume un 25.2% del agua total de Cuenca, destinando la mayor parte actividades de agricultura y ganadería, y con un consumo en los hogares de 590 litros por habitante al día.

Por otra parte, en cuanto a aguas residuales, Cuenca es una de las ciudades con la mayor cobertura del servicio de alcantarillado, principalmente en las zonas urbanas, cuya cobertura es de 93.91%, mientras que en el sector rural es de 60.79%, el sistema de alcantarillado está provisto de una planta de tratamiento de aguas residuales, la cual depura el agua residual y la vierte directamente a los ríos que atraviesan la ciudad, su capacidad es de 1860Lt/s y capta cerca del 95% de las aguas residuales que se generan en la ciudad.

A manera de conclusión, Jaramillo determinó que los patrones de consumo y producción de la población se han mantenido, no obstante presenta un metabolismo lineal y una tendencia al aumento en el consumo de agua, aunque de momento las reservas de este recurso aún son suficientes, se pronostica que para el año 2030 la ciudad deba buscar abastecerse de fuentes más lejanas, situación que puede ser vista como un área de oportunidad para que las autoridades locales lleven a cabo la implementación y cumplimiento de políticas públicas sobre el uso eficiente del agua, por lo cual es muy importante la cooperación y el compromiso por parte de las instituciones tanto públicas, como privadas.

Cuadro 2. Aportaciones metodológicas de los estudios de caso

Caso/Autor/año	Variables	Indicadores
Metabolismo Urbano en la Ciudad de Bogotá D.C.: una herramienta para el análisis de la sostenibilidad ambiental (Díaz, 2011).	Distribución de agua Abastecimiento Aguas residuales Tratamiento y recuperación de aguas	Entradas: Consumo de agua (m ³ /s y litros/hab/día) Consumo facturado (m ³ /s y litros/hab/día) Salidas: Pérdidas (m ³ /s) Vertimientos (m ³ /s y litros/hab/día) Escorrentía superficial no aprovechada (m ³ /s)
Cambio Climático y el Metabolismo Urbano de las Megaurbes Latinoamericanas (Delgado, Campos, y Rentería, 2012).	Fuentes de abastecimiento Potabilización Distribución Alcantarillado	Entrada: Consumo de agua (litros/hab/día) Salida: Aguas residuales (litros/hab/día) y m ³ /s
Estudio de Metabolismo Urbano en la Ciudad de Cuenca (Jaramillo, 2017).	Cobertura de agua potable Aguas residuales	Flujos de entrada: Producción de agua potable (Volumen de agua potabilizada m ³) Consumo de agua potable (Consumo facturado de agua potable m ³) Flujos de salida: Producción de aguas residuales (Volumen de aguas tratadas m ³)

Fuente: Elaboración propia basada en los casos de estudio.

1.4 Escenarios de desempeño hídrico

1.4.1. Marco de referencia

Existen diferentes formas de aproximarse al futuro, siendo la prospectiva la única que lo aborda como una realidad múltiple e indeterminada, obtenida como resultado de las infinitas posibilidades de acción humana (Cely, 1999).

Se concibe a la prospectiva como una herramienta de planeación con el propósito de incrementar la capacidad del ser humano de prever y modelar el desarrollo futuro de las sociedades, a partir de una situación actual, considerándose las causas económicas, sociales, científicas, tecnológicas que ocurren en la sociedad, en la búsqueda de prever e imaginar situaciones derivadas o que podrían derivarse de influencias conjugadas (Ministerio de Desarrollo Social, 2005).

Miklos y Arroyo (2008) señalan que la prospectiva representa la habilidad para llevar a grupos humanos a tomar decisiones relevantes que los lleven a alcanzar el mejor de los futuros posibles, enfrentando situaciones de incertidumbre.

Cuadro 3. Estrategias esenciales de la Prospectiva

Visión de largo plazo	Cobertura holística	Consenso
Prioriza el largo plazo sobre el corto plazo. Lo más importante es definir lo que se quiere alcanzar en el largo plazo.	Permite ver el todo y sus partes a efecto de operar mejor la complejidad que ha de presentarse.	Exige la participación de los protagonistas, de tal manera que las decisiones sean la toma de conciencia de un colectivo que será afectado por esa decisión.

Fuente: Elaboración propia en base a Miklos y Arroyo (2008).

Para desarrollar estudios de prospectiva existen diferentes metodologías entre las que se encuentra la de escenarios, cuyo uso se ha venido generalizando durante los últimos diez años gracias a la claridad en la presentación de los resultados y a la articulación de los mismos con la intencionalidad de la acción humana (Cely, 1999).

Un escenario se puede definir como una modelización de una situación futura esperada y su objeto es realizar un examen lo más exhaustivo posible de las opciones y alternativas que tienen delante suyo la dirección o quienes toman las decisiones estratégicas (Rodríguez, 2010). Los escenarios son una forma de pensar en el futuro, y deben servir para decidir lo que hay que hacer en el presente (Astigarraga, Sin año).

Cuadro 4. Elementos constitutivos de un escenario

Punto de partida del escenario	Análisis de los principales problemas existentes en el presente, según su urgencia, y a partir del cual se pretende producir una evolución en el tiempo y en los sistemas hacia un futuro determinado.
Trayectoria futura más plausible	Comportamiento en el tiempo de las variables claves seleccionadas, según el tipo de escenario; tendencial, normativo o aberrante.
Situaciones de riesgo	Factores que pueden intervenir en la trayectoria del escenario y modificarla.
Horizonte de tiempo	Período temporal entre la situación de base y la situación de llegada.
Situación de llegada	Factores y variables claves seleccionados en la situación de partida para dimensionar la naturaleza del cambio experimentado.

Fuente: Rodríguez (2010).

Tipos de escenarios de acuerdo a Cely (1999);

- Escenarios Posibles: son todos aquellos escenarios que se puedan imaginar sin importar si su probabilidad de ocurrencia es alta o baja.
- Escenarios Realizables: son los escenarios cuya ocurrencia es factible, teniendo en cuenta todas las restricciones del sistema.
- Escenarios Deseables: son los escenarios a los que los actores desean llegar, también pueden ser calificados como los escenarios más convenientes. Forman parte de los escenarios posibles y no necesariamente son realizables.

Ventajas

El método de escenarios puede ayudar a elegir, situando el máximo de apuestas para la estrategia que sea la más idónea de acometer en el proyecto que se determine.

Limitaciones

Uno de los impedimentos del método de escenarios es el tiempo. Se necesitan en general de 12 a 18 meses para seguir el proceso en su totalidad, de los que al menos la mitad se dedica a la construcción de la base. Si no se dispone más que de 3 a 6 meses, es preferible concretar la reflexión sobre el módulo o módulos que resulten más importantes. Además, no se puede plantear un solo futuro porque puede haber varios futuros. No hay afirmaciones precisas sobre el futuro dado que los escenarios son de carácter subjetivo y sólo pueden ser descritos cualitativamente. Y principalmente si no se tiene información sobre el sistema o asunto los escenarios serán especulaciones (Planificación general, 2010).

1.5 Diseño de investigación

La investigación busca mediante procedimientos analíticos caracterizar el metabolismo urbano de las ciudades de México y Bogotá a partir del análisis de indicadores de abastecimiento y consumo de agua. El diseño partió de un procedimiento hipotético-deductivo el cual permitió concretar los ejes metodológicos de la investigación: Planteamiento del problema, justificación, pregunta de investigación, objetivos y la metodología específica.

1.5.1 Justificación

En América Latina se ha observado que el déficit de seguridad hídrica es el resultado de las debilidades del sistema humano, tanto en la infraestructura, como en la gestión. Para garantizar el abastecimiento de agua se plantean soluciones desde el área de la ingeniería civil y sanitaria, cuyos estudios se han centrado en abordar la problemática a partir de la ampliación de infraestructuras hidráulicas vía rectificación de cuerpos de agua, embalses, trasvase de cuencas, ampliación de redes de abastecimiento y saneamiento, desatendiendo la dimensión económica, política, social y ambiental.

Siendo la ineficiente gestión del agua una de las principales problemáticas en Latinoamérica, surge el interés por realizar un estudio del metabolismo urbano-hídrico entre la Ciudad de México y Bogotá D.C., puesto que, en las ciudades latinas son escasos los estudios de esta índole. Como tal, los estudios metabólicos permiten analizar la relación entre el uso de los recursos y la actividad económica de su sociedad e identificar en qué medida las economías urbanas “ingieren” materias primas, que son “metabolizadas” para producir bienes y servicios, y “excretan” residuos en forma de materiales desechados y contaminación (Cotarelo, 2015).

Los recursos hídricos y su gestión afectan prácticamente todos los aspectos de la economía y de la sociedad en particular, por ello, a través del presente trabajo se busca enriquecer la reflexión que permita avanzar hacia una gestión eficiente, sostenible y equitativa del agua, pues el enfoque de metabolismo urbano representa una nueva forma de interpretar a la ciudad desde una perspectiva ambiental como un espacio consumidor de energía y productor de desechos.

1.5.2 Planteamiento del problema

La problemática climática y medioambiental se perfila cada vez más como un reto para las ciudades latinoamericanas (Delgado, Campos, y Rentería, 2012), en la gestión del agua se observan grandes pérdidas y mayores niveles de demanda per cápita, muy por encima de lo que se considera una demanda eficiente (Banco de Desarrollo de América Latina, 2017). La Ciudad de México y la ciudad de Bogotá D.C., presentan riesgos de desabastecimiento de agua a causa de la gestión ineficiente del recurso, al acelerado proceso de urbanización y por el crecimiento poblacional que da paso al aumento en la demanda, sumado a la cada vez menor disponibilidad del líquido vital en las áreas de recarga que actúan como fuentes de abastecimiento.

En ambos casos se han llevado a cabo procesos de sobreexplotación de fuentes hídricas subterráneas para suplir las necesidades de los habitantes, y la mayor cantidad de agua de abastecimiento proviene de lugares remotos, la Ciudad de México es una de las urbes más sedientas del mundo (The guardian, 2015), con una población superior a los 8, 918,653 habitantes (INEGI, 2015) el abastecimiento de agua resulta caro, ineficiente y un derroche de energía, el cual se ve reflejado en la principal fuente de abastecimiento; el Sistema Cutzamala, ubicado a más de 120km de la ciudad y cuyo sistema de bombeo implica elevados costos económicos, así como la pérdida de aproximadamente 40% del líquido que recorre el sistema debido a fugas (Kimmelman, 2017).

Por otra parte, en Bogotá D. C., con una población de 8,081, 000 habitantes (DANE, 2018), suple sus requerimientos de agua principalmente de la escorrentía de las cuencas de los ríos Bogotá, Tunjuelo, Guatiquía, Blanco y Chuza, bajo la estructura de matriz de los sistemas Tibitoc, Tunjuelo y Chingaza. No obstante, la demanda, el consumo y la pérdida del recurso son elementos que generan presión en la infraestructura instalada y en los sistemas naturales de almacenamiento (Díaz, *et. al*, 2016).

Posteriormente, una vez que el agua ha sido aprovechada se generan problemáticas por la descarga de aguas residuales, y a pesar de que el agua residual es sometida a procesos de tratamiento se devuelve al medio natural en peores condiciones de calidad, por lo que no puede ser reutilizada, a la vez que aumenta la necesidad de crear nuevas infraestructuras, pues se tiene la idea errónea de que los problemas de abastecimiento de agua pueden solucionarse con el aumento de infraestructura hidráulica, sin apostar por una gestión integral del recurso que garantice el compromiso de los diferentes sectores involucrados para promover la sostenibilidad hídrica.

Realizar el estudio en nuestro contexto es relevante y funge como un parteaguas para análisis posteriores, retomando lo que menciona Jaramillo (2017), la mayor cantidad de estudios de metabolismo urbano se han realizado en el continente asiático y europeo, y Latinoamérica es una de las regiones menos estudiadas. De ahí que esta investigación es necesaria para adquirir conocimiento y aportar información que contribuya a la participación de todos los sectores involucrados en la gestión del agua en ambas ciudades con una demanda en constante aumento y menor disponibilidad del recurso.

1.5.3 Hipótesis

La tendencia hídrica de la Ciudad de México y la ciudad de Bogotá D.C., está condicionada por el crecimiento de la población, el consumo de agua y la descarga de aguas residuales.

1.5.4 Objetivo general

- Determinar los escenarios de metabolismo urbano en la Ciudad de México y la ciudad de Bogotá D.C, por medio del modelo presión-estado-respuesta.

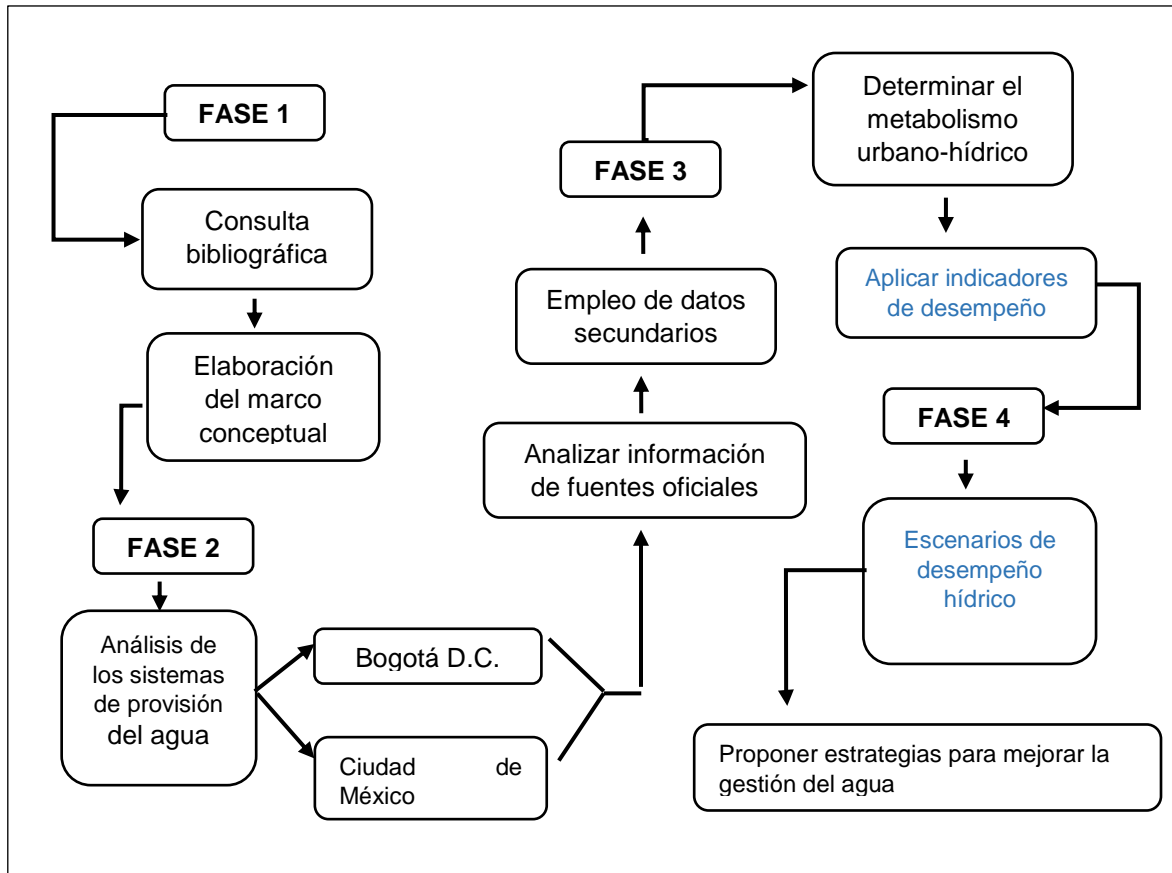
1.5.5 Objetivos específicos

- Fundamentar el marco de referencia del metabolismo urbano, asociado al recurso hídrico.
- Describir los antecedentes históricos sobre la provisión de agua potable en la Ciudad de México y Bogotá D.C.
- Caracterizar el marco Institucional de la gestión del recurso hídrico en las ciudades de México y Bogotá D.C.
- Caracterizar el metabolismo urbano de las ciudades de México y Bogotá D.C., a partir de indicadores de desempeño ambiental.

1.6 Metodología

Debido a que el objetivo es determinar los escenarios de metabolismo urbano en la Ciudad de México y la ciudad de Bogotá D.C, por medio del modelo presión-estado-respuesta, a partir de indicadores seleccionados de dicho modelo. La investigación es de tipo exploratoria, los estudios exploratorios se efectúan cuando se examina un tema o problema poco estudiado (...) cuando la revisión de la literatura reveló que hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio (Hernández, *et. al*, 2004).

Figura 3. Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia

1.6.1. Selección del modelo analítico y las variables e indicadores

Respecto a la selección de indicadores, exploramos la propuesta de la Comisión sobre Desarrollo Sustentable (CDS), es el foro de más alto nivel en el sistema de las Naciones Unidas, tiene como una de sus funciones proveer asistencia a los países para seguir las prácticas estadísticas relacionadas al desarrollo sustentable.

La Comisión desarrolló un marco conceptual para la definición de los indicadores que permitan monitorear el progreso de los países con miras al desarrollo sustentable. Este marco está fundamentado en el modelo “Fuerzas Impulsoras – Estado – Respuesta” y en la medición de indicadores sociales (19 indicadores), ambientales (19 indicadores), económicos (14 indicadores) e institucionales (6 indicadores). Para fines de este estudio entre los Indicadores ambientales se identifica el tema principal: Agua dulce y entre los indicadores sociales, el tema de salud y los subtemas salubridad y agua potable (Ver Cuadro 5).

Cuadro 5. Indicadores ambientales y sociales

Tema	Subtema	Indicadores
Agua Dulce	Cantidad de Agua	Extracción anual de aguas superficiales y profundas como porcentaje total del agua disponible.
	Calidad de Agua	Demanda bioquímica de oxígeno en cuerpos de agua.
Concentración de coliformes fecales en aguas dulces.		
Salud	Salubridad	Porcentaje de la población con acceso a un sistema adecuado de drenaje.
	Agua Potable	Porcentaje de la población con acceso a agua potable para consumo humano.

Fuente: Commission Sustainable Development (2001).

Por otra parte, el Instituto Mexicano de la Competitividad (IMCO) en el subíndice manejo sustentable del medio ambiente propone algunos indicadores que se relacionan con el agua (Ver Cuadro 6).

Cuadro 6. Indicadores del manejo sustentable del medio ambiente

Indicadores	Unidades
Sobre-explotación de acuíferos	% superficie sobreexplotada
Consumo de agua	m ³ per cápita
Volumen tratado de aguas residuales	L/s por cada mil hab

Fuente: Instituto Mexicano para la Competitividad (2012).

Y por último, el modelo Presión - Estado - Respuesta (PER) propuesto por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Establece un modelo analítico específico para el recurso hídrico adaptable a los países de la región latinoamericana.

El modelo PER presupone relaciones de acción y respuesta entre actividades económicas y del medio ambiente.

Este modelo se origina de planteamientos simples: ¿Qué está afectando los recursos hídricos?, ¿Cuál es el estado actual del agua?, ¿Qué se está haciendo para mitigar o resolver los problemas del agua?, cada pregunta se responde con un sistema de indicadores.

El Modelo PER es un modelo de organización de la información simple. Implica elaborar de manera general una progresión causal de las acciones humanas que ocasionan una presión sobre el agua y llevan a un cambio en el su estado, al cual las organizaciones sociales responden con acciones para reducir o prevenir el impacto.

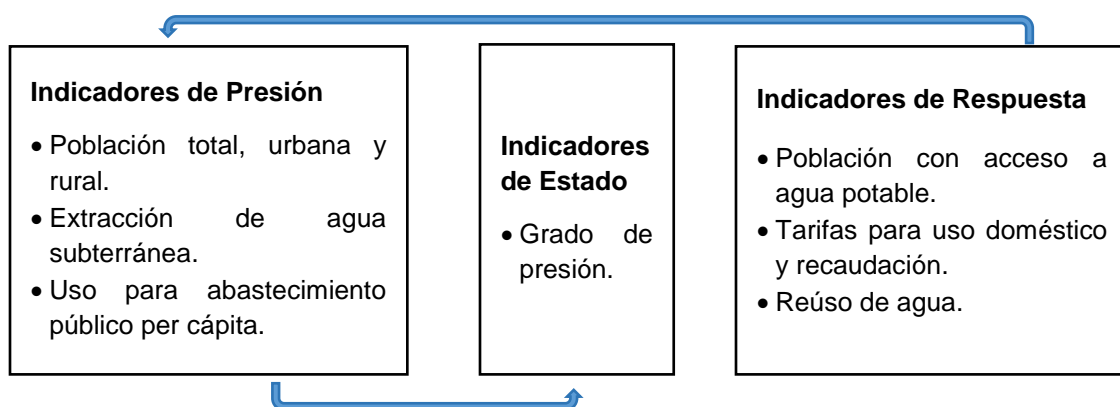
Los indicadores de presión describen las presiones ejercidas sobre el agua por las actividades humanas, y se clasifican en dos grupos: de presión directa y de presión indirecta.

Los Indicadores de Presión Directa corresponden a las externalidades creadas por las actividades humanas, ej. Contaminación del agua. Los indicadores de Presión Indirecta corresponden a las tendencias en las actividades que crean las externalidades ambientales, por ejemplo, la sobre explotación de las fuentes de agua. Los indicadores de presión indirecta proporcionan elementos para pronosticar la evolución de la problemática.

Los indicadores de estado se refieren a la cantidad, la condición del agua, por ejemplo, la calidad del agua para consumo humano. Los indicadores de respuesta representan los esfuerzos sociales e institucionales para reducir o mitigar el deterioro de las fuentes y garantizar el abastecimiento de agua.

Dadas las características y naturaleza de la problemática hídrica en las ciudades de México y Bogotá, el modelo se adaptará a la información comparable, con el objeto de definir los escenarios tendenciales y proponer acciones para el agua de consumo humano. La figura 4 describe los indicadores que exhiben las presiones sobre la disponibilidad de agua para sus diferentes usos, el estado en que se encuentran y las acciones realizadas para conservar este recurso para el futuro.

Figura 4. Modelo Presión – Estado – Respuesta



Fuente: (OCDE, 1993, EPA, 1996).

Cuadro 7. Indicadores de Presión

Indicador	¿Qué mide?	¿Cómo?
Población total, urbana y rural	Tamaño poblacional	Número de habitantes
Extracción de agua subterránea	Agua subterránea que se extrae para suministro de agua potable, riego agrícola, agropecuario, e industrial	Miles de hectómetros cúbicos de agua extraída por año.
Uso para abastecimiento público per cápita	Agua destinada al abastecimiento público urbano (tendencia y su impacto potencial en los recursos hídricos)	Abastecimiento público per cápita (m ² /habitante/año)

Cuadro 8. Indicadores de Estado

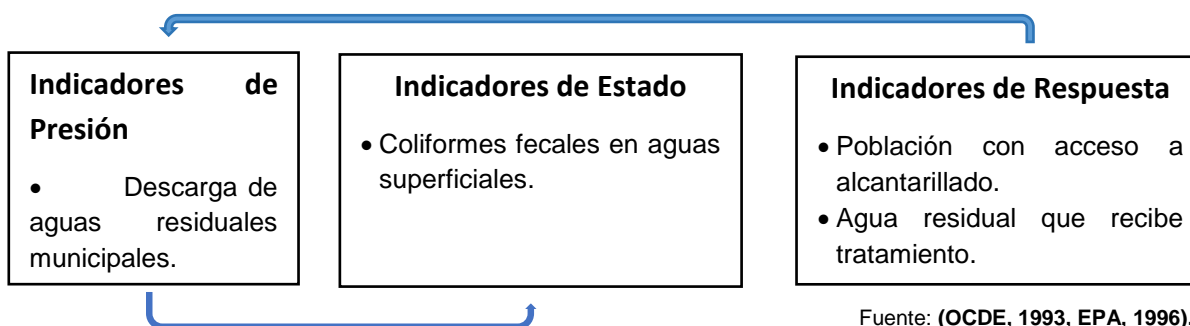
Indicador	¿Qué mide?	¿Cómo?
Grado de presión	Comparación de la extracción total de agua para usos consuntivos con el volumen total de los recursos hídricos renovables	% de grado de presión

Cuadro 9. Indicadores de respuesta

Indicador	¿Qué mide?	¿Cómo?
Población con acceso de agua potable	Población que cuenta con acceso a agua potable	% de cobertura
Tarifas para uso doméstico y recaudación	Comparación de tarifas promedio con la recaudación por m ³	\$ por m ³
Reúso de agua residual	% del caudal descargado de agua residual no municipal que tiene un reúso directo	% de agua que se reutiliza

Indicadores que abordan el tema de la calidad del agua; los factores que presionan su calidad, la condición en que se encuentran los cuerpos de agua del país y que acciones están tomando para frenar su deterioro, y eventualmente permitir su recuperación.

Figura 5. Modelo Presión – Estado – Respuesta.; Calidad de agua



Fuente: (OCDE, 1993, EPA, 1996).

Cuadro 10. Indicadores de Presión

Indicador	¿Qué mide?	¿Cómo?
Descarga de aguas residuales municipales.	Aguas residuales municipales	Caudal descargado m ³ /s

Cuadro 11. Indicadores de Estado

Indicador	¿Qué mide?	¿Cómo?
Coliformes fecales en aguas superficiales	Concentraciones de coliformes fecales	NMP/100 ml

Cuadro 12. Indicadores de Respuesta

Indicador	¿Qué mide?	¿Cómo?
Población con acceso a alcantarillado	Cobertura de alcantarillado	Cobertura %
Agua residual que recibe tratamiento	Caudal de agua residual tratado	Caudal tratado/colectado %

Una vez revisados los diversos indicadores, para los fines de éste estudio se optó por seleccionar el modelo analítico propuesto por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. Pues si bien, la Comisión sobre Desarrollo Sustentable (CDS) propone un total de 58 indicadores, éstos se dividen en indicadores sociales, económicos, institucionales y ambientales, de los cuales únicamente 5 pueden ser aplicados al agua. En el caso del Instituto Mexicano de la Competitividad (IMCO), propone 3 indicadores que se relacionan con el mismo recurso, pero éstos solo se aplican en territorio mexicano.

Se seleccionó el modelo Presión – Estado – Respuesta (PER), tomando en cuenta que tanto México, y recientemente Colombia forman parte de la OCDE. Además porque se trata de un modelo analítico específicamente para el recurso hídrico, a través del cual se pueden identificar las presiones ejercidas sobre el agua derivado de actividades humanas, el estado y/o condiciones en que se encuentran los recursos hídricos, así como las acciones que se llevan a cabo para reducir o prevenir el impacto.

Dadas las características y naturaleza de la problemática hídrica en las ciudades de México y Bogotá, el modelo se adaptará a la información que pueda ser comparable, y al igual que el metabolismo urbano, mediante el análisis de los indicadores se podrá identificar la demanda que la población ejerce sobre el agua, las presiones de las descargas y evidenciar áreas vulnerables, a fin de definir los escenarios tendenciales y proponer acciones para el agua de consumo humano.

Conclusión

En este primer capítulo se abordó el marco teórico de referencia del metabolismo urbano, describiendo diferentes enfoques para atender la problemática medioambiental que representa el abastecimiento y distribución del agua en la Ciudad de México y Bogotá D.C.

Que si bien desde 1965 Wolman argumentó que las ciudades consumen más de lo que necesitan y a la vez generan residuos que la naturaleza es incapaz de procesar, planteamientos como el de la gestión integrada de recursos hídricos señala que se puede maximizar el bienestar económico y social de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales.

Este apartado es muy importante ya que, buena parte de la información que aquí contiene se retomara en los próximos capítulos para el análisis de datos, además de que también se describe el diseño y los fundamentos metodológicos de la investigación.

CAPÍTULO 2. ANTEDECENTES SOBRE LA PROVISIÓN DE AGUA EN LA CIUDAD DE MÉXICO Y BOGOTÁ D.C.

El objetivo de este capítulo es describir los antecedentes más relevantes sobre la provisión de agua tanto de la ciudad de México, como de Bogotá D.C. La descripción se realiza a partir de etapas históricas – desde la época prehispánica hasta el siglo XX -, donde a partir de fenómenos políticos, sociales, económicos y ambientales, hubo importantes cambios y retos en el manejo y aprovechamiento de agua.

2.1 Antecedentes históricos sobre la provisión de agua en la ciudad de México

2.1.1 Época prehispánica

En 1325 los aztecas fundaron su capital Tenochtitlán en un islote ubicado en uno de los lagos que conformaban la Cuenca de México (Kimmelman, 2017). A pesar de que la ciudad fue construida sobre terrenos pantanosos de escasa o nula utilidad para los pueblos de tradición agrícola, los aztecas supieron aprovechar y acoplarse al ambiente de su entorno y beneficiarse de la disponibilidad de abundantes recursos de características lacustres en actividades de pesca, caza y recolección, de igual forma, al estar situados sobre un lago aprovecharon el agua de forma estratégica como medio para separar y proteger su ciudad (Gussinyer, 2011).

Imagen 1. Entorno lacustre de Tenochtitlán

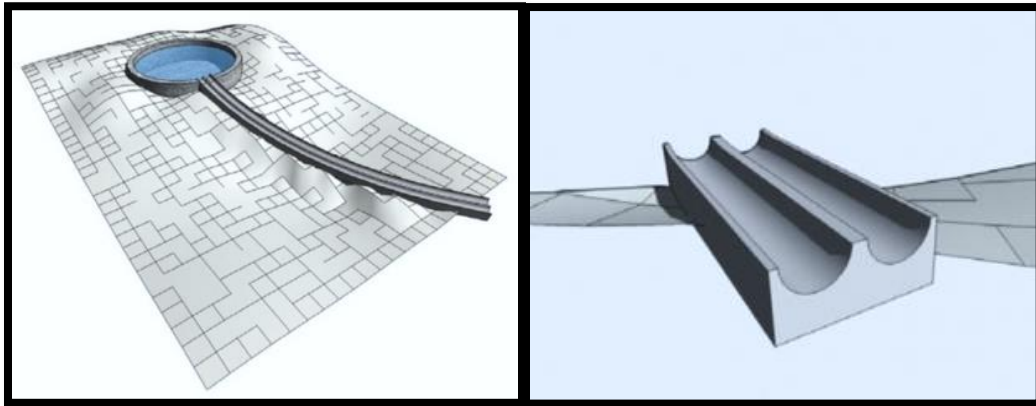


Fuente: Aguirre (2001) El entorno lacustre de la Gran Tenochtitlán. Disponible en <http://www.mexicomaxico.org/Tenoch/Tenoch4.htm>

El ambiente fue propicio para el desarrollo de las chinampas¹, un sistema agrícola que permitió abastecer de alimentos a la ciudad, mientras que la provisión de agua dulce se realizaba por medio de los acueductos de Churubusco y Chapultepec, una vez que el agua llegaba a la ciudad se distribuía mediante caños descubiertos (apantles) a las casas de los nobles y fuentes públicas, y en el caso de quienes no disponían de este sistema, tenían que comprar el líquido a aguadores en canoa (Olivas, 2012).

El acueducto de Chapultepec contaba con dos canales en forma de medio círculo y fue diseñado para garantizar la salud de los habitantes, ya que, mientras el agua circulaba por uno de los canales, al otro se le daba mantenimiento para conservarlo limpio y en buen estado para tener un flujo seguro en caso de necesitar más líquido en la ciudad (Solís, 1992).

Imagen 2. Gráfico tridimensional de la construcción del acueducto de Chapultepec



Fuente: Olivas (2012) Ciudades de agua, Tenochtitlán.

Por otra parte, a causa de su ubicación sobre un lago, la ciudad azteca se vio afectada por inundaciones, no obstante, después de la primera inundación en 1449 se construyó una cerca de madera y piedra para separar en dos secciones las aguas salobres del lago de Texcoco, y se creó un compartimento para recibir las aguas dulces del poniente y del sur del valle (Rojas, 1992), posteriormente, se construyó un dique para proteger el islote de las corrientes del lago de Texcoco en el embarcadero del mismo nombre, este tenía compuertas para permitir el paso del agua y de las Canoas, y si el agua se elevaba, las compuertas se cerraban para evitar inundación (Olivas, 2012).

¹ Parcelas superficiales o islas artificiales en medio del lago, las cuales se sustentaban con pilotes y gruesas capas de tierra, con recipientes se recogía agua de los canales y se arrojaba a la superficie de las chinampas y una vez que se desarrollaba la raíz de las plantas el acceso al agua era totalmente natural y espontáneo. Las chinampas generaban alrededor de 7 cosechas al año y se conectaban por medio de canales a los grandes mercados y zonas de navegación (Olivas, 2012).

Imagen 3. Tenochtitlán



Fuente: Aguirre (2012) Evolución de la Gran Tenochtitlán. Disponible en <http://www.mexicomaxico.org/introTenoch.htm#>

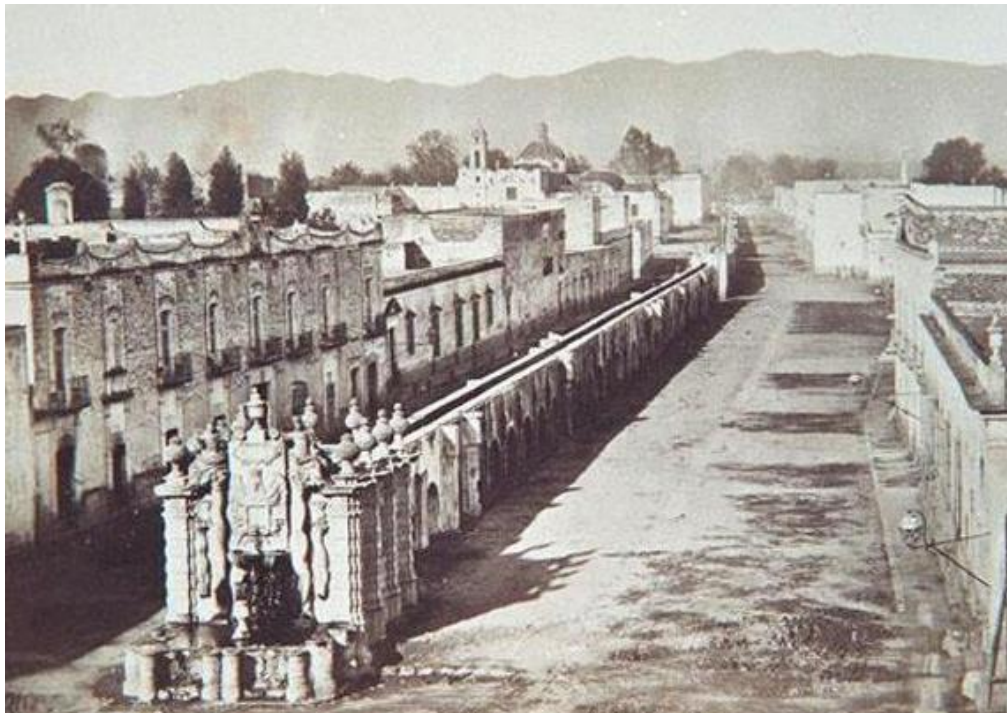
En conclusión, por su ubicación Tenochtitlán exigió la construcción de sistemas hidráulicos que permitieran el aprovechamiento de los recursos naturales y la contención de las aguas para evitar que la ciudad se anegara con aguas salobres, así como, infraestructura para la provisión de agua dulce. Esto es un reflejo del alto grado de conocimiento que los aztecas tenían sobre su entorno, pues lograron aprovechar de forma estratégica los recursos de los cuales disponían y su ubicación, de tal manera que los lagos les proporcionaron una línea de defensa y las chinampas un medio de sustento.

2.1.2 Época colonial (1521 a 1821)

La época colonial en México inició después de la caída de Tenochtitlán. Hernán Cortés asumió el gobierno como Capitán General y decidió fundar la nueva ciudad sobre las ruinas de la antigua Tenochtitlán, la construcción inició a finales de 1521 cuando se definió la traza de la ciudad y se comenzaron a tratar temas para proveer de agua a la nueva población, siendo una de las primeras acciones reparar el acueducto de Chapultepec, el cual Cortés mando cortar para dejar sin agua a los aztecas, pero a medida que la población aumentaba se tuvo que llevar agua de otros lados porque era insuficiente (González, 1919).

Fue así como se transformaron los antiguos sistemas de abastecimiento, sustituyendo artefactos y materiales de madera y piedra por otros metálicos, y se introdujeron máquinas que permitieron excavar los pozos y depósitos de agua a mayor profundidad, se aligero el trabajo de extraer y elevar el agua con la rueda hidráulica, la palanca, el torno y la polea, de igual forma, el arco en acueductos y puentes permitió conducir el agua a mayores distancias y conectar los caminos con mayor eficiencia. Se construyó el acueducto Salto de agua y un segundo acueducto para llevar agua de Santa Fe, de tal manera que la población tomaba el agua directamente de las fuentes o la compraba a vendedores (CONAGUA, 2009).

Imagen 4. Acueducto de Chapultepec



Fuente: MX Travel Guide D.R. (2018) Acueducto Chapultepec 1. Disponible en <https://www.mxtravelguide.com/slideshow/acueductos-de-mexico/acueducto-chapultepec-1/>

Por otra parte, el desarrollo urbano al que se dio lugar implicó la desecación de los lagos y la destrucción de una gran parte de la albarrada de Nezahualcóyotl para que pudieran transitar los barcos (Sistema de Aguas de la Ciudad de México, 2016), dando lugar al padecimiento de constantes inundaciones durante el periodo de lluvias². Para atender esta problemática se realizaron acciones para drenar la cuenca mediante la apertura del desagüe y se construyó el Tajo de Nochistongo³. En cuanto al manejo de aguas residuales, los españoles usaron la mayor parte de los ríos del valle de México como drenajes, y hasta el año de 1637 se inició la construcción de un canal abierto para enviar el agua residual hacia el río Tula, el cual fue concluido por completo hasta 1788 por falta de presupuesto. Con esta obra se redujo considerablemente el volumen de los lagos de Texcoco, Xaltocan y Zumpango (Jiménez, 2011).

Imagen 5. Tajo de Nochistongo



Fuente: Hernández (2015) Disponible en <http://www.arquine.com/aeropuerto-en-vez-de-lago/>

² Durante los años 1555, 1579- 1580, 1604 y 1607 ocurrieron las inundaciones que más afectaciones causaron (CONAGUA, 2009).

³ Canal para drenar el lago de Texcoco hacia el lago de Zumpango y de allí hacia el río Tula en Hidalgo, a través de Huehuetoca. Sin embargo, el canal colapsó porque estaba hecho de material de mala calidad pues la mayor parte de los recursos eran enviados a España, suceso que dio paso a la peor inundación de la Ciudad de México en 1629, pero años después en 1640 se reanudaron los trabajos de Nochistongo para convertirlo en un tajo a cielo abierto (Jiménez, 2011).

Para concluir, con la llegada de los españoles la ciudad se concibió, se planeó y se construyó bajo la concepción de la ciudad seca, con una total incompreensión del funcionamiento del sistema lacustre prehispánico, de ahí que se pensara en controlar las inundaciones y regular los niveles de los cuerpos de agua mediante su desvío o finalmente drenarlos.

2.1.3 Siglo XIX, después de la Independencia

El inicio del México independiente se caracterizó por una vida política conflictiva, donde el manejo y control del agua era un asunto local; los gobiernos estatales y municipales marcaban la pauta sobre la gestión del recurso hidráulico, por ello en 1834 el ayuntamiento de la Ciudad de México emitió un bando de policía y buen gobierno que regulaba el trabajo de los aguadores y los obligaba a limpiar cada mes el cieno que se acumulaba en las fuentes públicas y privadas (CONAGUA, 2009).

Por factores como la escasez de agua, la ausencia de orden en el otorgamiento de concesiones, el mal estado de la infraestructura por falta de mantenimiento a los daños ocasionados por los continuos temblores y terremotos, en 1847 al contar con medio millón de habitantes ocurrió una crisis del líquido vital que dio paso a la creación de la policía del agua para reparar la infraestructura y evitar que la gente tomara agua ilegalmente o contaminara las fuentes (Jiménez, 2011).

Hasta finales del siglo XIX el acueducto de Chapultepec y el de Santa Fe abastecieron de agua a la Ciudad de México, pero el agotamiento de los manantiales hizo necesaria la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento para cubrir la demanda de agua generada a raíz del crecimiento urbano. Los estudios para disponer de un nuevo suministro de agua potable concluyeron en 1906 e inicio la construcción del acueducto para transportar agua de los manantiales de Xochimilco a la ciudad de México (CONAGUA, 2011), fue el inicio de la provisión de agua desde tierras lejanas y la implementación de infraestructuras modernas.

Durante la guerra de independencia fueron desviados recursos asignados al drenaje para maniobras bélicas, provocando en consecuencia el abandono de las obras, de ahí que durante la temporada de lluvias una precipitación de 1,011ml causó una severa inundación que dejó ver la insuficiente infraestructura de drenaje con la que se contaba, así que, se creó la Junta Directiva del Desagüe del Valle de México cuyo proyecto fundamental era la construcción del Túnel de Tequixquiac y el Gran Canal del Desagüe⁴, obra que fue concluida en 1930 (Sistema de Aguas de la Ciudad de México, 2016).

⁴ Dicha obra destacó por su magnitud y por ser la primera red de drenaje por gravedad, demandó la labor de una gran cantidad de personal y la aplicación de importantes recursos económicos provenientes de los diferentes niveles de gobierno, destacando la utilización de la tecnología y las técnicas más modernas de la época. Además, este proyecto considero un plan

Imagen 6. Túnel de Tequixquiac



Fuente: TV Radio Zumpango (2017).

Imagen 7. Presa y compuerta del Gran Canal de Desagüe



Fuente: Sin Autor (1987) Presa y compuertas del Gran Canal de desagüe. Disponible en <http://culhuacaneneltiempo.bloges.org/1428826075/presa-y-compuertas-del-gran-canal-de-desague/Túnel de Tequixquiac>.

de saneamiento de la ciudad que incluyó la construcción de una red de alcantarillado cuyas aguas residuales se arrojarían al Gran Canal y al lago de Texcoco (Sistema de Aguas de la Ciudad de México, 2016).

También se inició el reúso del agua residual generada en la Ciudad de México, como resultado de las descargas del drenaje en el Valle de Tula. El agua residual primero se reusó en 1889 para generar energía en dos plantas hidroeléctricas (Juandhó y La Cañada) y posteriormente en 1896 para el riego agrícola en Tlaxcoapan, Tlathuélilpan y Mixquiahuala (Jiménez, 2011).

Para cerrar, está claro que los conflictos políticos del México independiente no limitaron su crecimiento urbano. Y puesto que fue un periodo de desarrollo económico, en materia hidráulica se considera que las obras más modernas se construyeron en este periodo, entre ellas, el aprovechamiento de las aguas subterráneas de Xochimilco en la Ciudad de México y el proyecto del Gran Canal de Desagüe, que si bien no resolvió de raíz el problema de las inundaciones, si contribuyo a reducir de manera significativa la frecuencia y magnitud de las mismas.

2.1.4 Época Posrevolucionaria

Entre los años 1930 y 1940 la población de la capital se incrementó notablemente y con ello la explotación intensiva de agua subterránea, hasta que fue evidente la relación entre la sobreexplotación y la perdida en cantidad y calidad del líquido, con el hundimiento de la ciudad (Jiménez, 2011). Por ello, a partir de 1940 se decretó veda de agua subterránea que prohibía la perforación de nuevos pozos en la zona lacustre y se iniciaron estudios para extraer agua de cuencas externas.

Uno de los primeros planteamientos fue llevar el agua desde Zempoala, pero la altura a vencer implicaba la existencia de motores descomunales que requerían de grandes cantidades de energía eléctrica, así que se optó por transferir el agua de la cuenca de Lerma a la de México a través del sistema Lerma, un acueducto de 14km cuya primer etapa consistió en la captación de agua superficial y subterránea, así como, en la construcción de un sistema de distribución y almacenamiento para distribuir el agua por gravedad. Después, la nueva crisis de agua que experimento la ciudad de México en los 60's promovió el inicio de la segunda etapa del sistema Lerma en 1965⁵ y posteriormente, en 1975 cuando la población alcanzó los 7 millones de habitantes y sin haber reparado el mal estado de la red, se decidió llevar agua de la cuenca del rio Cutzamala, ubicada a 130km de distancia y a 1100m por debajo de la Ciudad ⁶ (Legorreta, 2006).

⁵ En 1951 entraron por primera vez a la ciudad de México las aguas de la región de Lerma. Y con el inicio de la segunda etapa del sistema Lerma se aumentó la perforación de pozos y la zona de extracción se extendió hacia la región de Ixtlahuaca y Jocotitlán (Legorreta, 2006). El líquido se almacenaba en el Cárcamo de Dolores, pero la mayor parte del agua se perdía en la red debido a su mal estado, por ello se abrieron nuevos pozos en el Valle de México (Jiménez, 2011).

⁶ Los trabajos del Sistema Cutzamala empezaron en 1976, primero se construyeron obras para llevar agua de la presa de Villa Victoria y posteriormente de la presa de Valle de Bravo y la presa de Colorines (Legorreta, 2006).

Por otra parte, debido a las constantes inundaciones de la capital los drenajes se utilizaron como un medio de control que en 1947 se vio afectado a causa de la sobreexplotación del acuífero, pues se demostró que el sistema de drenaje había perdido pendiente y con ello la capacidad para desalojar el agua de lluvia y la residual⁷, q sumado a la intensa precipitación pluvial en 1951 provocó una inundación de 2m de altura que cubrió dos tercios de la ciudad (Jiménez, 2011).

A raíz de este evento se construyeron grandes plantas de bombeo de los colectores principales al Gran Canal y se incrementó la capacidad de éste mediante la ampliación de las secciones y la construcción del segundo túnel de Tequixquiac, e inicio el entubamiento de los ríos La Piedad, Mixcoac, Churubusco, Consulado y parte del río de la Magdalena, convirtiéndolos en drenajes (CONAGUA, 2011). Luego, en 1967 inició la construcción del Sistema de Drenaje Profundo que con dos interceptores a través del tajo de Nochistongo descargaría nuevamente en el Valle de Tula. Por sus características dicho sistema no sería afectado por los hundimientos del terreno y podría operar por gravedad sin el uso de bombeo (Sistema de Aguas de la Ciudad de México, 2016).

En cuanto al aprovechamiento de aguas residuales, en 1956 se construyó la primera planta de tratamiento de aguas residuales en Chapultepec, con esta instalación inicio el rehusó formal en el riego y rellenado del lago del parque de Chapultepec, mientras que, para finales del siglo XX, la ciudad de México generaba 67.7km³/s de agua residual y tenía 71 plantas depuradoras. 27 operadas por el DF y 44 por instituciones federales o empresas privadas, en su mayoría utilizada en la extensa región de cultivos del estado de México e Hidalgo; Valle del Mezquital y Los Insurgentes (Legorreta, 2006).

A manera de síntesis, se puede observar que desde su comienzo la ciudad de México ha enfrentado retos de diferente índole, que van desde el impacto y control de los escurrimientos pluviales, hasta el hundimiento paulatino de la superficie de la ciudad, y la creciente escasez del agua debido al crecimiento poblacional y de las actividades económicas, situación que condujo a buscar nuevas fuentes de abastecimiento de cuencas externas como el sistema Lerma y Cutzamala, alternativas que no han disminuido la sobreexplotación y el hundimiento de la ciudad, y que por el contrario han causado serios problemas ecológicos, sociales y políticos.

⁷ En los años 50's se registró la mayor velocidad de hundimiento y con ello el dislocamiento de la red de alcantarillado, que formó columpios y contrapendientes en los colectores y emisores que alimentaban al canal del desagüe (Sistema de Aguas de la Ciudad de México, 2016).

2.2 Antecedentes históricos sobre la provisión de agua en Bogotá D.C.

2.2.1 Época prehispánica

En Bogotá D.C., los primeros pobladores fueron los Muisca, quienes a diferencia de los Aztecas, no desarrollaron grandes asentamientos humanos, ni infraestructura que soportara densificación, sino que conformaban una población dispersa que ocupaba numerosas y pequeñas aldeas y caseríos de paja muy bien labrada y con cercas de haces de caña en la Sabana de Bogotá, una amplia zona pantanosa rodeada por una llanura cubierta de pastos y vegetación baja, lo cual denota el amplio conocimiento que la población tenía sobre el tipo de recursos y los usos del paisaje con el que contaba (Martínez, 2005).

Puesto que la economía Muisca estaba basada en la agricultura, su mayor preocupación era la fertilidad, la productividad de los suelos y el agua: símbolo de fertilidad y origen de la vida – principio y fin-, cosmovisión que se soportó en deidades como Bachué, diosa de las legumbres y la fertilidad, y en Síe, diosa del agua (Casilimas y López, 2010), quienes eran veneradas en sitios sagrados, ubicados principalmente en cuerpos de agua como lagunas y ríos.

Imagen 8. Síe, diosa del agua



Fuente: Arango (2015).

La gestión del agua se fundamentó en la preservación del ambiente natural, el control de inundaciones y el mantenimiento de los caudales, mediante un sistema hidráulico de campos elevados de cultivo que les permitió además enriquecer suelos pobremente drenados y amenazados constantemente por las heladas (Rodríguez, 2010)⁸.

De esta manera, los humedales y las riberas de los ríos eran utilizados para el manejo de las siembras y cosechas, principalmente en las orillas del río de Bogotá, donde se construyeron numerosos camellones con canales para riego, drenaje y controles de las aguas de lluvia (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2007).

Por su parte, para el abastecimiento de agua, no se construyó infraestructura alguna, sino que éste se lograba por medio del transporte en vasijas – recolección en la fuente - (Museo del Oro, 2017).

De acuerdo a lo anterior, en la cultura muisca el agua desempeñó un papel muy importante, hasta el grado de ser reconocida como deidad. Los pobladores tenían conocimiento de su entorno natural, y de esta manera lograron aprovechar de forma estratégica su ubicación geográfica con respecto a los humedales para desarrollar una actividad agrícola prolongada.

2.2.2 Fundación y Época colonial

La fundación jurídica de Bogotá ocurrió en 1539, cuando a partir del reconocimiento de las autoridades españolas el poblado recibió el nombre Santa Fe. La ciudad fue trazada a partir de la actual Plaza de Bolívar para la instalación del caserío inicial, por la cercanía con quebradas y arroyos que descendían de las cuencas formadas por los cerros orientales, las calles se alinearon en sentido de la mayor pendiente, permitiendo un buen drenaje, por lo que en la temporada de lluvia el terreno no presentaba inundaciones pues el exceso de agua era recogido y almacenado naturalmente en lagos y humedales (Encolombia, 2017).

⁸ Rodríguez (2010) señala que la distribución y forma de los camellones estaba relacionada con el plano de inclinación de la Sabana, el nivel freático del suelo y la cantidad de agua que fuera necesario controlar. Por lo que se han identificado cuatro tipos fundamentales de camellones;

- a) Camellones ajedrezados, construidos lejos del río Bogotá o sus afluentes, sin canales que los conectara a ellos y en zonas relativamente aisladas del área de inundación.
- b) Camellones lineales, destinados a controlar el agua en la propia llanura de inundación, controlaban los desbordamientos y redistribuían el agua por los canales, evitando daños para los cultivos y manteniendo la humedad del suelo.
- c) Camellones irregulares, se encontraban dentro de los meandros, y por tanto debían amoldarse a la forma de estos, contaban con un espacio reducido y debían controlar la alta presencia de agua característica de estos puntos del río. d) Camellones paralelos al río, construidos siguiendo las curvas de la línea de agua, es posible que algunos hayan sido producto de un antiguo curso del río que después fue aprovechado para adecuarlo como campo de cultivo.

En los primeros años la población santafereña suplía sus necesidades de agua de los ríos San Francisco, San Agustín y San Cristóbal. El líquido se conducía hasta las pilas⁹ ubicadas en la plaza mayor, la pila de las nieves, la de San Victorino y al Chorro de San Agustín ¹⁰(Ortiz, 2009). Luego, con el fin de mejorar el abastecimiento de agua potable se inició la construcción de los acueductos Aguavieja, Aguanueva y San Victorino, que consistían básicamente en la conducción del agua por gravedad a través de acequias superficiales - en teja de barro o piedra - que llegaban a algunas casas de reparto y de allí a la pila, único sitio de depósito y acopio (Vargas y Zambrano, 1988)¹¹.

Imagen 9. Pila de las Nieves



Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá (2007) Agua, fuentes en Bogotá. Colombia. Disponible en https://issuu.com/patrimoniobogota/docs/agua_fuentes_baja/174

⁹ La pila consistía en una obra en piedra, hierro u otro material, compuesto por un amplio estanque circular o poligonal que llevaba en el centro una columna por la que subía el agua a presión hasta un tazón y de allí se vertía a través de surtidores, no requería agua a presión con tuberías (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2007).

¹⁰ La primera pila pública se construyó en 1584, la segunda fuente de agua tuvo lugar en 1611 y se denominó el chorro de San Agustín, después en 1665 se construyó la pila de las nieves y finalmente en 1793 la pila de San Victorino, siendo estas las que proveían de agua a una ciudad con aproximadamente 3000 habitantes, en un periodo en el que era inexistente una autoridad encargada de la provisión de aguas (Ortiz, 2009).

¹¹ De manera excepcional podía hacerse una conducción domiciliaria de agua, la cual estuvo restringida a los barrios centrales y a las pocas casas que podían pagarla, dicho derecho se denominó "merced de agua" y por el tenían que pagar matrícula y anualidad (Vargas y Zambrano, 1988).

También se colocaron chorros de agua¹² al pie de los muros de los conventos o de algunas casas, estas últimas debían solicitar un permiso para uso privado con el compromiso de colocar un chorro al servicio del público, de tal manera que los chorros facilitaron el aprovisionamiento de agua al descongestionar el uso de las pilas públicas, pero congestionaron las estrechas calles y los angostos andenes de la ciudad (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2007).

Imagen 10. Chorro de Quevedo



Fuente: Sin Autor

Por otra parte, en la región ocurrió un cambio importante sobre la percepción del agua, pues los españoles al observar los ritos que los muisca practicaban cerca de lagos y humedales, crearon todo un sistema para eliminar las creencias ancestrales de los muisca, cambiando el concepto indígena del ciudadano del agua por su desprecio y abandono, lo cual contribuyó a contaminar las fuentes de agua.

Aunado a lo anterior, al no existir alcantarillados ni cloacas, durante el periodo colonial las aguas residuales producidas por la ciudad se revertían a los mismos ríos, contaminando el agua que consumían, de igual forma y dado que las calles eran rectas y estrechas, por el centro de ellas corría un caño abierto que transportaba los residuos orgánicos de las viviendas durante la temporada de lluvia, siendo estas las que barrían y limpiaban la ciudad llevando los desechos hacia el río (Encolombia, 2014).

¹² Las pilas se diferenciaban de los chorros por su ornamentación y porque el agua brotaba de varios tubos o salidas de agua. Los chorros eran simples vertederos de agua que podían ser manantiales de origen natural o derivados de los acueductos (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2007).

En conclusión, a pesar de que la época colonial se caracterizó por un lento crecimiento poblacional y extensión urbana, a finales de este periodo la ciudad sufría un déficit en la provisión de agua, aunque en menor medida para las clases adineradas que podían pagar una conducción de agua domiciliaria, cuya disponibilidad, calidad y abastecimiento fueron priorizadas en comparación con los indígenas y campesinos. A partir de la fundación española cambio la forma de relacionarse con el agua, pues mientras que para los Muiscas era una deidad, en el modelo de urbanización español se consideró a los ríos como fuentes receptoras de aguas negras, dando paso a la contaminación de dichos cuerpos.

2.2.3 Época Republicana

En 1819 la ciudad obtuvo el nombre de Bogotá y fue definida como capital de departamento. En este periodo se hicieron escasos avances de infraestructura para el servicio doméstico de agua, aumentó la población, se agravaron problemáticas por la cobertura del servicio, deterioro de la escasa y precaria infraestructura instalada, destacándose la filtración de desagües superficiales en el agua de tomar, lo cual incidió en la construcción de los primeros tramos de alcantarillado subterráneo en 1871, y ya para 1890 casi una tercera parte de la ciudad estaba conectada a este tipo de desagües, con excepción de las tiendas y casas de mercado, las cuales no estuvieron conectadas pues con el desagüe subterráneo no tenían donde botar sus desechos orgánicos (Vargas y Zambrano, 1988). Luego de estos avances, se prohibieron los canales a cielo abierto y la estructura para la evacuación de aguas servidas que no obedecía a ningún plan, pues eran sistemas rudimentarios que permitían infiltraciones contaminantes y no resistían aguaceros fuertes de la época lluviosa (Gutiérrez, 2011).

En cuanto al servicio de agua, en 1865 el municipio otorgó un contrato a empresarios privados¹³, que en 1888 iniciaron actividades reemplazando las antiguas y gastadas acequias coloniales por una red de tuberías de hierro que solo mejoraron momentáneamente la provisión de agua¹⁴, hasta que los tubos se comenzaron a oxidar y perforar en muchas partes, dando lugar a pérdidas considerables del líquido y a la contaminación por aguas negras (Felacio, 2011)¹⁵.

¹³ Se comprometieron a expandir las redes del acueducto y dotar de agua al centro de Bogotá y al naciente barrio Chapinero, incluido el suministro de agua sin cobro a las pilas públicas, a cambio del derecho a recibir tarifas por el servicio domiciliario, lo anterior durante un periodo de 60 años (Vargas y Zambrano, 1988).

¹⁴ El aislamiento evitaba la contaminación por los desagües superficiales y prevenía la pérdida por conducción, además permitía utilizar la presión resultante de la gravedad y ganar altura para su utilización en los pisos altos de las casas, no obstante, este servicio resultó ser limitado a la minoría solvente de la población (Vargas y Zambrano, 1988).

¹⁵ Los ríos mantuvieron su función colonial de arrastrar basuras y aguas negras, generando un grave problema de insalubridad, por lo que, estudios realizados demostraron que las aguas de la compañía eran impotables por la presencia de materias orgánicas y microbios (Felacio, 2011).

Ante la preocupación por el servicio de acueducto, en 1914 el municipio comenzó a administrar el servicio (Rodríguez, 2012), un año después se identificó que las aguas proporcionadas por las fuentes de abastecimiento no eran potables, así que se optó por el empleo de cloro para purificar el agua¹⁶. Después, ante el rápido agotamiento de las fuentes se llevaron a cabo acciones para tener un mayor control de la cuenca hidrográfica¹⁷, pero a pesar de estos esfuerzos, a causa del aumento de población la escasez de agua persistía, de modo que en 1927 cuando la población superaba los 230,000 habitantes, el río Tunjuelo fue visto como un recurso necesario para abastecer de agua a la ciudad, y en 1938 se construyó la presa La regadera (Vargas y Zambrano, 1988), mientras que para mejorar la calidad del agua ofertada entro en funcionamiento la planta de tratamiento de Vitelma y en 1943 la de San Diego (Díaz, 2012).

Para finalizar, los últimos años del siglo XIX fueron los inicios de la infraestructura básica donde la municipalización del acueducto de Bogotá se fundamentó en la valoración de lo público, logrando avances técnicos significativos que contribuyeron a mejorar la calidad del servicio del agua, no obstante, conforme se expandía la población urbana, aumentaban las limitaciones para proporcionar el servicio domiciliario de agua a todas las viviendas, el cual era en su mayoría para las casas de la parte norte donde residían los sectores altos y medios, situación que impulso un marcado proceso de diferenciación social, pues la mayor parte de la población que residía en el sur tuvo que continuar recurriendo a mecanismos coloniales de abastecimiento, como pilas públicas, las cuales como consecuencia de las obras realizadas para el establecimiento del servicio de acueducto, comenzaban a escasear.

2.2.4 Crecimiento urbano en la segunda mitad del siglo XX

En 1948 ocurrió uno de los acontecimientos históricos más importantes en la ciudad de Bogotá; el fenómeno conocido como Bogotazo, evento a partir del cual durante la década de los 50's incremento la migración de la población rural hacía la capital colombiana (Díaz, 2012), de tal manera que entre la década de 1950 y 1960 la ciudad experimento un acelerado crecimiento demográfico y urbano pues la población pasó de 330,312 habitantes en 1938 a 1,697,311 habitantes en 1964 (Vargas y Zambrano, 1988).

¹⁶ En 1920. El director nacional de Higiene expidió una resolución en la que se dispuso la desinfección de las aguas mediante la utilización de cloro, ya que "está demostrado que el procedimiento más efectivo, más práctico y menos costoso para obtener esa desinfección es el empleo del cloro líquido (Felacio, 2011).

¹⁷ Se promovió la compra de los predios que conformaban las hoyas hidrográficas de los ríos San Francisco, San Agustín y San Cristóbal, para implementar políticas de reforestación que conservaran la humedad del suelo, atenuaran la evaporación del agua y contuvieran el vertiginoso descenso de los caudales (Felacio, 2011).

Ante el aumento de población¹⁸, para asegurar el abastecimiento de agua para la ciudad, en 1951 comenzó a funcionar la presa de Chisacá y a partir de 1953 las aguas del Río Bogotá se comenzaron a aprovechar con la planta Tibitoc I y en 1971 con Tibitoc II, cuyos caudales fueron regulados por los embalses de Neusa, Sigsa y Tominé. Un año después, en 1972 inicio la construcción del proyecto de infraestructura más grande en la historia del abastecimiento de agua para Bogotá para aprovechar el potencial hídrico del Páramo de Chingaza (Gallini *et. al.*, 2014)¹⁹.

Es importante mencionar que a pesar de los problemas de abastecimiento que padecía la ciudad, sus habitantes realizaban un derroche en el aprovechamiento de agua, situación que cambio en 1997 cuando ocurrió una nueva crisis de agua, cuya respuesta, a través de la concienciación ciudadana y acción tarifaria, permitió reducir drásticamente el consumo de agua, mientras que para reducir la vulnerabilidad del sistema se construyó el embalse San Rafael Etapa 1 y Etapa 2 bajo el marco del proyecto Bogotá IV, además, este proyecto mejoró el suministro de agua en las zonas altas del suroriente de Bogotá con la construcción de ocho tanques de almacenamiento y la puesta en marcha de la PTAP de El Dorado, que trata parte de las aguas del sistema Tunjuelo (Díaz, 2012).

En lo que respecta a aguas residuales, en 1962 la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá diseñó el Plan Maestro de Alcantarillado²⁰, para atender el problema de desagües pluviales, domiciliarios e industriales, pero los problemas de contaminación persistían, ya que las tuberías de desagües desembocaban directamente en los ríos que atravesaban la ciudad, por lo que empezaron a ser vistos como amenazas para la salud, dando lugar a la canalización y el desvío de estos, los cuales finalmente se transformaron en colectores integrados al sistema de alcantarillado urbano que eliminaban su carga fuera del perímetro urbano cuando llegaban al Río Bogotá (Gallini *et. al.*, 2014).

¹⁸ Los migrantes en frentaron un racionamiento forzado de agua que los obligaba a recurrir a métodos alternativos para conseguir este preciado líquido; carrotanques que vendían agua, transporte en burros con recipientes de agua, pilas públicas (Gallini *Et. al.*, 2014).

¹⁹ Aunque el proyecto Páramo de Chingazá aumentó la oferta de agua, no garantizó el fin del problema de abastecimiento para los habitantes de Bogotá, pues la extensión del acueducto domiciliario fue preferencial hacia los estratos sociales de mayor ingreso, y continuaba ausente en los barrios periféricos de escasos recursos, con la presencia de migrantes que huían del conflicto armado en el campo (Gallini *Et. al.*, 2014).

²⁰ El Plan Maestro de Alcantarillado Consistió en la elaboración de estudios hídricos y un proyecto cuya ejecución, prevista en tres etapas, lograría solucionar el problema de las aguas lluvias y negras en la capital, dado el problema de los altos costos de la obra y el escaso presupuesto, fue la combinación del sistema de aguas lluvias con el de aguas negras, sistema conocido como de cloaca máxima, de modo que las aguas limpias se mezclaban con las aguas negras, aumentando el volumen total de líquido contaminado (Osorio, 2007).

Para concluir, en la segunda mitad del siglo XX Bogotá experimento el mayor crecimiento demográfico desorganizado y con ello una mayor demanda de agua que implicó la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento y construcción de importantes obras de ingeniería hidráulica, como el Proyecto Páramo de Chingazá, sin embargo, esto no garantizo la cobertura del acueducto domiciliario a toda la población. Por otra parte, a pesar de los avances realizados, las aguas residuales representaron un severo problema que se maximizo una vez que los ríos fueron canalizados e integrados al sistema de alcantarillado urbano como receptores de dichas aguas.

Conclusión

Éste capítulo describe las presiones que desde la época prehispánica hasta el siglo XX han ejercido la ciudad de México y la ciudad de Bogotá D.C., sobre los recursos hídricos para proveer de agua a sus habitantes. Si bien, los Aztecas y Muisca supieron aprovechar de manera estratégica la disponibilidad en abundancia de agua, con el arribo de los españoles a pesar de que éste recurso continuó siendo un elemento fundamental en el desarrollo de ambas ciudades, el desconocimiento del medio físico dio lugar a problemáticas de hundimientos e inundaciones que se fueron agravando por el aumento de población y la urbanización.

El apartado contiene información muy valiosa para conocer los cambios y retos en el manejo y aprovechamiento de agua a los que se dio lugar por el crecimiento poblacional y a partir de fenómenos políticos, sociales, económicos y ambientales, que influyeron en la provisión de agua.

En relación con el metabolismo urbano, dichos antecedentes contribuyen de forma significativa, ya que se pueden observar los cambios en la demanda de agua a medida que la población aumentó, los avances en el desarrollo de infraestructura hidráulica para poder llevar agua a las urbes desde lugares remotos derivado de la escasez de agua en fuentes de abastecimiento cercanas, así como los logros y limitaciones que se han tenido respecto al tratamiento de aguas residuales y su reúso.

CAPÍTULO 3. MARCO INSTITUCIONAL DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO Y EN BOGOTÁ D.C.

En el contexto de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), en el presente apartado se describen los principios rectores de la GIRH, los beneficios de su implementación y los asuntos clave en la gestión del agua, así como las normas y políticas vigentes que abordan temas referentes al agua en la Ciudad de México y en Bogotá, D.C. En este apartado se pueden identificar los avances que tanto México, como Colombia han logrado al incluir en sus políticas y programas hídricos el concepto de gestión integrada del recurso hídrico.

3.1 Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

3.1.1 Antecedentes

Ante la urgencia de resolver los problemas hídricos, en 1996 se creó la Asociación Mundial para el Agua para estimular la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) y reemplazar el enfoque tradicional y fragmentado de la gestión del agua, que ha derivado en servicios pobres y uso inadecuado del recurso. La GIRH promueve el desarrollo y manejo coordinado del agua, la tierra y otros recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social equitativo, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas ambientales (Asociación Mundial para el Agua, 2011).

Dicho enfoque se basa en los 4 principios rectores establecidos en la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA) celebrada en Dublín, Irlanda, en enero de 1992.

- Principio1. El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para mantener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.

Se denomina como finito ya que, el ciclo del agua en promedio produce una cantidad fija de agua en un periodo determinado, y puede disminuir a causa de la contaminación producida por el ser humano.

Dado que el agua es un recurso esencial requerido para varios propósitos, funciones y servicios diferentes, la gestión debe ser holística e involucrar la consideración de la demanda del recurso y las amenazas a las que está expuesta, es decir, requiere la coordinación de todos los sectores que generan demanda de agua, determinan el uso de la tierra y generan residuos que contaminan el agua.

- Principio 2. El desarrollo y gestión del recurso hídrico debe fundamentarse en una propuesta participativa, involucrando a usuarios, planificadores y tomadores de decisiones en todo nivel.

El agua es un tema que nos compete a todos, por ello es fundamental la participación de usuarios, planificadores y tomadores de decisión con el fin de promover la descentralización. La participación incluye tomar responsabilidad, reconocer el efecto de las acciones sectoriales en los otros usuarios del recurso hídrico y en los ecosistemas acuáticos, así como aceptar la necesidad de cambio para mejorar la eficiencia del uso del agua y permitir el desarrollo sostenible del recurso.

En este proceso, son los gobiernos quienes deben ayudar a crear la oportunidad y la capacidad de participar, principalmente entre las mujeres y otros grupos sociales marginados, y debe reconocerse que la simple creación de oportunidades de participación no hará nada por los grupos en desventaja, a menos que se mejore su capacidad de participar.

- Principio 3. Las mujeres tienen un papel central en la provisión, gestión y salvaguardia del agua.

En la organización de las instituciones para el desarrollo y gestión del recurso hídrico se ha reflejado el rol múltiple que tienen las mujeres como proveedoras y usuarias del agua y como guardianes del medio ambiente. A pesar de que se ha reconocido el papel clave que desempeñan las mujeres en la recolección y salvaguarda del agua para uso doméstico, y en algunos casos, para uso agrícola, las mujeres tienen menor influencia que los hombres en la gestión, el análisis de los problemas y los procesos de toma de decisiones relacionadas con el recurso hídrico.

Se debe considerar la manera en la que diferentes sociedades asignan papeles sociales, económicos y culturales a hombres y mujeres, ya que, el enfoque de la GIRH requiere el reconocimiento de género, es decir, desarrollar una participación efectiva y completa de las mujeres en todos los niveles de toma de decisiones. En este contexto, la gestión integrada y sostenible del agua contribuye significativamente a la igualdad de género, al mejorar el acceso de hombres y mujeres al agua y a los servicios relacionados con el agua, para satisfacer sus necesidades esenciales.

- Principio 4. El agua tiene un valor económico en todos sus usos competitivos. Debe ser reconocida como un bien económico y además como un bien social.

Se debe reconocer el derecho básico de todos los seres humanos de tener acceso a agua limpia y a saneamiento por un precio accesible, y que la gestión del agua como un bien económico es una manera importante de lograr objetivos sociales como el uso eficiente y equitativo, y la promoción de la conservación y protección del recurso hídrico.

Varios de los fracasos en la administración del recurso hídrico pueden ser atribuidos al desconocimiento del valor del agua como bien común y social. Se debe diferenciar entre valor y precio, pues mientras que el valor del agua en los usos alternativos es importante para la distribución racional del agua como un recurso escaso, ya sea por medios regulatorios o económicos, el cobro de un precio por el agua es la aplicación de un instrumento económico para apoyar a grupos en desventaja, afectar el comportamiento hacia la conservación y el uso eficiente del agua, proveer incentivos para el manejo de la demanda, asegurar la recuperación de costos y detectar la disposición de los consumidores para pagar con el fin de lograr inversiones adicionales en los servicios de agua.

El tratamiento del agua como un bien económico es un medio importante para la toma de decisiones sobre la distribución del agua entre los distintos sectores que utilizan el recurso y entre los diferentes usos dentro de cada sector. Esto es particularmente importante, cuando el aumento del suministro deja de ser una opción factible.

3.1.2 Asuntos clave en la gestión del agua

La Red Internacional para el Desarrollo de Capacidades en la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (2005) plantea que hay 5 asuntos claves en la gestión del agua, los cuales se describen a continuación.

1. Crisis de la gobernabilidad del agua

En la gestión del recurso hídrico la prevalencia de propuestas de tipo sectorial ha conducido al desarrollo y gestión del recurso hídrico de manera fragmentada y sin coordinación, aunado a que la gestión del agua generalmente está a cargo de instituciones jerárquicas, cuya legitimidad y efectividad cada vez es más cuestionada. En este contexto, la GIRH permite la coordinación y colaboración entre los sectores individuales y además promueve la participación de los interesados, la transparencia y la gestión local rentable.

2. Garantizar el agua para las personas

A pesar de que una de las máximas prioridades en la mayoría de los países es la satisfacción de las necesidades básicas humanas de agua, los esfuerzos son insuficientes y mientras que una quinta parte de la población mundial carece de agua potable segura, la mitad de la población mundial no tiene acceso a un saneamiento adecuado, principalmente en los sectores más pobres de la población en países en desarrollo donde el suministro de agua y las necesidades de saneamiento en las áreas urbanas y rurales representa un gran reto para los próximos años.

Por lo anterior, para reducir la porción de la población que carece de agua y de servicios de saneamiento se requiere una reorientación sustancial de las prioridades de inversión, que puede ser alcanzado más fácilmente en los países que implementen la GIRH.

3. Garantizar el agua para la producción de alimentos

El agua se considera una limitante para la producción de alimentos, que puede ser equivalente o más crucial a la escasez de tierras. La irrigación agrícola es la responsable de más del 70% de todas las tomas de agua, y se estima un aumento de 15–20% del líquido en los próximos 25 años para irrigación, situación que puede generar conflictos serios entre el uso de agua para riego, consumo humano y para los ecosistemas.

La GIRH ofrece la posibilidad de mayor eficiencia en el uso; conservación del agua y gestión equitativa de la demanda compartida entre los usuarios del agua y de un aumento de su reúso para suplir el desarrollo de nuevas demandas.

4. Proteger los ecosistemas vitales.

Los ecosistemas terrestres ubicados en las zonas altas de una cuenca son muy importantes para la infiltración del agua de lluvia, la recarga de agua subterránea y los regímenes de flujo de los ríos. Éstos dependen de los flujos de agua, de las variaciones estacionales, de las fluctuaciones de la capa freática y se ven amenazados por una pobre calidad de agua.

La gestión de la tierra y del recurso hídrico debe asegurar la permanencia de todos los ecosistemas vitales y reducir los efectos adversos sobre los recursos naturales, de modo que la GIRH puede contribuir a salvaguardar una “reserva ambiental” de agua que sea proporcional al valor de los ecosistemas para el desarrollo humano.

5. Desigualdades de género

La representación de las mujeres a tenido auge en las instituciones del sector agua, pero son los hombres quienes dominan la gestión formal del agua. Los hombres toman la mayoría de decisiones respecto al suministro de agua y las tecnologías para su saneamiento; sobre la ubicación de los puntos de distribución de agua y sobre la operación y el mantenimiento de los sistemas²¹. La manera en la cual el recurso hídrico es administrado afecta principalmente a las mujeres, las principales interesadas en el agua y el saneamiento del hogar por el papel que desempeñan, y la GIRH señala que hombres y mujeres son capaces de ejercer influencia sobre las decisiones que afectan sus vidas diarias.

3.1.3 Beneficios de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

Beneficios ambientales

- Contemplar las necesidades medioambientales para mantener y resguardar los ecosistemas.
- Informar a los diferentes usuarios del agua sobre las necesidades de los ecosistemas y los beneficios que estos les generan, y contemplarlos en la toma de decisiones.
- El planteamiento del ecosistema provee un nuevo marco para la GIRH, mediante una propuesta sistemática para la gestión hídrica; protección de áreas de captación, control de contaminación y flujos ambientales.

Beneficios para la agricultura

- Impulsa a los planificadores a ver más allá de la economía del sector agrícola y tomar en cuenta las implicaciones de las decisiones de la gestión del agua en el empleo, el medio ambiente y la igualdad social.
- Incluir el potencial de reutilización de los flujos de retorno agrícolas para los otros sectores, la utilización en agricultura de las aguas residuales tratadas.
- Uso sostenible de del agua, la tierra y otros recursos que sean utilizados en el sector agrícola.
- Aumentar la productividad hídrica (más cultivo por gota) dentro de las limitaciones impuestas por el contexto económico, social y ecológico de una región o país en particular.

²¹ La Alianza de Género y Agua, cita el ejemplo de una ONG bien intencionada que ayudó a unos aldeanos a instalar letrinas de vertido y descarga para promover el saneamiento y la higiene, sin consultar primero a las mujeres sobre los dos litros de agua adicionales que tendrían que transportar desde fuentes distantes para cada descarga (Red Internacional para el Desarrollo de Capacidades en la Gestión Integrada del Recurso Hídrico, 2005).

Beneficios del suministro de agua y del saneamiento

- Garantizar el acceso al agua y menores costos de tratamiento.
- Reconocer los derechos de las personas y, particularmente de las mujeres y de los pobres en la repartición equitativa del recurso hídrico para uso doméstico y para usos productivos.
- Promover el reciclaje, la reutilización y la reducción de residuos.
- Mejorar la eficiencia del uso de agua en el ámbito industrial.
- Mejorar la posibilidad de soluciones de saneamiento sostenibles para minimizar la fuente de generación de residuos y reducir la cantidad de desechos producidos.
- Reducción de los costos de suministro de los servicios domésticos de agua.

3.2 GIRH en la Ciudad de México

3.2.1 Legislación del agua

En México, la base de la legislación en materia de agua se encuentra en el artículo 4º, 27º y 115º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

El derecho humano a tener acceso al agua potable y saneamiento quedó establecido en la constitución política a partir del 2012, con la reforma del artículo 4º;

“Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.”

Por su parte, el artículo 27º señala que las aguas son propiedad de la Nación y sienta las bases para que el Estado regule su aprovechamiento sostenible, con la participación de la ciudadanía y de los tres niveles de gobierno. Especifica que la explotación, el uso o aprovechamiento de los recursos se realizará mediante concesiones otorgadas por el Ejecutivo, con base en las leyes.

Mientras que el artículo 115 especifica que los municipios tendrán a su cargo los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado y tratamiento y disposición de sus aguas residuales.

3.2.1.1 Ley Nacional de Aguas

La Ley de Aguas Nacionales es el ordenamiento reglamentario del artículo 27 constitucional en materia de aguas, cuyo objetivo es regular la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas, su distribución y control, así como la preservación de su calidad y cantidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

La Ley define la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos como el proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con éstos y el ambiente, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. Señala que se debe promover la coordinación de acciones con los gobiernos de los estados y municipios de acuerdo al ámbito de sus correspondientes atribuciones, y fomentar la participación de los usuarios del agua y de los particulares en la realización y administración de obras y servicios hidráulicos.

Designa a la Comisión Nacional del Agua como la autoridad en materia hídrica con carácter técnico, normativo y consultivo en materia de gestión integrada de los recursos hídricos, la cual tiene a su cargo integrar, formular y proponer el Programa Nacional Hídrico y vigilar su cumplimiento.

3.2.1.2 Programa Nacional Hídrico 2014 – 2018

El Programa Nacional Hídrico (PNH) 2014-2018 es el documento rector de la política hídrica en México, cuyo fin es lograr la seguridad y sustentabilidad hídrica en nuestro país²². Reconoce al agua como un recurso finito indispensable, promotor del desarrollo sustentable y factor estratégico de seguridad nacional, estabilidad social y política. El documento está conformado por 6 objetivos clave, para nuestro objeto de estudio se hará hincapié en dos de ellos.

- Objetivo 1. Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua.

Para avanzar en la seguridad y sustentabilidad hídrica se debe ordenar el uso del agua en cuencas y acuíferos, modernizar y ampliar la medición del ciclo del agua y promover la mejora permanente del gobierno y gobernanza del agua para incrementar su eficacia vía la participación social y la coordinación inter e intrainstitucional para disminuir el riesgo de conflictos.

²² De acuerdo a la definición de las Naciones Unidas (sin año), la seguridad Hídrica es la capacidad de la población de salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas y de calidad aceptable de agua para sostener los medios de sustento, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, para garantizar la protección contra la contaminación del agua y los desastres relacionados con el agua, y para preservar los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política.

- Objetivo 3. Fortalecer el abastecimiento de agua y el acceso a los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Para cumplir con el derecho humano al acceso de agua suficiente, salubre, aceptable y asequible, se debe ampliar la cobertura de agua potable, alcantarillado y saneamiento básico, y desinfección, fomentar el incremento de las eficiencias y capacidades técnicas, administrativas y financieras de los organismos operadores prestadores de estos servicios y la incorporación, e impulsar acciones para incrementar y mejorar el tratamiento de las aguas residuales.

Para el éxito de este objetivo se requiere la participación conjunta y coordinada de múltiples instituciones de los distintos órdenes de gobierno y la sociedad, de acuerdo a sus atribuciones y ámbito de competencias.

Indicadores

Para dar seguimiento y evaluar los impactos del Programa Nacional Hídrico 2014-2018 hay 8 indicadores, de los cuales 2 son índices.

El indicador del objetivo 1 es el Índice Global de Sustentabilidad Hídrica (IGSH), que mide la forma en que se realiza la gestión de los recursos hídricos para lograr la sustentabilidad en las cuencas y acuíferos del país y garantizar la seguridad hídrica; cantidad de agua disponible y la que se consume por los diferentes tipos de usuarios, la calidad del agua y la administración de los recursos hídricos, éste tiene cuatro componentes que integran 18 variables, como se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Componentes que integran el Índice Global de Sustentabilidad Hídrica (IGSH)

Grado de presión sobre los recursos hídricos	Medición del ciclo hidrológico
<ul style="list-style-type: none"> • Grado de presión sobre el agua superficial por uso agrícola (%). • Grado de presión sobre el agua superficial por uso en abastecimiento público-urbano (%). • Grado de presión sobre el agua superficial por los usos en la industria autoabastecida y termoeléctricas (%). • Grado de presión sobre el agua subterránea por uso agrícola (%). • Grado de presión sobre el agua subterránea por uso en abastecimiento público-urbano (%). 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de estaciones hidrométricas en operación. • Número de estaciones climatológicas operando. • Número de sitios superficiales de medición de la calidad del agua. • Porcentaje de sitios de medición con información completa de los indicadores de calidad del agua superficial.

Calidad del agua	Gestión hídrica
<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de sitios de monitoreo con buena y excelente calidad del agua respecto a DBO5. • Porcentaje de sitios de monitoreo con buena y excelente calidad del agua respecto a DQO. • Porcentaje de sitios de monitoreo con buena y excelente calidad del agua respecto a SST. 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de estaciones de medición automatizada de volúmenes extraídos. Verificación de aprovechamientos de aguas nacionales y bienes públicos inherentes. • Recaudación por organismo de cuenca (millones de pesos). • Porcentaje de acuíferos sin sobreexplotación. Número de cuencas hidrológicas sin déficit.

Fuente: Programa Nacional Hídrico (PNH) 2014-2018.

El indicador de objetivo 3 es el Índice global de acceso a los servicios básicos de agua (IGASA), que permitirá evaluar el impacto de la política hídrica en tres dimensiones: cobertura, calidad y eficiencia, de los servicios agua potable y saneamiento. Dicho índice es evaluado a partir de los siguientes componentes:

Cuadro 14. Componentes que integran el índice global de acceso a los servicios básicos de agua (IGASA)

Acceso a los servicios de agua potable (IAAP)	Acceso a los servicios de saneamiento (IAS)
<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura de agua potable (%) • Cobertura urbana de agua potable (%) • Cobertura rural de agua potable (%) • Agua desinfectada (%) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura de alcantarillado (%) • Cobertura urbana de alcantarillado (%) • Cobertura rural de alcantarillado (%) • Eficiencia de recolección del agua residual generada (%) • Cobertura de tratamiento de aguas residuales municipales (%)

Fuente: Programa Nacional Hídrico (PNH) 2014-2018.

3.2.1.3 Ley de Aguas del Distrito Federal

En 2003 fue publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal la Ley de Aguas del Distrito Federal, con el objeto de regular la gestión integral de los recursos hídricos y la prestación de servicios públicos de agua potable, drenaje y alcantarillado, así como el tratamiento y reúso de aguas residuales.

La Ley en su artículo 5° habla sobre el derecho al acceso de agua para consumo humano y señala que *“Toda persona en el Distrito Federal, tiene el derecho al acceso suficiente, seguro e higiénico de agua disponible para su uso personal y doméstico, así como al suministro libre de interferencia”*.

A su vez, contempla que en la formulación, ejecución y vigilancia de la política de gestión integral de los recursos hídricos, las autoridades deben considerar al agua como un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el ambiente, y debe ser considerado como un bien social, cultural, económico y ambiental. El aprovechamiento y la gestión del agua debe estar basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de la toma de decisiones, además de reconocer el papel elemental que la mujer desempeña en la gestión, ahorro y protección del agua.

Al Sistema de Aguas de la Ciudad de México²³ le corresponde la operación de la infraestructura hidráulica y la prestación de servicios de agua potable, drenaje y alcantarillado, así como el tratamiento y reúso de aguas residuales. Entre sus facultades le corresponde elaborar, ejecutar, evaluar y vigilar el Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, como instrumento rector de la política hídrica.

3.2.1.4 Programa de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PGIRH)

De acuerdo con la Ley de Aguas del Distrito Federal, el objetivo del PGIRH es garantizar los servicios de agua y saneamiento como un derecho humano en cantidad y con calidad a todos los habitantes de la ciudad. Para ello, el SACMEX debe coadyuvar al mejoramiento del manejo del agua y de los servicios de agua potable, drenaje, tratamiento y reúso, mediante la consecución de una sustentabilidad técnica, económica, ambiental y social que cumpla con los estándares de servicio en forma equitativa y eficiente, de acuerdo con la política de desarrollo de la Ciudad de México.

Evaluación del Programa de Gestión Integrada de Recursos Hídricos

El PGIRH y los programas de prestación de servicios de agua potable, drenaje, tratamiento de aguas residuales y reúso, se evalúan conforme al Sistema de Indicadores de Gestión Integral (SIGI), mecanismo que monitorea los avances y resultados de la operación del SACMEX.

La información se analiza para detectar posibles signos de alerta y tomar acciones para contrarrestarlos, así como para la planeación de mejoras de largo plazo en la productividad y calidad de los servicios. Se evalúan además los resultados de las actividades institucionales, en el cumplimiento de las metas programáticas y en el ejercicio de los recursos, con relación al presupuesto autorizado.

²³ Es un órgano desconcentrado de la Administración Pública del Distrito Federal, adscrito a la Secretaría del Medio Ambiente

Los indicadores pueden mostrar y medir el cumplimiento de metas específicas en la gestión, referente a la aplicación de políticas, la administración de recursos y la ejecución de acciones. Los temas que se evalúan son los siguientes:

Eficiencia Global. Se mide la eficiencia del SACMEX, y por medio del índice de eficiencia global CONAGUA otorga una calificación. También se evalúa el Índice de eficiencia comercial, derivado del porcentaje que se recupera de la facturación a usuarios y el Índice de eficiencia física, respecto al porcentaje del volumen de agua vendido o facturado con respecto al volumen producido.

Mejoramiento del servicio de suministro de agua. Se evalúa la eficiencia en el suministro total del agua en bloque por fuentes propias y fuentes federales.

Cobertura de servicios. Referente al porcentaje de cobertura del servicio de agua potable y al servicio de drenaje.

Mejoramiento del servicio y calidad del agua. Por medio de la toma de muestras de agua potable en las diferentes fuentes de abastecimiento se identifica el porcentaje de las muestras que cumplen con la normatividad para ser suministrada a la población, así como, la eficiencia en la atención de reportes por mala calidad de agua potable.

Mantenimiento y mejora del sistema hidráulico de agua potable. La eficiencia en la atención de reportes de fugas en la red y en tomas domiciliarias.

Mantenimiento y mejora del sistema hidráulico de drenaje. Se evalúa la eficiencia en la atención de encharcamientos, el desazolve en la red de drenaje, cauces y almacenamientos, al igual que la atención a drenajes obstruidos.

Mantenimiento y mejora del sistema hidráulico de tratamiento y reúso. Se mide la eficiencia en la atención de faltas de agua potable, la eficiencia en el sistema de tratamiento de agua residual tratada, y la atención a fugas de agua trata.

Mejoramiento del Sistema Comercial. De acuerdo a la toma de lecturas en medidores domiciliarios, se mide el porcentaje de boletas con servicio medido del total de boletas emitidas y la relación entre la recaudación y el total de boletas emitidas.

Cosecha de agua de lluvia. En este último aspecto se contempla el porcentaje de agua cosechada, la cobertura de los cosechadores y el porcentaje de agua tratada que se infiltra al acuífero.

3.3 GIRH en la ciudad de Bogotá D.C.

En la Constitución Política colombiana hay tres artículos de los cuales se desprende que el derecho al agua tiene rango constitucional; el artículo 49 habla de la garantía al saneamiento a cargo del Estado, el artículo 79 determina el derecho a gozar de un ambiente sano, y finalmente, el artículo 366 señala que el mejoramiento de las condiciones de la población puede ser a través de la solución de las necesidades insatisfechas en materia de saneamiento ambiental y agua potable.

De acuerdo a Sutorius y Rodríguez (2015), tales señalamientos no pueden desarrollarse y materializarse sin la presencia del recurso hídrico, sin embargo, no hay un precepto específico que señale de manera puntual el derecho al agua como un derecho individual.

Por su parte, el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, reconoce *“el derecho de todos de disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal o doméstico”*. En Observación General Número 15 en su artículo 11 señala que los *“Estados Partes en el presente Pacto reconocen el derecho de toda persona a un nivel de vida adecuado para sí y su familia, incluso alimentación, vestido y vivienda adecuados, y a una mejora continua de las condiciones de existencia”*.

3.3.1 Leyes

3.3.1.1 Ley 99 de 1993

La Ley 99 de 1993 es la Ley General Ambiental de Colombia²⁴, y establece que en la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso.

Principales normas reglamentarias de la Ley 99 de 1993

- Ley 142 de 1994. Establece que la prestación de servicios públicos domiciliarios debe llevarse a cabo a través de empresas de servicios públicos (E.S.P.) constituidas por acciones y por organizaciones autorizadas en zonas rurales o áreas urbanas específicas. Lo anterior bajo la premisa de que las empresas privadas están en una mejor capacidad de prestar los servicios en cuestión de forma más eficiente y sostenible.

²⁴ A partir de esta se reorganiza la institucionalidad pública encargada de la gestión y conservación ambiental mediante el establecimiento del Sistema Nacional Ambiental (SINA), y se crean entidades tales como el Ministerio del Medio Ambiente, órgano rector de la misma y encargado de dictar los lineamientos de política, planificación, ordenamiento y manejo ambiental; y las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CAR), constituidas como organismos con autonomía administrativa y financiera (González, 2017).

- Lineamientos de Política para el Manejo Integral del Agua. Política pública encaminada a articular el accionar de las instituciones públicas hacia el logro de unos resultados específicos en materia de gestión y manejo del agua en el País.
- Ley 373 de 1997. Establece que todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar de manera obligatoria un Programa para el uso eficiente y el ahorro de agua, es decir, el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico.

El contenido de dicho programa debe estar basado en el diagnóstico de la oferta hídrica de las fuentes de abastecimiento y la demanda de agua, y contener las metas anuales de reducción de pérdidas, las campañas educativas a la comunidad, la utilización de aguas superficiales, lluvias y subterráneas, los incentivos y otros aspectos que definan las autoridades ambientales, las entidades prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado, las que manejen proyectos de riego y drenaje, las hidroeléctricas y demás usuarios del recurso, que se consideren convenientes para el cumplimiento del programa.

También se estipula el reúso obligatorio del agua de origen superficial, subterráneo, o de lluvia en actividades primarias y secundarias cuando el proceso técnico y económico así lo amerite y aconsejen según el análisis socio-económico y las normas de calidad ambiental.

3.3.2 Decretos

3.3.2.1 Decreto número 2811 de 1974

El Decreto número 2811 de 1974 se constituye como el pilar fundamental del marco institucional de la gestión del recurso hídrico en Colombia, éste en su artículo 77 establece las disposiciones para regular el aprovechamiento de las aguas no marítimas en todos sus estados y formas.

Incluye los lineamientos relacionados con la importancia del manejo sostenible del recurso hídrico, los mecanismos de comando y control (concesión de aguas, la reglamentación de corrientes y el permiso de vertimientos) sustentados en la noción del agua como bien de uso público; e instrumentos de planificación (planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas; cobro de la tasa de uso y la tasa retributiva por vertimientos puntuales) entre otros.

3.3.2.2 Decreto número 3930 de 2010

El Decreto número 3930 de 2010 establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados, y aplica a las autoridades ambientales competentes definidas en el artículo 3 del presente decreto, a los generadores de vertimientos y a los prestadores del servicio público domiciliario de alcantarillado.

3.3.2.3 Decreto 485 de 2011

El decreto 485 de 2011 refiere a la adopción del Plan Distrital del Agua “Compromiso de todos” con su respectivo Documento Técnico de Soporte, su vigencia será de 10 años. Estipula que el Distrito Capital debe reconocer una cantidad de agua potable medida en metros cúbicos para asegurar a las personas una subsistencia digna con el fin de satisfacer sus necesidades básicas de salubridad y saneamiento básico.

En materia de coordinación e instrumentos de gestión, el decreto señala que *“Corresponde a la Secretaria Distrital de Hábitat y a la Secretaria Distrital de Ambiente, coordinar el proceso de implementación de las estrategias y proyectos señaladas en el Plan Distrital del Agua, en articulación con las demás políticas sectoriales de orden Distrital, haciendo uso de instrumentos de tipo jurídico, económico, tecnológico, informativo y de comunicación, educativo y de participación social, conforme a la ley y a las consideraciones contenidas en el Plan”.*

3.3.2 Resoluciones

3.3.2.1 Resolución número 2115 de 2007

En esta resolución se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Las características físicas y químicas que debe tener el agua para ser apta para consumo humano; efectos adversos en la salud humana, así como las consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana.

3.3.3 Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico tiene un horizonte de 12 años (2010- 2022). Es el instrumento rector de la gestión integral del recurso que establece los objetivos y estrategias del país para el uso y aprovechamiento eficiente del agua; el manejo del recurso por parte de autoridades y usuarios; los objetivos para la prevención de la contaminación hídrica, considerando la armonización de los aspectos sociales, económicos y ambientales; y el desarrollo de los respectivos instrumentos económicos y normativos.

Su objetivo principal es garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente.

De acuerdo a González (2017), con las directrices planteadas en la política en cuestión el accionar de las instituciones públicas encargadas de la administración ambiental en el país se orienta principalmente hacia el desarrollo y aplicación de acciones que, articuladas con el ordenamiento territorial y la planificación del desarrollo, favorezcan el uso eficiente del agua y prevengan la contaminación de la misma, garanticen su manejo responsable por parte de autoridades públicas y usuarios, contribuyan al perfeccionamiento y aplicabilidad de instrumentos económicos y normativos requeridos para garantizar su cumplimiento, y propicien la construcción de estrategias que faciliten la armonización de los componentes naturales, sociales y económicos del sistema ambiental en aras de que las perturbaciones causadas sobre los ecosistemas no alteren de forma significativa su estructura y procesos naturales.

3.3.4 Normativas relativas a la GIRH en Bogotá, D.C.

3.3.4.1 Acuerdo 347 del 23 de diciembre de 2008

Este acuerdo se establece los lineamientos de la Política pública del agua en Bogotá, D. C., y determina que la Administración Distrital buscará garantizar una cantidad mínima de agua que permita a las personas llevar una vida en condiciones dignas conforme a lo establecido en la Constitución Política y la Ley; así como fomentar la cultura del uso de agua bajo las siguientes directrices: aprovechamiento sostenible, cambio cultural y educativo e incentivos y acciones; adoptar las medidas necesarias para garantizar la disponibilidad, la calidad y la accesibilidad del agua potable a los niños, niñas, infantes y adolescentes en las instituciones educativas del Distrito Capital y los establecimientos que atiendan esta población.

3.3.4.2 Plan Distrital del Agua

El objetivo del Plan Distrital del Agua es Fortalecer los procesos de Gestión Integral del Recurso Hídrico en el Distrito Capital, y establecer los lineamientos para una política pública de la gestión y administración del agua en el Distrito Capital, a fin de recuperar y conservar el equilibrio natural del ciclo hídrico del mismo y asegurar que los habitantes satisfagan sus necesidades actuales sin comprometer las de generaciones futuras.

Tiene como fin garantizar el derecho de este recurso a los ciudadanos de la capital y satisfacer las necesidades básicas de salubridad y saneamiento básico, además del suministro del mínimo vital a la población más vulnerable en los próximos 10 años²⁵. Establece seis estrategias relacionadas con planeación, control, monitoreo, derecho al agua de los niños y jóvenes, gestión del riesgo y educación ambiental, las cuales se desarrollarán en la próxima década y que buscan conservar este recurso (Secretaría Distrital de Ambiente, 2018).

Cuadro 15. Lineamientos de la política pública el agua en Bogotá D.C.

Mínimo vital	Cultura del agua	Lineamientos estratégicos
Garantizar una cantidad mínima de agua a la población	Aprovechamiento Sostenible Cambio Cultural Incentivo y acciones	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia y Ahorro de Agua • Estándares de Calidad • Gestión Integrada del agua con región • Reúso del Agua

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (2011).

En cuanto a gestión del riesgo, la estrategia 6 contempla un Programa Gestión Integral del Riesgo, el cual contempla lo siguiente;

- Incorporar la gestión del riesgo a la disponibilidad y oferta del Recursos Hídricos en los instrumentos de planificación del D.C.
- Diseñar un Plan de contingencia de suministro de agua potable para Bogotá ante el riesgo de desabastecimiento por emergencia.
- Integrar el componente de saneamiento y evacuación de aguas servidas en situaciones de emergencia.
- Mitigar y reducir los riesgos asociados a la oferta hídrica.

3.3.4.3. Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado para Bogotá Distrito Capital

El Plan define como objetivos específicos, entre otros los de "fortalecer las herramientas de planeación y control de gestión del recurso hídrico en el ámbito de la ciudad de Bogotá D.C. y su región de influencia", y "fomentar la identidad, apropiación, pertenencia, participación y solidaridad de la población en relación con

²⁵ En los próximos 10 años, con el Plan Distrital del Agua "Compromiso para todos", el Distrito reconocerá con los primeros 6 metros cúbicos mensuales de agua a cada suscriptor del servicio de acueducto ubicado en suelos residenciales del estrato 1. En pocas palabras no tendrán que pagar por el uso de esta cantidad de agua (Secretaría Distrital de Ambiente, 2018).

la Gestión Integral del Agua en el Distrito Capital", contemplando adicionalmente un enfoque regional para el recurso hídrico.

Conclusión

Tal y como señala González (2017), las normas y políticas brindan las directrices de gestión global del recurso hídrico y crean escenarios y canales de interacción a partir de los cuales se relacionan tanto los interesados en participar de la gestión como los que desarrollan actividades que implican el aprovechamiento del agua.

Bajo esta premisa, en el desarrollo de políticas tanto en México, como en Colombia se ha incorporado el término de Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH) en el Programa Nacional Hídrico 2014-2018 y en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, respectivamente. De tal manera que se ha reconocido el agua como un recurso finito indispensable, promotor del desarrollo sustentable y factor estratégico de seguridad nacional, estabilidad social y política.

Se puede observar que en ambos casos el objetivo es garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, y los servicios de agua y saneamiento en cantidad y con calidad, de ahí la relación con los alcances de los estudios de metabolismo, mediante los cuales se pueden identificar las demandas de la población sobre el agua y las presiones que ejercen las descargas de aguas residuales sobre los sistemas naturales, que sumado a los datos obtenidos a partir del modelo presión – estado – respuesta, pueden contribuir a reconocer áreas de mayor vulnerabilidad y que los tomadores de decisiones implementen acciones para mejorar el manejo de agua y de los servicios de agua potable, drenaje, tratamiento reúso de aguas residuales.

CAPÍTULO 4. METABOLISMO URBANO DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

En el presente capítulo se caracteriza el metabolismo urbano de la Ciudad de México y la ciudad de Bogotá D.C. Pero es preciso señalar que, a pesar de que los estudios de metabolismo urbano contemplan como flujos de entrada; agua, alimentos y energía o combustible, y como flujos de salida; aguas residuales, residuos sólidos y contaminantes atmosféricos. En el presente trabajo únicamente se analizó el agua como flujo de entrada y las aguas residuales como flujo de salida.

Además, se describen aspectos demográficos, económicos, geográficos e inclusive climatológicos de las ciudades, los cuales inciden de forma directa e indirecta sobre la demanda del líquido vital, y por ende, sobre los flujos metabólicos como son; consumo de agua y aguas residuales que se generan en cada una de las urbes.

4.1 Metabolismo urbano de la ciudad de México

La Ciudad de México, antes Distrito Federal, es la entidad federativa sede de los poderes federales y la capital de la República Mexicana (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2013). Se ubica a 2,240 msnm, en el centro sur del país, en la parte sur de la cuenca de México, la cual es un valle extenso de alta montaña y rodeado por montañas de origen volcánico (Sistema de Aguas de la Ciudad de México, 2016). Se localiza en las coordenadas latitud norte 19°25'42" y Longitud Oeste 99°07'40". La entidad colinda al norte, este y oeste con el Estado de México y al sur con el Estado de Morelos.

La capital es la región más grande y el principal centro político, económico, científico y cultural del país, se divide en 16 delegaciones - Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuajimalpa de Morelos, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan, Venustiano Carranza y Xochimilco - y cuenta con una superficie de 1,495 km². El clima es templado subhúmedo, principalmente, con una temperatura media anual de 16 grados centígrados, y una precipitación total anual que varía entre 600 y 1,200 mm (Secretaría de economía, 2017).

Imagen 11. Croquis de Ubicación de la Ciudad de México

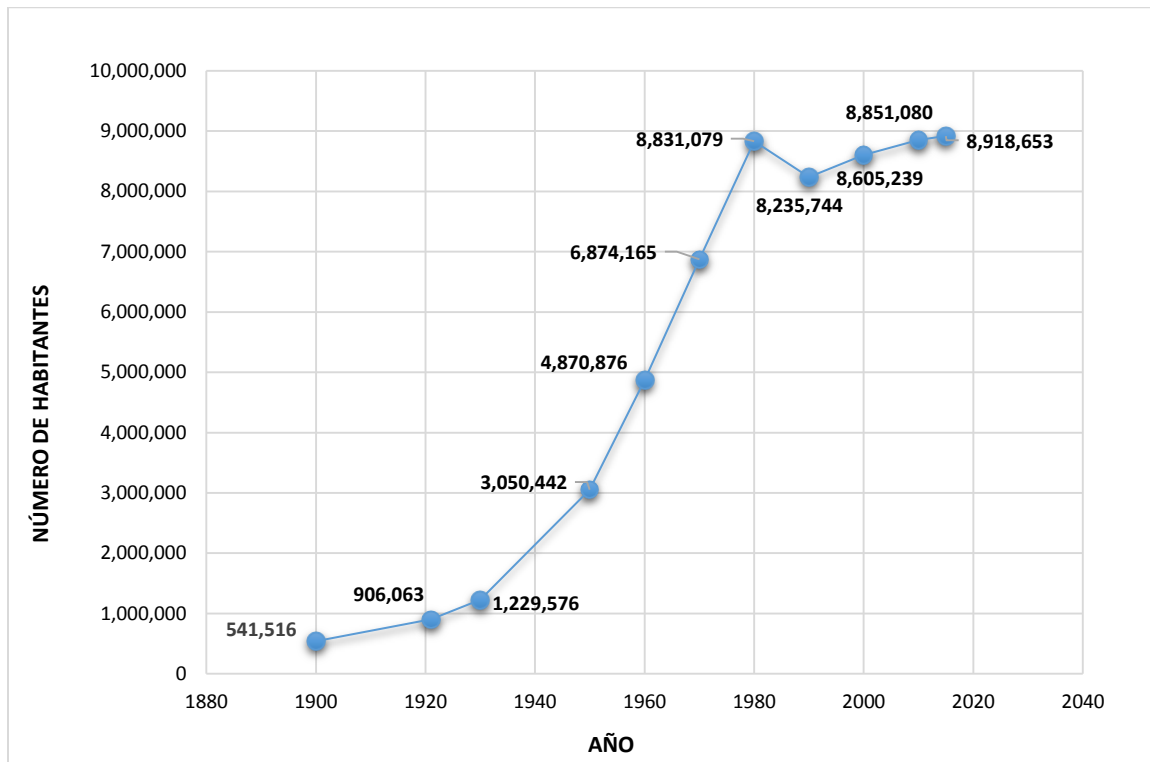


Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la dinámica de población, el crecimiento demográfico más considerable se dio entre 1950 y 1970, al alcanzar los 6, 874,165 millones de habitantes, pero a partir de 1980 se registró un crecimiento más controlado.

De acuerdo a los datos de la Encuesta Intercensal 2015, la población total en la capital mexicana es de 8, 918, 653 habitantes, siendo las delegaciones de Iztapalapa y Gustavo A. Madero las más pobladas, con 1, 827, 868 y 1, 164, 477 habitantes respectivamente. Mientras que Cuajimalpa de Morelos y Milpa Alta son las de menor número de habitantes.

Gráfica 1. Crecimiento de la población en la Ciudad de México
 Periodo 1900 – 2015



Fuente: INEGI. Censos de población 1900-2010., INEGI. Encuesta Intercensal 2015.

En cuanto al sistema productivo, según datos de la Secretaría de Desarrollo Económico (2017), en la Ciudad de México hay un total de 465,565 unidades económicas, de las cuales el sector comercio es el de mayor preponderancia con 48.22% (224,475), seguido de los servicios de alojamiento temporal y preparación de alimentos y bebidas (11.7%) y la industria manufacturera (7.2%). La mayoría de estas unidades económicas se ubican en Iztapalapa (17.38%) y Cuauhtémoc (15.83%), por el contrario, en Cuajimalpa de Morelos (1.67%), Magdalena Contreras (1.50%) y Milpa Alta (1.41%) tienen menor presencia.

El sistema productivo anteriormente descrito contribuyó a que en el año 2016, la Ciudad de México tuviera una participación del 17.47% en el Producto Interno Bruto Nacional, reflejado en 2,974,071 millones de pesos (INEGI, 2017). Sin embargo, esta riqueza se distribuye de forma inequitativa, y se refleja en los indicadores de bienestar del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2017) que indican que en 2016 el 25.8% de la población se encontraba en situación de pobreza, y un 1.8% en pobreza extrema.

Dado que el 34.5% de la población tiene un ingreso laboral inferior a la línea de bienestar mínimo, la desigualdad entre la distribución de ingresos se puede identificar mediante el coeficiente de Gini, que para el año 2014 fue de 0.507, cuya interpretación destaca a la capital mexicana como la sexta entidad más desigual del país, superada por Puebla (0.572), Chiapas (0.517), Oaxaca (0.513), Yucatán (0.511) y Zacatecas (0.507) (CONEVAL, 2014).

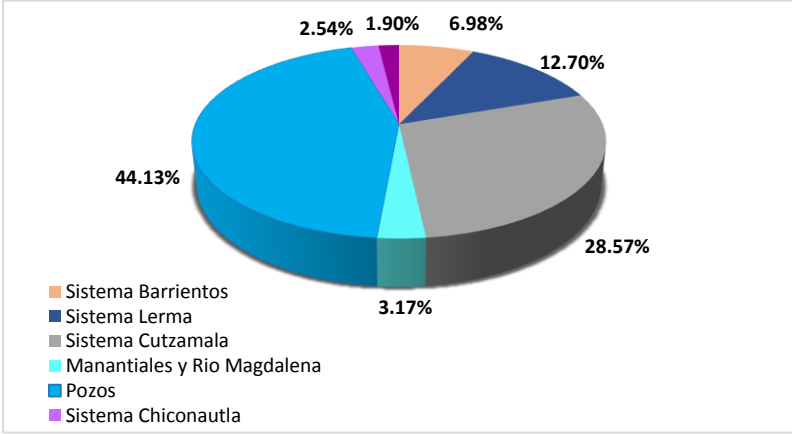
La ciudad ha experimentado fenómenos políticos y sociales que durante el siglo XX fueron detonantes del crecimiento demográfico y la expansión urbana, dando lugar al incremento en la demanda de servicios. Además, a pesar de que es la extensión territorial más pequeña del país, concentra la mayor cantidad de habitantes y aporta el mayor porcentaje de Producto Interno Bruto en México (17.47%).

4.1.1 Abastecimiento de agua en la ciudad de México

Para atender la demanda de agua potable de los habitantes de la Ciudad de México se suministra un caudal promedio de 31.5 m³/s (Consejo Técnico Consultivo de la Comisión de agua potable y saneamiento de la LXII Legislatura, 2013), dicho abastecimiento incluye una compleja estructura administrativa en la que interactúa la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX).

La principal fuente de abastecimiento proviene de pozos ubicados en el acuífero denominado Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCDMX), que aportan un caudal de 13.9 m³/s, mientras que, la segunda fuente más importante es el Sistema Cutzamala, el cual provee un caudal de 9 m³/s (Consejo Técnico Consultivo de la Comisión de agua potable y saneamiento de la LXII Legislatura, 2013).

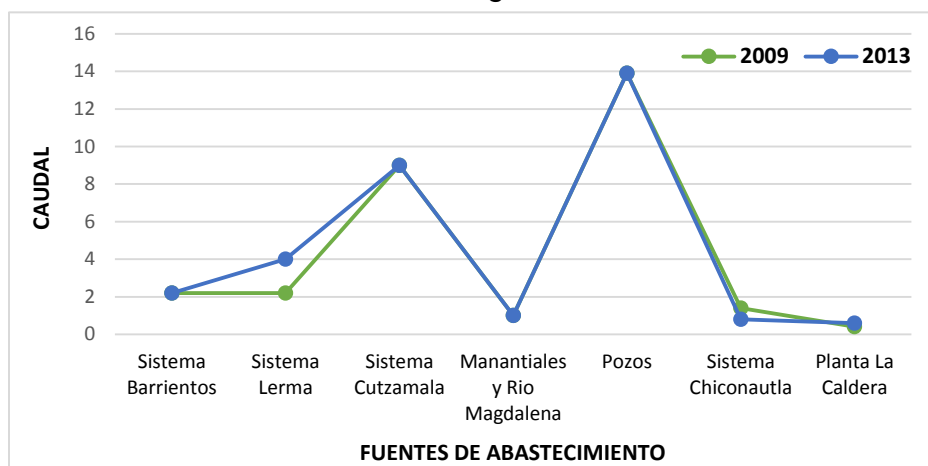
Gráfica 2. Suministro de agua potable a la Ciudad de México



Fuente: Consejo Técnico Consultivo de la Comisión de Agua Potable y Saneamiento de la LXII Legislatura (2013).

En los últimos años la mayoría de los sistemas de abastecimiento han mantenido constante el caudal que aportan, únicamente se han observado cambios en tres de ellos. De 2009 a 2013, el Sistema Lerma aumento en 2 m³/s su aporte, la Planta La Caldera aumentó 0.2 m³/s y el Sistema Chiconautla disminuyó su caudal 0.6 m³/s.

Gráfica 3. Cambios en el caudal que aportan los sistemas de abastecimiento de agua



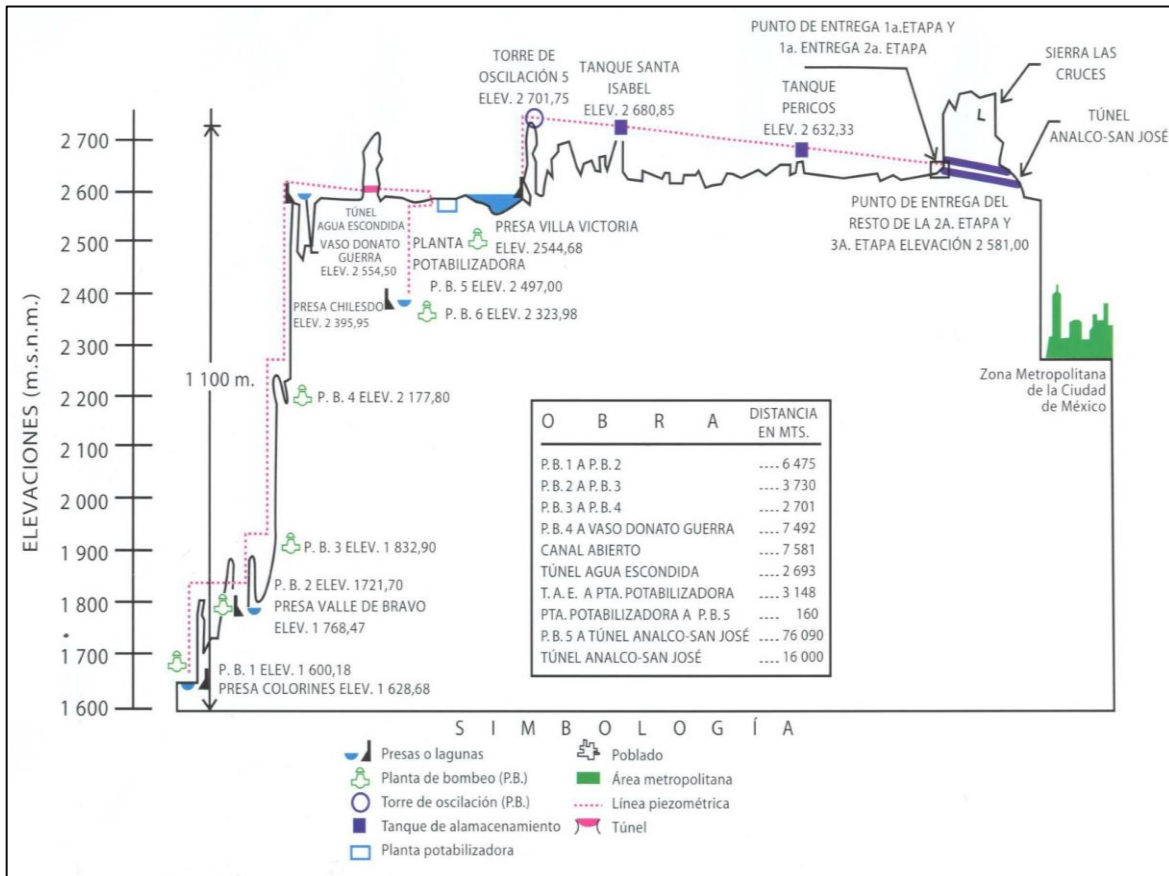
Fuente: Consejo Técnico Consultivo de la Comisión de Agua Potable y Saneamiento de la LXII Legislatura (2013). Sistema de Aguas de la Ciudad de México SACM (2009).

De acuerdo a Escolero, *et. al.*, (2016), en la zona urbana de la Ciudad de México hay un total de 549 pozos – los de mayor profundidad entre los 500 y 600 metros - operados por el SACMEX. Sin embargo, con la finalidad de lograr un mayor abastecimiento de agua potable y como alternativa para frenar la sobreexplotación de las aguas del manto acuífero que están a menor profundidad, a finales de 2017 se inauguró un sistema de pozos profundos²⁶ que ha sido catalogado como una de las obras hidráulicas más trascendentes, y consistió en la perforación de pozos a más de 2 kilómetros de profundidad (Presidencia de la Republica, 2017).

Por su parte, el Sistema Cutzamala, la fuente de agua superficial más importante, se considerada una de las mayores obras de ingeniería en el mundo. Aprovecha el agua de la cuenca alta del río Cutzamala, y está conformado por siete presas: Tuxpan y El Bosque, en Michoacán; Colorines, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Villa Victoria y Chilesdo, en el Estado de México (CONAGUA, 2005) y la planta potabilizadora Los berros.

²⁶ El primero en ponerse en operación fue el pozo Santa Catarina 3-A, ubicado en el interior del Vivero Nezahualcóyotl en la delegación Xochimilco y abastece de agua a la delegación de Iztapalapa con 125 litros por segundo (Presidencia de la Republica, 2017).

Figura 6. Perfil del Sistema Cutzamala



Fuente: CONAGUA (2017).

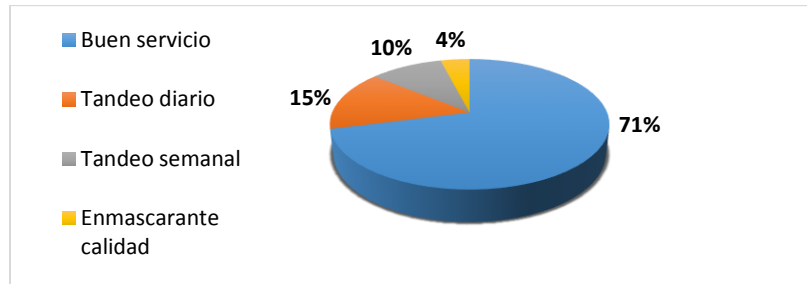
El Sistema cuenta con 6 plantas de bombeo que emplean 2,280 millones de kilowatts – la misma energía que consume la ciudad de Puebla – cada hora, las bombas elevan el líquido desde una altura de 1,600 msnm en su punto más bajo hasta los 2,702 msnm en su punto más alto²⁷. Cuenta con más de 330 km de canales abiertos, túneles y acueductos, equivalente a la distancia entre la ciudad de México y Acapulco (CONAGUA, 2017), y recorre aproximadamente 127 kilómetros, en tuberías de 6 metros de diámetro de distancia, para conducir el agua hasta su punto final, extendiéndose por las entidades de Michoacán, Estado de México y Ciudad de México (Sistema de Aguas de la Ciudad de México, 2016).

²⁷ El agua es elevada a más de 1,100m desde Michoacán hasta el Valle de México (CONAGUA, 2017).

4.1.1.1 Consumo de agua

En el año 2015 de acuerdo a los resultados de la encuesta intercensal INEGI, 2015, el 90.6% de las viviendas particulares contaba con el servicio de agua potable entubada. Por su parte, el Sistema de Aguas (2016) menciona que los servicios de agua se dividen en; buen servicio, tandeo diario, tandeo semanal y agua de calidad deficiente²⁸.

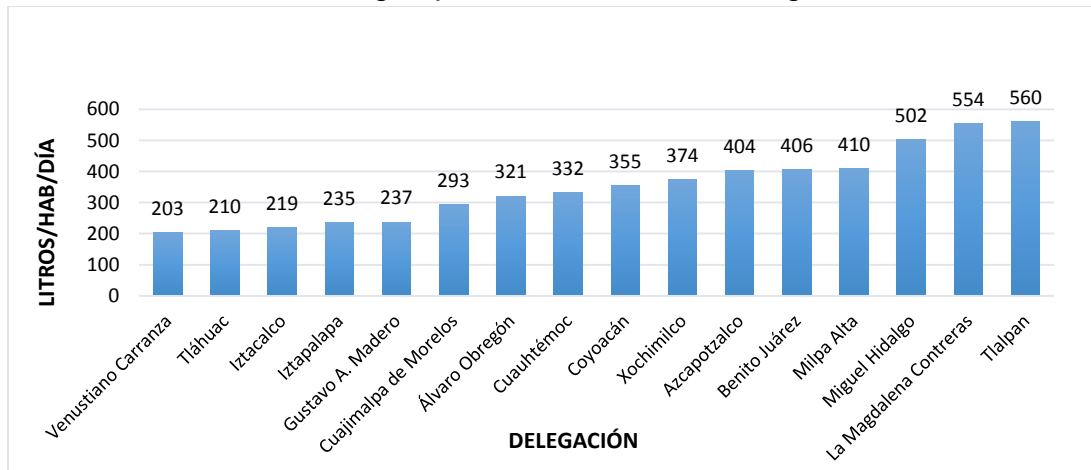
Gráfica 4. Situación del servicio de agua



Fuente: SACMEX (2013).

Por otra parte, en cuanto a la cantidad de agua para cada habitante, la SEDEMA (2016) manifiesta que en promedio la disponibilidad de agua para cada capitalino es de 320 litros por día²⁹, sin embargo, la dotación promedio de agua por parte del SACMEX en las delegaciones es de 350 litros por habitante al día.

Gráfica 5. Consumo de agua por habitante en las delegaciones de la CDMX



Fuente: SEDEMA (2016).

²⁸ Buen servicio: Población con servicio continuo de agua potable. Tandeo diario: Servicio diario con buena presión 8 h al día en promedio. Tandeo semanal: Suministro de uno a dos días por semana. Enmascarante calidad. Por aquellos sectores que reciben agua de calidad deficiente (SACMEX, 2013)

²⁹ Esta cifra es casi el doble de lo que utilizan los habitantes de países como Alemania y Francia, quienes consumen alrededor de 150 litros al día para sus actividades cotidianas (SEDEMA, 2016).

En la operación real la distribución de agua por delegación es desigual, tal es el caso de los habitantes de Venustiano Carranza, quienes reciben 203 litros de agua cada día, en tanto que los de Tlalpan más del doble, entre 560 litros por día³⁰. Ambas cantidades, en especial la segunda, supera por mucho la sugerida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), cuya recomendación es de 100 litros, cantidad de agua suficiente para el uso doméstico y personal que permite hacer cumplir el derecho de todo ser humano al agua, como lo estableció la Asamblea de las Naciones Unidas en 2010.

4.1.1.2 Potabilización

De acuerdo a información del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2016), para mejorar la calidad del agua abastecida se realizan estudios y análisis que permitan identificar la presencia de elementos y compuestos químicos como el hierro y el manganeso en el agua subterránea que se extrae en algunas áreas de la CDMX y que impiden que el líquido sea apto para el consumo humano, por ello en los últimos años se invirtieron 1,105 millones de pesos para construir 18 plantas potabilizadoras³¹. (Ver cuadro 16. Plantas potabilizadoras en CDMX).

De ahí que, en 2015 el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación de la CONAGUA reportó un total de 47 plantas instaladas en la Ciudad de México, con una capacidad de potabilización de 3,370 Lt/s.

Cuadro 16. Plantas potabilizadoras en la CDMX

Lugar	No. de Plantas	Capacidad Instalada (l/s)	Capacidad Potabilizado (l/s)
Ciudad de México	47	4,999.0	3,370.0

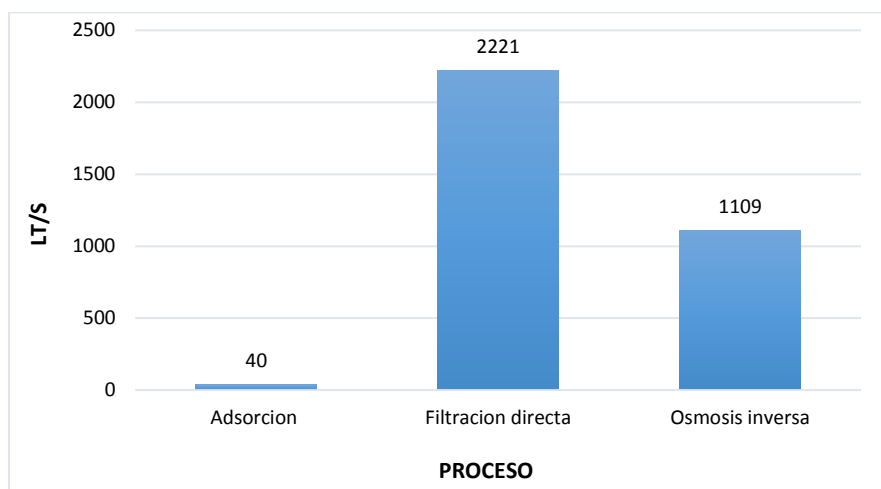
Fuente: CONAGUA (2015).

Del total de agua potabilizada, el 65.91% se potabiliza en 25 plantas mediante el proceso de filtración directa, el 32.91% en 21 plantas a través de osmosis inversa y el restante 1.19% en una planta que utiliza el proceso de adsorción.

³⁰ Las zonas residenciales registran el consumo más elevado, alrededor de 567 litros por habitante al día (Navarro, 2017).

³¹ La mayor parte de las plantas de potabilización se construyeron en la delegación Gustavo A. Madero (Jardines del pedregal 5, Deportivo Los Galeana, Panamericana, La Pastora, Avenida del Castillo) e Iztapalapa (El Sifón, Santa Catarina 8 y 9, Santa Catarina 10, Santa Catarina 13, Acueducto Santa Catarina, Xaltepec, San Lorenzo Tezonco, La Caldera), quienes presentan los mayores problemas en la calidad de agua suministrada.

Gráfica 6. Procesos de potabilización



Fuente: CONAGUA (2015).

4.1.1.3 Pago del servicio de agua potable

En cuanto al pago por el servicio de agua potable, el artículo 172 del Código Fiscal del Distrito Federal (2015) establece que “*los usuarios del servicio, están obligados al pago de los Derechos por el suministro de Agua que provea el Distrito Federal*”, de acuerdo a la ubicación del inmueble donde se encuentre la instalación de agua, misma que va en función del tipo de manzana, según el tipo de consumo (domestico, mixto, no domestico) y de acuerdo al subsidio otorgado.

En este contexto, la forma en la que se determina el tipo de manzana - popular, baja, media y alta - va en función de su nivel de desarrollo, así, el Índice de Desarrollo (ID) del que deriva la clasificación estratificada de tarifas de agua se basa en las siguientes características socio-territoriales:

1. Indicador de desarrollo social (marginación) IDS por manzana.
2. Indicador de ingresos I.
3. Indicador del patrimonio IP.

Con lo anterior se denota que se trata de un índice integrado que permite clasificar el nivel de desarrollo urbano que tienen las manzanas de la ciudad, ya que, cada manzana posee características urbanas y sociodemográficas distintas, para el caso del agua, el ID permite aplicar las tarifas diferenciadas para la población (SACMEX, 2018).

En cuanto a las tarifas, conforme al Código antes mencionado, las tarifas por m³ de agua varían según el tipo de consumo. De tal modo que, en el consumo de uso doméstico el m³ sin subsidios tiene un precio de \$ 28.72 (1.55 USD), mientras que, al aplicar dichos subsidios, la cantidad a pagar disminuye en gran medida. Por su parte, en el consumo de uso no doméstico, sin subsidio el precio por m³ es de \$43.15 (2.33 USD) y de \$ 16.86 (0.91 USD) con subsidio. Y finalmente, en el consumo de tipo mixto el precio es de \$ 43.08 (2.33 USD).

Cuadro 17. Uso doméstico y Uso mixto, precio por m³

Precio	Tipo de uso									
	Doméstico					Mixto				
	Sin Subsidio	Subsidio Popular	Subsidio Baja	Subsidio Media	Subsidio Alta	Sin Subsidio	Subsidio Popular	Subsidio Baja	Subsidio Media	Subsidio Alta
MXN	28.72	2.5	2.83	9.37	11.24	43.08	3.75	4.246	14.05	16.86
USD	1.555	0.135	0.153	0.51	0.608	2.33	0.2	0.23	0.76	0.91

Fuente: Código Fiscal del Distrito Federal.

Esta situación demuestra que, si al agua que llega a la capital se le quitaran los subsidios y en cambio, se le sumaran los costos de operación que implica llevar agua desde fuentes externas, en el caso de los usuarios de uso doméstico, tendrían que pagar hasta \$ 28.72 (1.5 USD) por cada m³, al igual que en los de uso no doméstico y mixto, las tarifas a pagar se elevarían por mucho. A pesar de los subsidios que se otorgan, del total de usuarios registrados en el padrón, cerca del 45% no pagan su consumo - más de 934 mil usuarios* -. De acuerdo a los tipos de consumo, los deudores se dividen en: a) 39.3 Domésticos, b) 2.4% No doméstico y c) Mixto 3.3%. Lo cual influye en los recursos con los que se dispone para dar mantenimiento a la red hidráulica, las plantas de bombeo, rebombeo, potabilizadoras y de tratamiento, además de obras nuevas para agua potable y drenaje (SEDEMA, 2016).

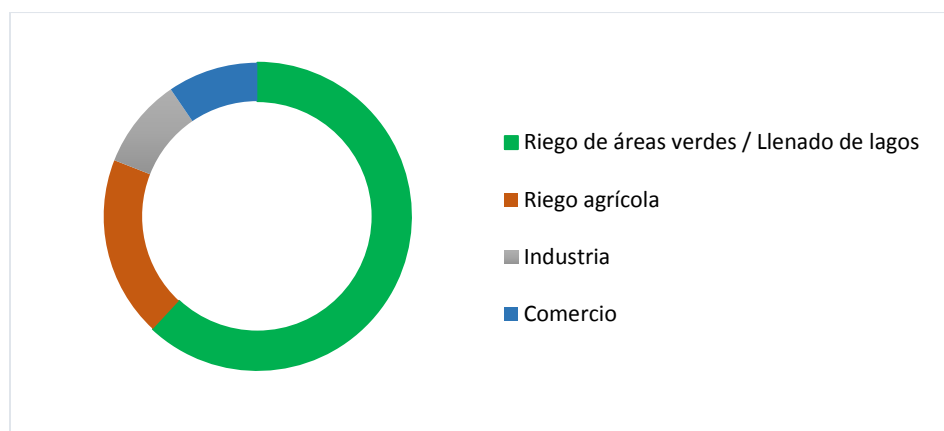
4.1.1.4 Aguas residuales

De acuerdo a datos del INEGI, en 1990 la cobertura de población con acceso a alcantarillado fue de 93.30%, y posterior a esto durante los años 2000, 2005 y 2010 el porcentaje de cobertura alcanzada fue de 97.70%, 98.90% y 99.20%, respectivamente. Por el contrario, para el año 2015 de acuerdo a los resultados de la encuesta intercensal del INEGI 2015, el 94.10% de las viviendas particulares disponía de drenaje conectado a la red pública, el restante 5.9% carecía de dicho servicio.

Por su parte, el SACMEX (2016) indica que en los últimos años se han invertido más de 7,422 millones de pesos en obras para el desalojo de las aguas residuales y pluviales³², con el fin de mejorar su recolección, tratamiento y disminuir inundaciones y encharcamientos derivados del gradual hundimiento debido a la baja capacidad de recarga y la sobreexplotación de los mantos acuíferos.

En cuanto al tratamiento de aguas residuales, los casi 8.9 millones de habitantes capitalinos generan un caudal de 22.51 m³/s de agua residual y de éstos tan sólo 3.34 m³/s son sometidos a procesos de tratamiento, es decir, del 100% de agua residual que genera la ciudad, el SACMEX únicamente puede tratar el 15% en sus 25 plantas de tratamiento. A su vez, del agua tratada, el 65% (2,17 m³/s) se destina para riego de áreas verdes, el 20% (0.67 m³/s) para riego agrícola, el 10% (0.33 m³/s) para industria y el restante 5% en el comercio (SEDEMA, 2016).

Gráfica 6. Usos del agua residual

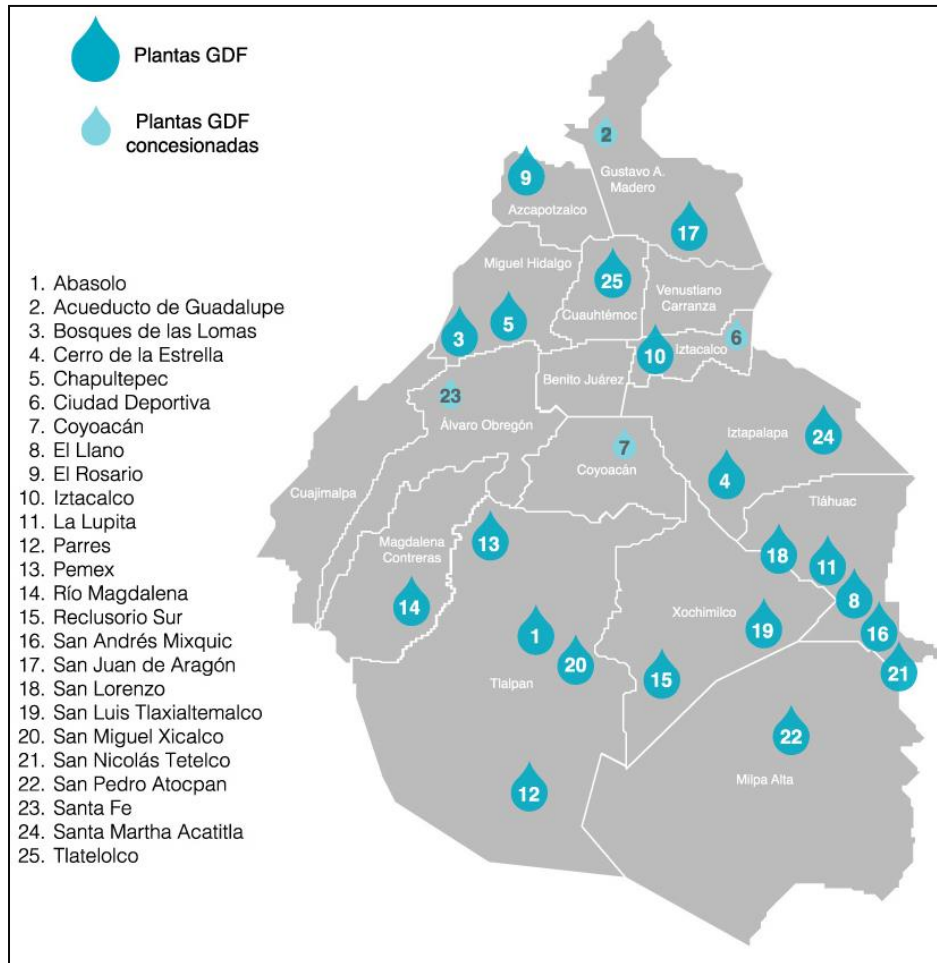


Fuente: SEDEMA (2016).

El restante del agua servida (85%), escurre hacia el estado de Hidalgo, que por efectos de jurisdicción trata el agua. Es importante, recalcar la jurisdicción en el tratamiento del agua residual, ya que, el estado de Hidalgo es receptor de la mayor parte de agua residual proveniente de la CDMX, y por ende, el que en su mayoría da tratamiento a dichas aguas, para uso de riego en cultivos.

³² Se ha invertido en la construcción y rehabilitación de plantas de tratamiento, construcción y rehabilitación de líneas de agua tratada, desazolve de presas, lagunas, ríos y canales, construcción y rehabilitación de colectores, construcción y rehabilitación del drenaje profundo, reforzamiento de bordos, automatización de presas, obras de toma, canales, lumbreras y estaciones pluviométricas.

Imagen 12. Ubicación de las Plantas de tratamiento de aguas residuales

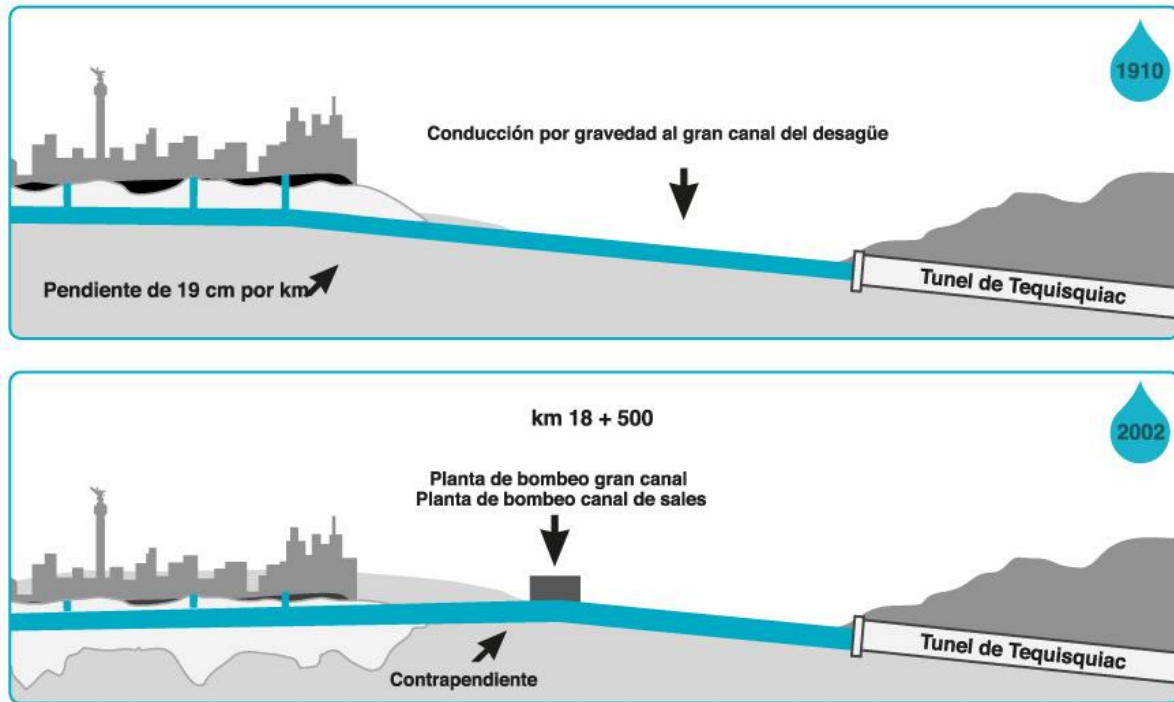


Fuente: SEDEMA

Sumado a la problemática de aguas residuales, a raíz del hundimiento constante de la urbe y las inundaciones, se ha tenido que optar por medidas como la construcción de diques para confinar las aguas pluviales y realizar prácticas de bombeo para elevar el agua del drenaje subterráneo al nivel del Canal de Desagüe*, de ahí que se hayan invertido alrededor de 2,307 millones de pesos en la construcción y rehabilitación de plantas de bombeo de aguas negras. Al verse afectada la capacidad de conducción del Canal antes mencionado, en 1962 se dio paso a la construcción del Túnel Emisor Poniente³³, y el desarrollo de un drenaje alternativo, hoy conocido como el Sistema de Drenaje Profundo, compuesto por un Emisor Central y nueve interceptores, con una longitud total de 153.3 kilómetros.

³³ Tiene una longitud aproximada de 15 kilómetros y que hasta la fecha conserva su capacidad de diseño de 30 m³/s.

Imagen 13. Comparativo del desalojo de agua residual en la CDMX 1910 – 2002



Fuente: SEDEMA (2010).

Otro acontecimiento importante tuvo lugar en 2008, año en que el SACMEX inicio la construcción del Túnel Emisor Oriente (TEO)³⁴, para duplicar la capacidad del drenaje, con una longitud de 62 kilómetros y 7 metros de diámetro.

4.2 Metabolismo urbano de Bogotá D.C.

Bogotá D.C., capital de la República de Colombia y del Departamento de Cundinamarca, está ubicada en una meseta de la Cordillera Oriental de los Andes a 2,640 msnm, limita al norte con la Sabana hasta el municipio de Chía y Sopó; al sur con las estribaciones del páramo de Sumapaz; al occidente con el río Bogotá y al oriente con los cerros Guadalupe y Monserrate. Se localiza en las coordenadas Latitud Norte: 4°35'56" y Longitud Oeste de Greenwich: 74°04'51". Es la ciudad más grande del país y una de las áreas de mayor crecimiento, no solo en Colombia sino en América del Sur (Secretaría Distrital de Hacienda, 2013), con una extensión (urbana y rural) de 1776 Km² (Díaz, 2011).

³⁴ En junio de 2013 inició la operación del primer tramo (10 km.), en conjunto con la planta de bombeo el Caracol, con esto se incrementará la capacidad de desalojo del Gran Canal de Desagüe en 2018 y funcionarán con los restantes 52 km, que actualmente están en construcción. El TEO podrá conducir en promedio 150 m³/s. Iniciará en la segunda lumbrera del túnel Interceptor del Río de los Remedios y continuará hasta su descarga total en el río El Salto, cerca del actual portal de salida del Emisor Central, en Tula Hidalgo.

La ciudad se ubica en una sábana de origen fluvio-lacustre con depósitos de limo, arcilla y arena, está rodeada al oriente y al sur por una cadena montañosa que constituye una divisoria con la cuenca del río Orinoco. Como en el resto de la zona andina, presenta un régimen bimodal de lluvias con precipitaciones medias entre los 800 y 900 milímetros anuales, que, desde su fundación y durante las épocas colonial y republicana permitió contar con una escorrentía suficiente para atender las necesidades de abasto de agua de la población (Díaz, Marín y Silva, 2016).

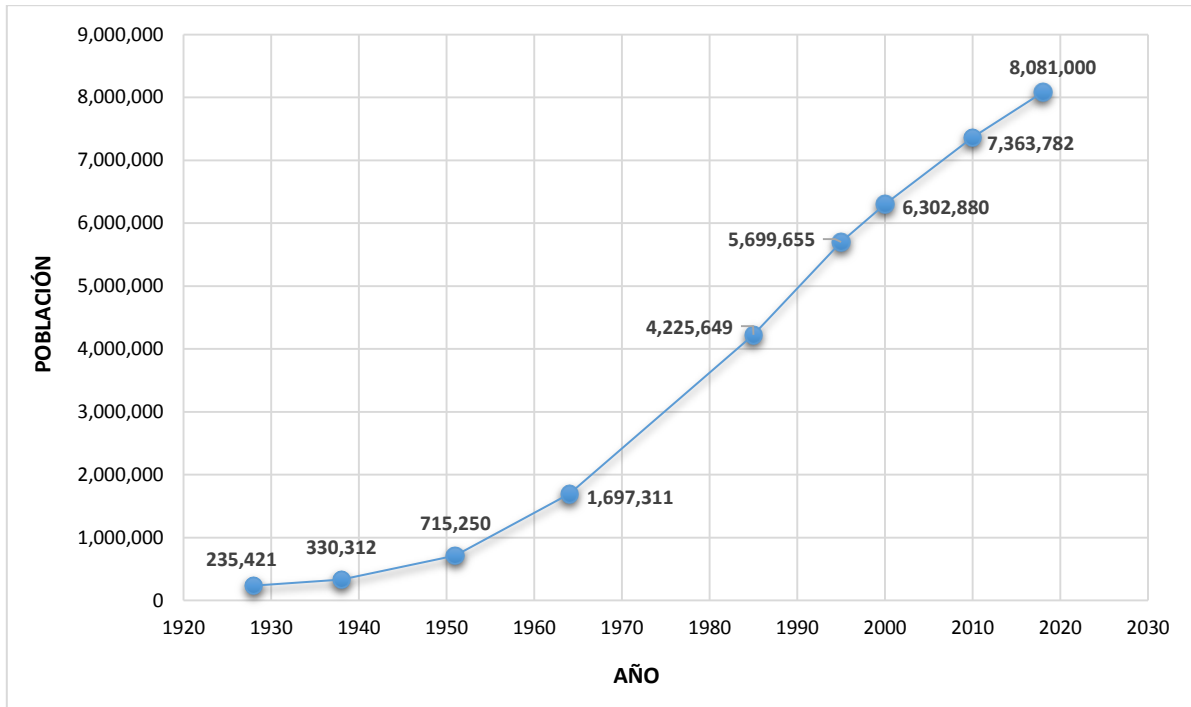
Imagen 14. Croquis de Ubicación de Bogotá D.C.



Fuente: <https://sites.google.com/site/handmadeculturecolombia/bogota>

En cuanto a la dinámica de población, el mayor crecimiento demográfico se logró a partir de la segunda mitad del siglo XX, atribuido a la migración acaecida luego del acontecimiento denominado Bogotazo (Díaz, 2011).

Gráfica 7. Crecimiento de la población en Bogotá D.C.
Periodo 1905 – 2018



Fuente: Vargas & Zambrano (1988), DANE (2018).

Actualmente, la capital colombiana tiene una población de 8, 081,00 habitantes (DANE, 2018), la ciudad se encuentra dividida territorialmente en 20 localidades que se agrupan en 6 grandes zonas de acuerdo a condiciones socioeconómicas semejantes. Estas son:

- Zona Norte: Usaquén, Chapinero, Suba.
- Zona Noroccidental: Fontibón, Engativá, Barrios Unidos y Teusaquillo.
- Zona Centro: Santa Fe, Los Mártires y La Candelaria.
- Zona Centro Occidental: Kennedy, Puente Aranda y Antonio Nariño.
- Zona Sur Occidental: Tunjuelito, Bosa y Ciudad Bolívar.
- Zona Sur: San Cristóbal, Rafael Uribe, Usme, Sumapaz.

Lo anterior es importante ya que, en Colombia la estratificación socioeconómica permite clasificar a la población en distintos estratos o grupos de personas con características sociales y económicas similares, a través del examen de las características físicas de sus viviendas, el entorno inmediato y el contexto urbanístico o rural de las mismas, de tal forma que los municipios y distritos pueden tener entre uno y seis estratos, dependiendo de la heterogeneidad económica y social de sus viviendas (SDP, 2018).

Dicha estratificación se emplea para realizar el cobro de los servicios públicos domiciliarios, focalizar programas sociales y determinar tarifas del impuesto predial unificado de las viviendas (Instituto de Estudios Urbanos, 2015).

En este contexto, Bogotá D.C., se clasifica en seis estratos³⁵, a partir de lo cual, se realiza el cobro diferencial de los servicios públicos domiciliarios, recaudando la contribución de los estratos superiores para otorgar subsidios³⁶ a los sectores menos favorecidos de la población, de manera que, quienes tienen más capacidad económica pagan más por los servicios públicos y contribuyen para que los estratos bajos puedan pagar sus facturas (DANE, 2018).

Respecto a la predominancia de los estratos en la ciudad, el estrato 1 y 2, predomina en las localidades de Ciudad Bolívar, Sumapaz, Kennedy, Usme, Rafael Uribe, Bosa, Tunjuelito, La Candelaria, Santa Fe, San Cristóbal, el estrato 3 y 4 en Engativá, Los Mártires y Barrios Unidos, Puente Aranda, Antonio Nariño, Fontibón y Teusaquillo, mientras que los estratos 5 y 6 prevalecen en la zona norte en Usaquén, Chapinero y Suba (SDP, 2013).

Desde la perspectiva económica, según datos de la Base del Registro Mercantil de la Cámara de Comercio de Bogotá. En Bogotá se encuentran registradas 706,324 empresas³⁷, de las cuales el 31.2% (220,401) pertenece al sector de comercio, el 13.0% (92,171) a servicios profesionales, el 12.9% (91,136) a industria y el 7.6% (53,977) a los sectores de alojamiento y alimentación, siendo estos los de mayor preponderancia (SDP, 2017). Dicho sistema productivo coadyuvó a que durante el 2016 Bogotá lograra una participación del 26.57% en el Producto Interno Bruto nacional, reflejado en 143,949 miles de millones (DANE, 2016). No obstante, esta riqueza se distribuye de manera inequitativa, por lo que no ha logrado mejorar la calidad de vida ni el nivel de bienestar de la población (Díaz, 2011), ya que el 9% de ésta tiene al menos una necesidad básica insatisfecha³⁸ (DPN, 2015).

³⁵ Los estratos son: 1. Bajo-bajo, 2. Bajo, 3. Medio-bajo, 4. Medio, 5. Medio-alto, 6. Alto (SDP, 2013).

³⁶ El subsidio es un descuento sobre el valor de la factura, de manera que el usuario paga menos de lo que cuesta realmente el servicio. Los usuarios de los estratos bajos son beneficiarios de una ayuda a través de subsidios para el pago del suministro de los servicios públicos, de la siguiente manera: ESTRATO 1: Hasta un 50% del consumo. ESTRATO 2: Hasta un 40% del consumo. ESTRATO 3: Hasta un 15% del consumo (Instituto de Estudios Urbanos, 2015).

³⁷ Las localidades con mayor número de empresas registradas en Bogotá son Suba (12,3%), Usaquén (10,3%), Kennedy (10,2%), Chapinero (9,9%) y Engativá (9,5%), que representan el 52,1% de las empresas de la ciudad (SDP, 2017).

³⁸ Las Necesidades Básicas Insatisfechas se construye de 5 variables relacionadas con las condiciones materiales de la vivienda, el acceso a servicios básicos (acueducto y alcantarillado), asistencia a una institución educativa de los menores en edad escolar, dependencia económica de los miembros del hogar respecto de aquel que trabaja, y hacinamiento crítico en la vivienda (Bernal, 2017).

El 11.6% de la población se encuentra en situación de pobreza³⁹, mientras que el 2.3% en pobreza extrema⁴⁰ y un 5.9% en situación de pobreza multidimensional⁴¹ (DANE, 2017). Esta crisis social evidencia que, a pesar de que Bogotá D. C., es la economía más grande del país, es también la ciudad con mayor desigualdad de ingresos, de ahí que en 2016 el coeficiente de GINI⁴² haya sido de 0.499, a diferencia de 2012, cuando fue de 0.497 (Bogotá cómo vamos, 2017), lo que convierte a Bogotá en una urbe de estratos medios y bajos (Díaz, Marín y Silva, 2016).

Es indudable que la capital colombiana ha experimentado contradicciones económicas, políticas y sociales que han determinado su urbanización, la concentración y densificación de población, la intensificación del comercio, y la forma como se relaciona con la región, su crecimiento - producto tanto del aumento vegetativo de su población como de la migración de personas desterradas y despojadas del campo - ha establecido modelos de consumo que se traducen en dinámicas metabólicas que han variado en virtud de la calidad, cantidad, disponibilidad y acceso a los recursos naturales en su interior, área de influencia y regiones aledañas distantes (Díaz, 2011).

4.2.1. Abastecimiento de agua en Bogotá D.C.

El Acueducto de Bogotá provee el servicio de abastecimiento de agua potable en la capital colombiana, desde la captación de las fuentes de agua superficial utilizadas en los diferentes sistemas de abastecimiento (Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá EAB-ESP, 2018), bajo la estructura de Matriz de los sistemas Tibitoc, Tunjuelo y Chingaza, cuya capacidad instalada es de 36.5 m³/s (Díaz, Marín y Silva, 2016).

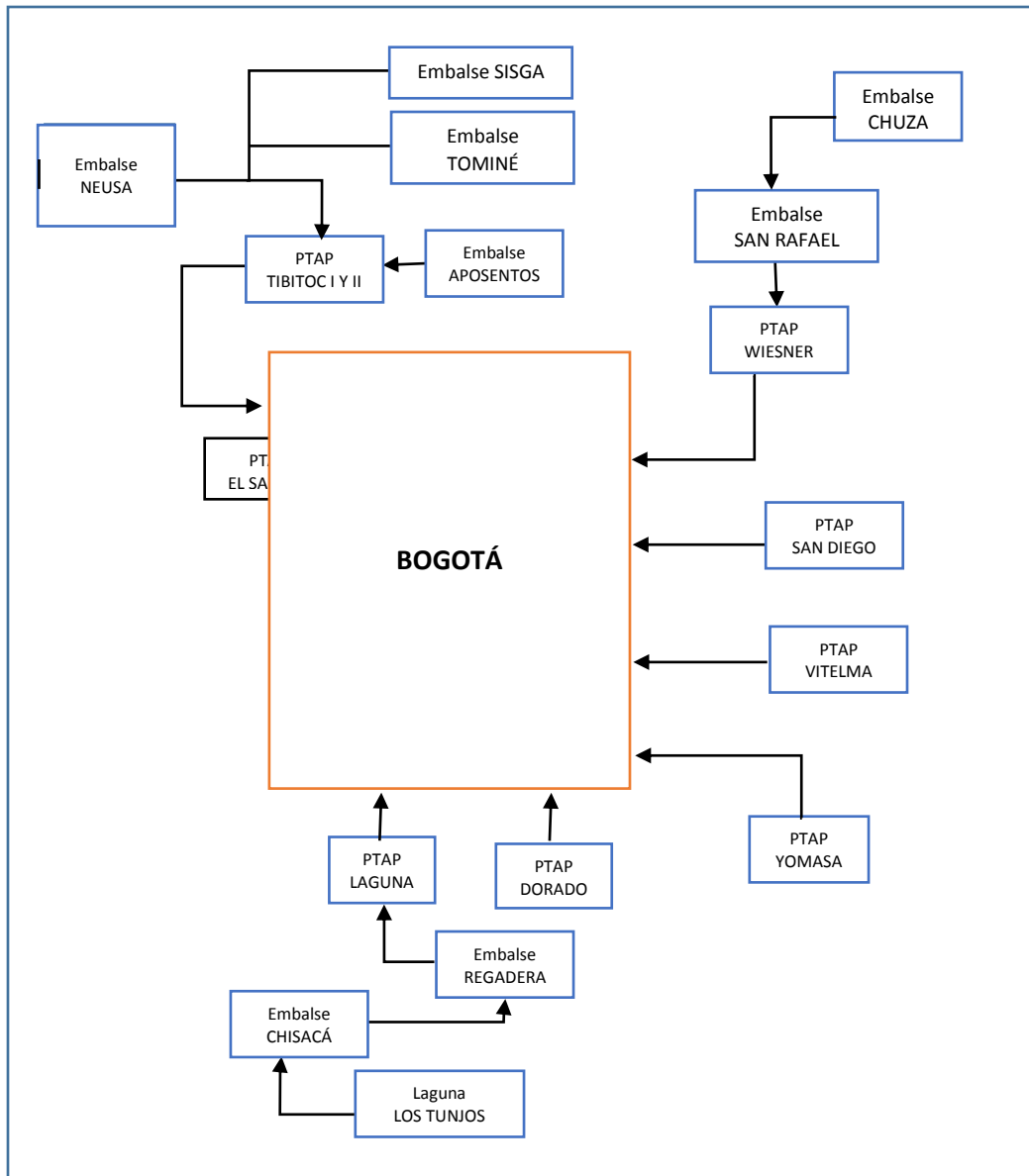
³⁹ Un hogar en Bogotá D.C. compuesto por 4 personas, será clasificado como pobre si su ingreso está por debajo de \$1.040.436 (\$ 6,500 MNX), es decir, no alcanza para comprar la canasta básica (DANE, 2017).

⁴⁰ Un hogar de 4 personas será clasificado como pobre extremo si su ingreso está por debajo de \$476.536 (\$ 2,978 MNX) (DANE, 2017).

⁴¹ Cuando el número de carencias que posee es tan alto que le impide desarrollar plenamente sus capacidades y gozar de sus derechos. Es un indicador que se compone de 5 dimensiones; Condiciones educativas del hogar, condiciones de la niñez y la juventud, trabajo, salud y acceso a servicios públicos domiciliarios y condiciones de vivienda (Bogotá cómo vamos, 2017).

⁴² El Coeficiente de GINI expresa la desigualdad de ingresos, en valores contenidos del 0 al 1. Dentro de este espectro, 0 es el indicador de igualdad perfecta, es decir, las personas tienen los mismos ingresos, mientras que 1 expresa la extrema desigualdad, un individuo concentra toda la riqueza (Bogotá cómo vamos, 2017).

Figura 7. Red Matriz del Acueducto en Bogotá. D.C.



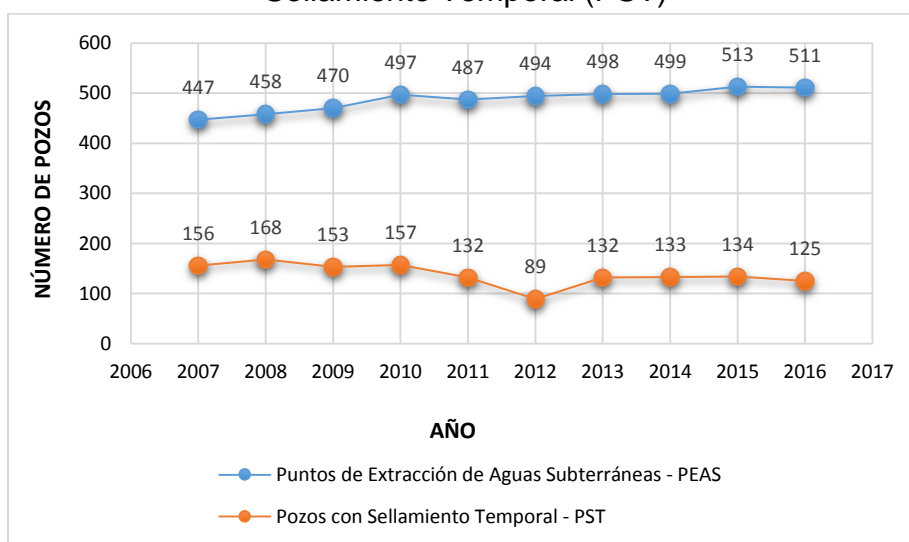
Fuente: Elaboración propia en base a Díaz (2011).

El Sistema Tibitóc incluye el embalse de Aposentos y los embalses de Neusa, Sigsa y Tominé, que a pesar de que no son propiedad del Acueducto de Bogotá, cumplen con la función de regular el Río Bogotá, además cuenta con la planta de tratamiento Tibitóc I y II. Por su parte, el Sistema Sumapaz, cuenca alta del río Tunjuelo, incluye los embalses de La regadera, Chisacá y la laguna de Los Tunjos, a su vez cuenta con las plantas de tratamiento La Laguna y El Dorado (tratamiento convencional) y el subsistema Cerros Orientales, que a su vez cuenta con las plantas de tratamiento Vitelma, Yomasa y San Diego.

Y finalmente, el Sistema Chingaza incluye los embalses de Chuza, San Rafael y el subsistema río Blanco, y cuenta con la planta de tratamiento Francisco Wiesner, planta No convencional de filtración directa (Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá EAB-ESP, 2018).

De igual forma, Díaz, Marín y Silva (2016) señalan que hay una mínima fracción que se obtiene mediante la extracción de agua subterránea a través de pozos. Éstos son denominados por la Secretaria Distrital de Ambiente (2018) como Puntos de extracción de Aguas Subterráneas (PEAS), de los cuales de 2007 a 2016 se observó un aumento de 64 puntos de extracción. Por el contrario, disminuyeron los Pozos con sellamiento temporal⁴³, que en las mismas fechas pasaron de 156 a 125, respectivamente.

Gráfica 8. Puntos de Extracción de Aguas Subterráneas (PEAS) y Pozos con Sellamiento Temporal (PST)



Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente (2017).

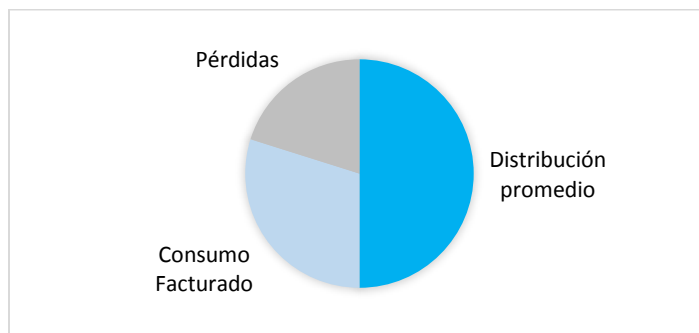
4.2.1.1 Consumo de agua

La capacidad instalada de los sistemas de abastecimiento es de 36.5 m³/s; no obstante, es importante señalar que éste no es el caudal total que se utiliza para dotar de agua a los habitantes del distrito capital, sino que, se emplea menos de la mitad, alrededor de 16 m³/s.

⁴³ El sellamiento temporal de pozos es una medida preventiva que realiza la Autoridad Ambiental Distrital con el propósito de impedir la sobreexplotación del recurso hídrico subterráneo, donde se inhabilita la estructura física de acuerdo al tipo de captación por medio de sellos. Son sellamientos no definitivos que pueden ser invertidos para reanudar nuevamente el uso del pozo. Lo anterior, como resultado de estudios o evaluaciones por un posible incumplimiento legal y técnico, o por procesos en trámite que se estén realizando (Secretaria Distrital del Medio Ambiente, 2017).

Tan solo para dar un ejemplo, durante el año 2011 el sistema permitió una distribución promedio de 14.4m³/s, mientras que el consumo facturado - lo que realmente supe las necesidades del sistema urbano - para el mismo año fue de 8.6 m³/s. Es decir, una diferencia de 5.8 m³/s debido al uso ilegal del recurso y a las numerosas pérdidas en la conducción, las cuales representan más del 40.28%.

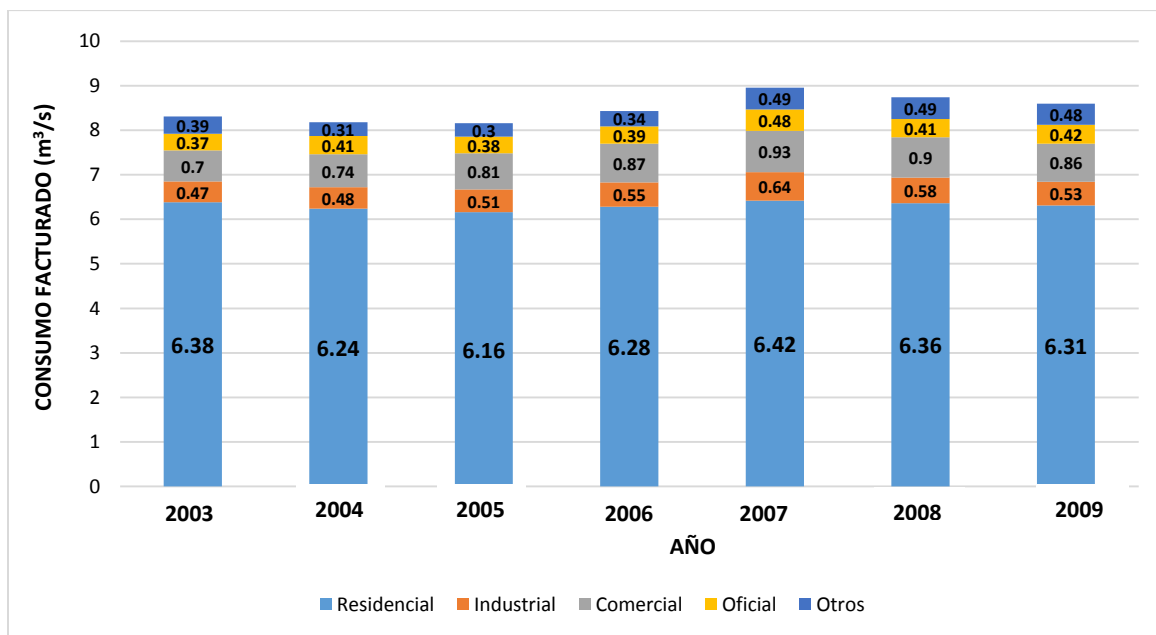
Gráfica 9. Distribución del consumo de agua



Fuente: Díaz, Marín y Silva (2016).

La demanda de agua se concentra principalmente en tres sectores; doméstico (residencial), comercial e industrial. Es de destacar que durante el periodo 2003-2007 la demanda del sector doméstico fue de 71% y 76%, seguido por el comercial (entre el 8% y el 10%), y finalmente el sector industrial (entre el 5% y el 7%).

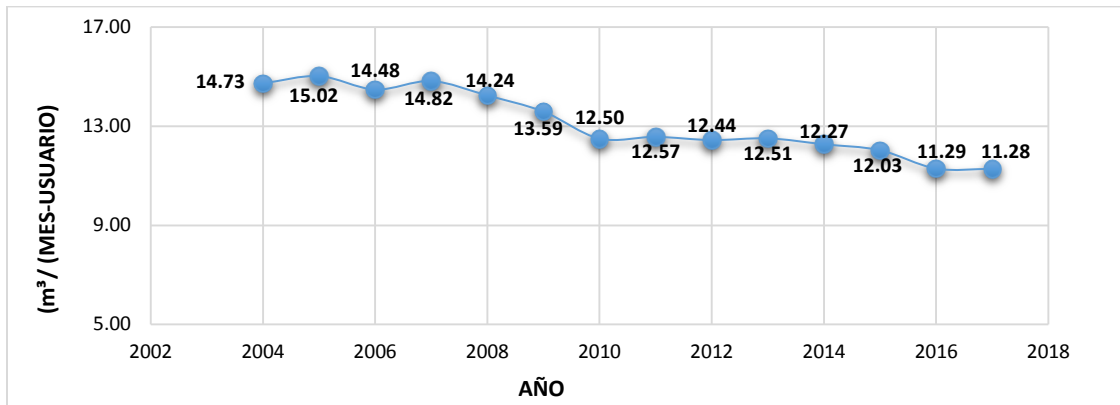
Gráfica 10. Evolución del consumo facturado de agua (m³/s) en Bogotá



Fuente: Díaz, Marín y Silva (2016).

Por su parte, de acuerdo a datos de la Secretaría Distrital de Ambiente (2017) de 2004 a 2017 el consumo de agua potable promedio por usuario facturado se redujo de 14.73 a 11.28 m³/(mes-usuario). Disminuyó un 23.42% (3.45 m³/(mes-usuario)).

Gráfica 11. Consumo promedio de agua potable en Bogotá por usuario Facturado (m³/(mes-usuario))



Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (2018).

Ante dicha situación, en el artículo sobre Metabolismo hídrico de Bogotá: el reto urbano de la gestión del agua, Díaz, Marín y Silva (2016) señalan que debido al crecimiento demográfico y a la tercerización de la economía capitalina, es de esperar que para el año 2025 el consumo total aumente a 19.5 m³/s.

4.2.1.2 Potabilización del agua

La Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá - EAB-E.S.P., a partir de muestras de control analizadas durante el año 2017 en Bogotá, determinó que el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua⁴⁴ (IRCA) durante el periodo enero a diciembre del 2017 fue de 0.61%, es decir, tiene un Nivel Sin Riesgo sanitario, por tanto, dicha agua cumple con todos los aspectos y parámetros necesarios para ser Apta para Consumo Humano (Secretaría Distrital de Ambiente, 2018).

⁴⁴ IRCA. Grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano. Los rangos y nivel de riesgo son los siguientes:

- 0% - 5% El nivel es considerado Sin Riesgo sanitariamente. El agua cumple con todos los aspectos y parámetros necesarios para su aceptabilidad.
- 5.1% - 14% El nivel de riesgo es Bajo sanitariamente. El agua cumple con todos ó casi todos los aspectos y parámetros necesarios para su aceptabilidad.
- 14.1% - 35% El nivel de riesgo es Medio sanitariamente. El agua es no apta para el consumo humano, susceptible de disminuir con una gestión directa.
- 35.1% - 80% El nivel de riesgo es Alto sanitariamente. El agua es no apta para el consumo humano y requiere una vigilancia especial.
- 80.1% - 100% El nivel de riesgo es Inviabile sanitariamente. El agua se considera no apta para el consumo humano y requiere una vigilancia máxima, especial y detallada.

De acuerdo a datos de la Secretaria Distrital de Ambiente (2018) de 2009 a 2017, como resultado del análisis mensual de muestras de agua, se ha comprobado que el líquido es apto para el consumo humano, pues el IRCA se ha mantenido en un nivel de riesgo por debajo del 1.5%.

Cuadro 18. Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) para Consumo Humano

Fecha	Índice De Riesgo (%)
2009	0.20
2010	0.17
2011	0.07
2012	0.07
2013	0.06
2014	0.09
2015	0.02
2016	0.05
2017	0.61

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (2018).

Desde 2012 la Secretaria Distrital de Salud evalúa y otorga anualmente a la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá la Certificación Sanitaria de Calidad del Agua para Consumo Humano, como reconocimiento a la buena calidad de agua que se provee a los habitantes del Distrito capital (Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá EAB-ESP, 2018). La última certificación se otorgó en 2017, a partir de los análisis realizados el puntaje ponderado para la empresa fue de 2.8 puntos, que se encuentra en el rango 0 – 10, por lo cual se expidió concepto sanitario FAVORABLE, los indicadores que se evalúan son; a) Índice de riesgo de calidad de agua para consumo humano; b) Índice de riesgo por abastecimiento de agua de la persona prestadora; y c) Buenas prácticas sanitarias de la persona prestadora (Secretaria Distrital de Salud, 2017).

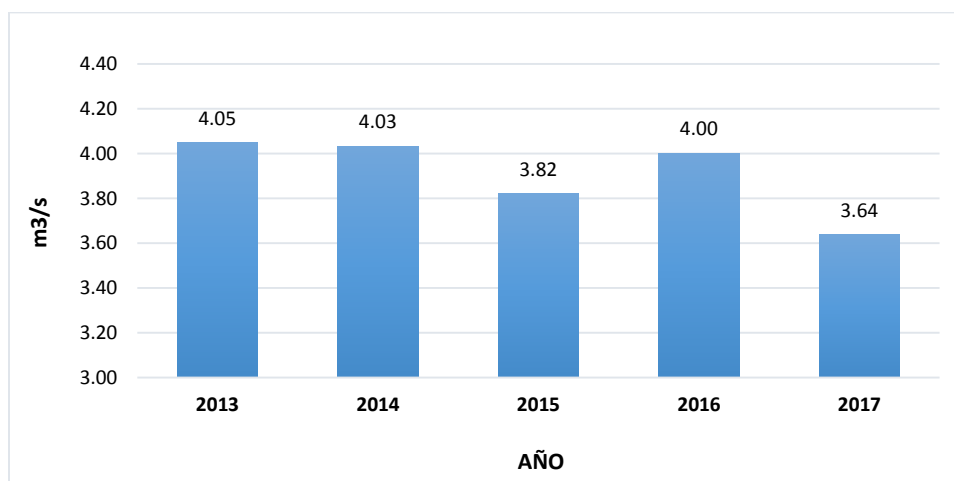
4.2.1.3 Servicio de alcantarillado sanitario

La cobertura residencial y legal de servicio de alcantarillado sanitario es de 99.2%, quedando por fuera los barrios ilegales, marginados y perimetrales que anualmente se consolidan en el distrito capital. A este problema se le suma la obsolescencia del Sistema Troncal de Alcantarillado Pluvial y Sanitario del Centro Ampliado, el cual ha rebasado su vida útil y requieren altas inversiones para la rehabilitación integral de redes troncales, secundarias y locales, para lograr la adecuación del sistema al programa de revitalización del Centro Ampliado y densificación urbana (Díaz, Marín y Silva, 2016).

4.2.1.4 Tratamiento y recuperación de aguas

Con referencia al tratamiento y recuperación de aguas, el único sistema de tratamiento existente en el distrito se encuentra ubicado en el tramo final del río El salitre, que principalmente transporta materia orgánica de vertimientos domésticos. La Planta Salitre, cuyo costo aproximado fue aproximadamente de 80 millones de dólares, durante sus diez años de operación muestra que la inversión realizada ha sido ineficiente e ineficaz, ya que, de un afluente que lleva un caudal de 8 m³/s solo se trata alrededor de 4 m³/s de aguas residuales⁴⁵ (Díaz, Marín y Silva, 2016). Datos de la Secretaria Distrital de Ambiente (2017) reflejan que, durante 2013, 2014 y 2016 el caudal medio de agua tratada (CMAT) por la PTAR El Salitre fue superior o igual a los 4 m³/s, por su parte, en 2015 solo fue de 3.82 m³/s, siendo el valor más bajo el registrado durante el año 2017, de 3.64 m³/s. Es decir, de 2013 a 2017 el CMAT se redujo 0.41 m³/s.

Gráfica 12. Caudal medio de agua tratada (CMAT)



Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (2018).

Es importante mencionar que la PTAR El Salitre solo cuenta con un sistema de tratamiento primario, es decir, realiza la remoción de sólidos gruesos, finos, arenas, grasas, sólidos suspendidos, y materia orgánica sedimentable, logrando unas eficiencias de remoción del 40% de la materia orgánica y 60% de los Sólidos Suspendidos Totales (Secretaria Distrital de Ambiente, 2017).

⁴⁵ Son tratadas aguas residuales tanto industriales, como domésticas. Sin embargo, las industrias que generan aguas residuales tienen la obligación de tratar sus vertimientos antes de ser depositados o conducidos a las redes de alcantarillado industrial, teniendo en cuenta como referencia los niveles y concentraciones características de un agua residual doméstica, es decir, esos vertimientos tienen que tener, como máximo, características similares a las de un agua residual doméstica para poder ser vertidas a las redes de alcantarillado (Secretaria Distrital de Ambiente, 2017).

Conclusión

Como parte del estudio de metabolismo urbano únicamente se analizó el agua como flujo de entrada y las aguas residuales como flujo de salida. A pesar de que lo presentado en este capítulo se acerca mucho a un diagnóstico del agua porque incluye variables como; abastecimiento, consumo, potabilización, servicio de alcantarillado, entre otros., los datos e información presentada cumplen con la finalidad de cuantificar los flujos de agua y aguas residuales.

En el primer caso, a la capital mexicana con una población de 8, 918, 653 habitantes se le suministra un caudal de 31.5 m³/s, siendo sus acuíferos la principal fuente de abastecimiento que a través de pozos aportan 13.9 m³/s, mientras que el Sistema Lerma - Cutzamala contribuye con alrededor de 9 m³/s para abastecer de agua a la población de las 16 delegaciones. La cobertura del servicio de agua potable es de 90.6% de viviendas con servicio, y la dotación promedio de agua por habitante al día es de 150 litros. En cuanto al servicio de drenaje, la cobertura es de 93.17%, y el caudal de agua residual que se genera es de 22.51 m³/s, de los cuales solo 3.34 m³/s, es decir, el 15% recibe tratamiento y es reutilizada.

Por su parte, en Bogotá D.C., cuya población asciende a los 8,081, 000 de habitantes, el caudal suministrado es de 16 m³/s - la mitad del caudal que se suministra a la ciudad de México -, siendo las fuentes superficiales su principal fuente de abastecimiento. En el Distrito Capital la cobertura del servicio de agua potable es de 99.94%, y la dotación promedio de agua por habitante al día es de 172 litros. Se registra una mayor cobertura residencial y legal de servicio de alcantarillado sanitario; de 99.2%, y se genera aproximadamente un caudal de 8m³/s de agua residual, de las cuales cerca del 45.5% - 3.64 m³/s -, recibe tratamiento en la PTAR el salitre, la única planta de tratamiento de la que disponen.

Lo anterior ofrece una visión general de los flujos de agua de las ciudades en estudio. A partir de lo cual se puede señalar que, aun cuando la Ciudad de México demanda mayor cantidad del líquido vital, en comparación con Bogotá, D.C., es menor la cobertura del servicio de agua potable y del servicio de drenaje. Se observan diferencias significativas entre el caudal suministrado y el caudal de aguas residuales. En el primer caso, de los 31.5 m³/s que se suministran, se generan 22.51 m³/s de agua residual, mientras que en el Distrito Capital de los 16 m³/s que ingresan, el caudal de aguas residual es de 8 m³/s. La diferencia es de 8.99 m³/s y 8 m³/s, respectivamente, que bien puede ser la cantidad de agua que se pierde por fugas en la red de suministro de agua potable. A su vez, es mínima la cantidad de agua residual que recibe tratamiento, por lo que es un tema en el que se debe priorizar para fortalecer el reúso de agua residual y con ello reducir las problemáticas que se derivan de este tema.

CAPÍTULO 5. INDICADORES PRESIÓN- ESTADO- RESPUESTA Y ESCENARIOS DE DESEMPEÑO HÍDRICO EN LAS CIUDADES DE MÉXICO Y LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

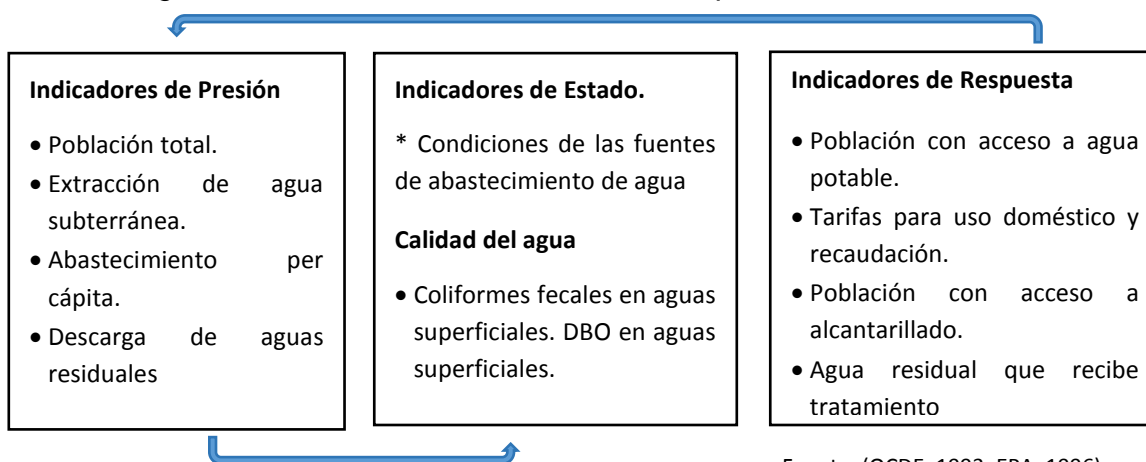
El quinto capítulo recupera el concepto de metabolismo urbano, perspectiva que focaliza el recurso hídrico del que disponen o carecen las ciudades en estudio para su funcionamiento. Se presenta información derivada del análisis de datos secundarios de fuentes oficiales, tanto de México como de Colombia, por lo que se adaptaron indicadores seleccionados del modelo Presión - Estado - Respuesta a la información que puede ser comparable. Y se expone la síntesis de los escenarios prospectivos de la tendencia hídrica sobre el consumo de agua en las ciudades de México y Bogotá D.C, para el año 2030.

5.1. Indicadores Presión – Estado – Respuesta

México y Colombia forman parte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), por ello en el presente trabajo se utilizará el modelo Presión - Estado - Respuesta (PER) para analizar las tendencias del recurso hídrico.

El modelo PER presupone relaciones de acción y respuesta entre actividades económicas y el medio ambiente, de acuerdo a las características y naturaleza de la problemática hídrica en las ciudades de México y Bogotá D.C., se adaptó el modelo PER a la información comparable, y a partir de ello se definieron las tendencias y propuestas para el agua de consumo humano. La figura 8 muestra los indicadores seleccionados para analizar en el presente trabajo para exhibir las presiones sobre la disponibilidad de agua, el estado en que se encuentra y las acciones realizadas para conservar este recurso.

Figura 8. Modelo Presión – Estado – Respuesta, ciudad de México



Fuente: (OCDE, 1993, EPA, 1996).

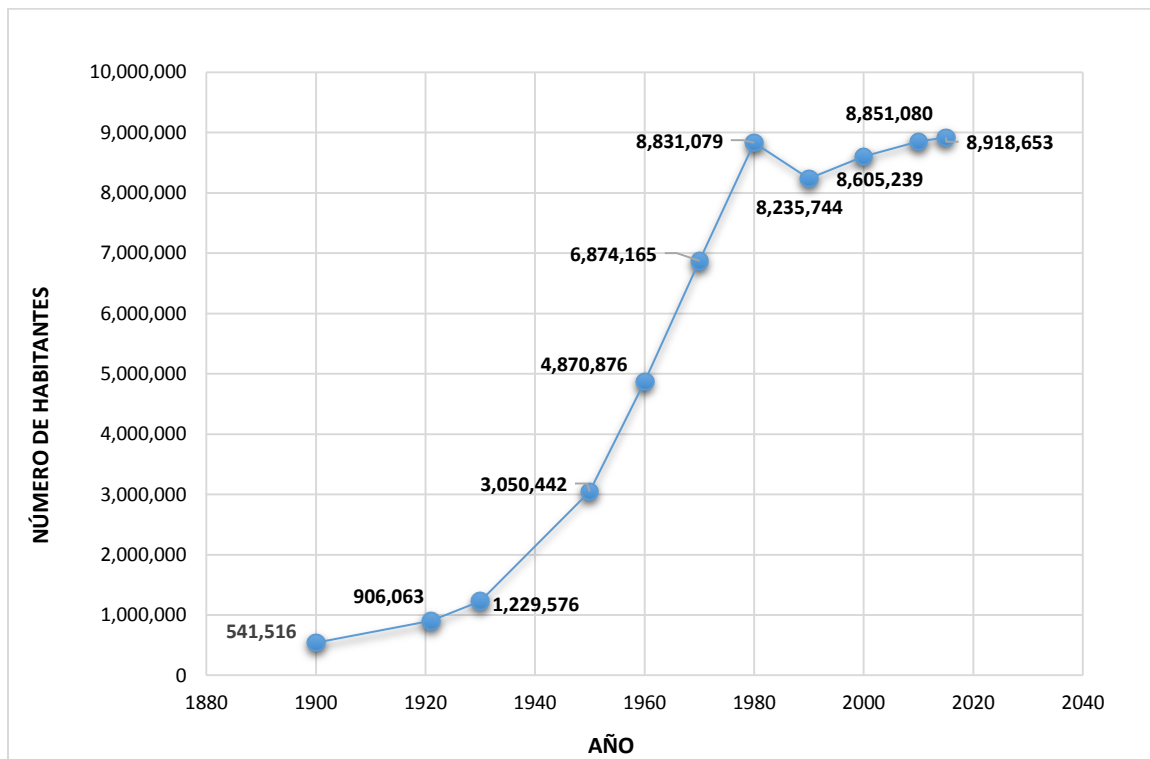
5.2 Modelo PER, Ciudad de México

5.2.1. Indicadores de presión

5.2.1.1. Población total

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda, 2010 y la Encuesta Intercensal de 2015, la ciudad de México es la urbe más poblada del país, siendo su buen desempeño económico la principal razón del crecimiento demográfico que ha experimentado durante los últimos años. La ciudad alcanzó su mayor crecimiento en 1980 con 8, 831,079 habitantes, pero luego del sismo de 1985 la población se redujo y para 1990 el total de habitantes fue de 8, 235, 744, a partir de esta fecha el crecimiento demográfico se ha mantenido constante, de tal manera que en 2015 la población ascendió a 8, 918,653 habitantes.

Gráfica 13. Población total



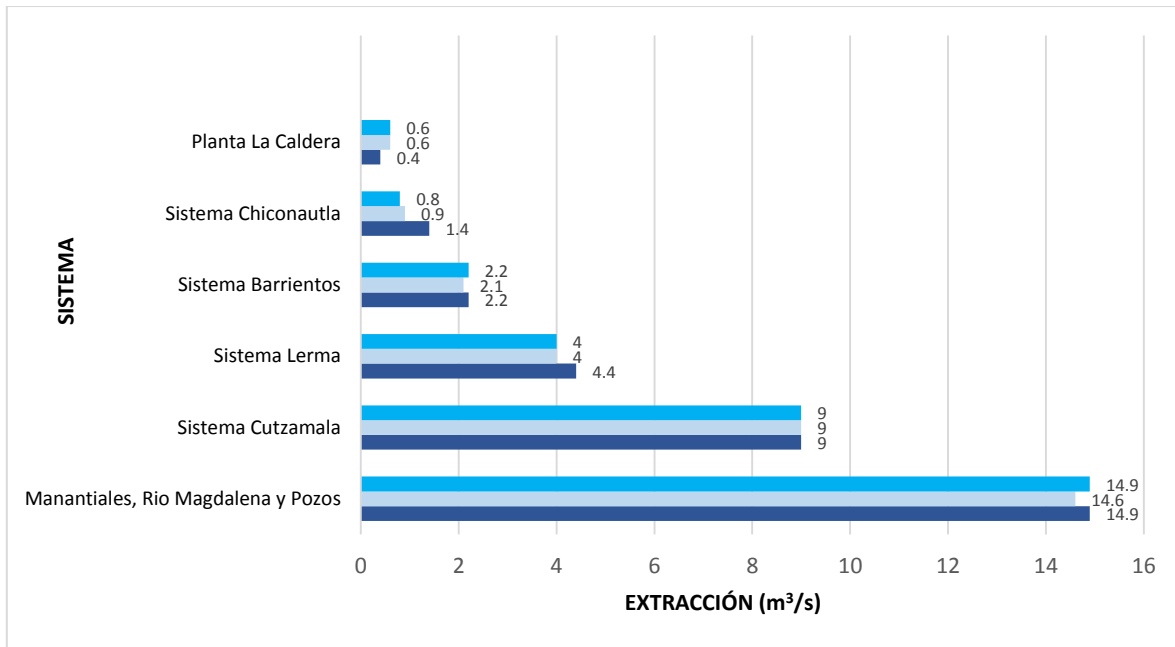
Fuente: INEGI. Censos de población 1900-2010., INEGI. Encuesta Intercensal 2015.

5.2.1.2. Extracción de agua subterránea

La principal fuente de abastecimiento para dotar de agua potable a los habitantes de la ciudad de México, son sus acuíferos propios mediante la extracción de agua a través de pozos, y alrededor de un 40% que proviene de fuentes externas del sistemas Lerma-Cutzamala. Entre las fuentes propias se encuentra el Sistema Barrientos, Manantiales, Rio Magdalena y Pozos, y el Sistema Chiconautla, las fuentes externas, son: Planta La Caldera, el Sistema Cutzamala y el Sistema Lerma.

Los cambios más significativos se han mostrado en el Sistema Chiconautla, el que de 2009 a 2013 disminuyó su aporte en $0.6\text{m}^3/\text{s}$ y el Sistema Lerma, cuyo aporte también ha disminuido, en los mismos años, pasó de $4.4\text{m}^3/\text{s}$ a $4\text{m}^3/\text{s}$, redujo su aporte en $0.4\text{m}^3/\text{s}$.

Gráfica 14. Extracción de agua subterránea



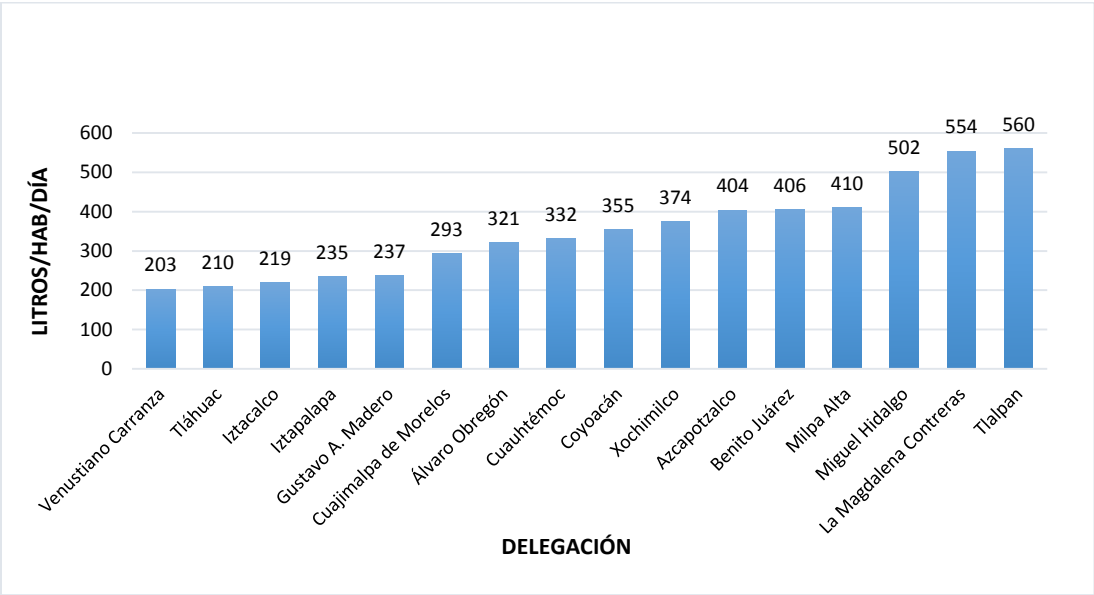
Fuente: Consejo Técnico Consultivo de la Comisión de agua potable y saneamiento de la LXII Legislatura (2013), Sistema de Aguas de la Ciudad de México SACM (2008), SACMEX (2012).

5.2.1.3. Abastecimiento per cápita

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México estima en las delegaciones una dotación promedio de agua de 150 litros por habitante al día, a lo que la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) evidencia una desigualdad en la distribución de agua por delegación.

Por ejemplo, la delegación de Venustiano Carranza cuya población mayoritariamente pertenece a los sectores medio y medio-bajo, recibe una dotación promedio más baja de 203 litros por habitante al día, mientras que la delegación de Tlalpan que mayoritariamente alberga población de los sectores de población de nivel medio-alto y alto, recibe un promedio de 560 litros por habitante al día.

Gráfica 15. Consumo per cápita en las delegaciones de la CDMX



Fuente: SEDEMA (2016).

5.2.1.4. Descarga de aguas residuales

De 2012 a 2016 se registró aumento de 0.55 m³/s del caudal de agua residual, pasó de 21.96 m³/s a 22.51 m³/s, respectivamente.

Gráfica 16. Caudal de descarga de aguas residuales



Fuente: SACMEX (2016), SEMARNAT (2014).

Cabe resaltar que para atender la demanda de agua potable se suministra un caudal promedio de 31.5 m³/s, pero únicamente se tiene registrado un caudal de descargas de 22.51 m³/s, es decir, que hay 8.99 m³/s que posiblemente se pierden por fugas, por lo que resulta imposible que después pueda ser contabilizado como descargas.

5.2.2 Indicadores de estado

5.2.2.1 Condiciones de las fuentes de abastecimiento de agua

El crecimiento de la población y aumento de la demanda ha traído consigo una sobre extracción de agua de los mantos acuíferos, desde el año 2013 se identificó la insostenibilidad por la sobreexplotación de pozos, y de los sistemas Lerma, Barrientos, Chiconautla y Cutzamala, en la medida que las fuentes se debilitan, ofrecen menor volumen del vital líquido (Royacelli, 2013).

Cerca del 60% del agua que abastece a los habitantes de la Ciudad de México proviene de aguas subterráneas, y el restante del Río Lerma y Cutzamala, de esta forma la principal fuente de abastecimiento la constituyen los mantos acuíferos. El déficit hidráulico ha inducido a la sobreexplotación de los acuíferos, lo cual es resultado de un mayor volumen de extracción de agua del subsuelo con respecto de la cantidad que se infiltra.

Anualmente el acuífero se recarga con cerca de 700 millones de metros cúbicos, pero son extraídos 1 300 millones, es decir por cada litro de agua de recarga se extrae casi el doble. Los procesos de deforestación, la expansión urbana hacia sitios de recarga de acuíferos y la canalización de las aguas pluviales al drenaje indican que este desequilibrio se profundizará. Además, las expectativas de una explotación más racional y de la recarga del acuífero resultan todavía inciertas (Guerrero *et. al*, 2009:16).

En el caso del Sistema Cutzamala, que actualmente aporta 9 m³/s, se estima que para el 2025 su aportación oscilará en 6 m³/s, mientras que los pozos reducirán su aportación a 50%, igual que los sistemas Barrientos y Chiconautla (Royacelli, 2013). Para evidenciar los cambios que se han presentado en dicho sistema cabe destacar que durante la década de los 60's el sistema Lerma enviaba a la CDMX aproximadamente 14m³/s, pero ahora los pozos se han debilitado y están a mayor profundidad, por lo que ahora solo envía 4 m³/s (Ávila, 2017).

5.2.2.2 Coliformes fecales en aguas superficiales

La calidad del agua para consumo humano se determina en base a la medición de indicadores como el DBO y coliformes fecales (CF), señalados en la NOM-127-SSA1-1994, que establece los límites permisibles del agua potable emitida por la Secretaría de Salud.

Cuadro 19. Indicadores de la calidad del agua

Indicador	Descripción
DBO	Evalúa la presencia de materia orgánica biodegradable en el agua, principalmente de parásitos y bacterias.
CF	Verifica la presencia de heces fecales en el agua.

Fuente: NOM-127-SSA1-1994.

De acuerdo a datos de la Comisión Nacional del Agua (sin año), y con base en la norma, el sistema Cutzamala entregó a los operadores de la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM) y al Sistema de Aguas de la Ciudad de México durante el periodo 2007 a 2012, agua con calidad excelente dispuesta para consumo humano, dado que los indicadores DBO y CF registraron un rango de calidad aceptable y categoría excelente.

Se verificó que para el indicador DBO se entregó agua con calidad excelente dado que se ubicó dentro del parámetro menor o igual que 3 mg/l, al registrar una media de 2.3 mg/l de materia orgánica biodegradable en el agua, principalmente de parásitos y bacterias, por lo que el agua se considera aceptable para consumo humano. En cuanto al indicador CF, se constató que el agua entregada no registró heces fecales disueltas.

Cuadro 20. Resultados de los indicadores de calidad

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Coliformes Fecales (CF)

Indicador	Rango	Parámetro mg/L	Categoría	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Promedio 2007-2012
DBO	Aceptable	≤ 3	Excelente	2	2.4	2.4	2.4	2.3	2.4	2.3
		$3 < \text{DBO} \leq 6$	Buena calidad							
		$6 < \text{DBO} \leq 30$	Aceptable							
	No aceptable	$30 < \text{DBO} \leq 120$	Contaminada							
		> 120	Fuertemente contaminada							
CF	Aceptable	≤ 100	Excelente	0	0	0	0	0	0	0
		$100 < \text{CF} \leq 200$	Buena calidad							
		$200 < \text{CF} \leq 1000$	Aceptable							
	No aceptable	$1000 < \text{CF} \leq 10000$	Contaminada							
		> 10000	Fuertemente contaminada							

Fuente: Comisión Nacional del Agua (sin año).

En contraste, años atrás, en 2009 la Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (Cofepris) de la Secretaría de Salud informó sobre la presencia de bacterias fecales en la red de abastecimiento de agua potable en las delegaciones Xochimilco, Milpa Alta y Tláhuac, ya que de 107 muestras que se tomaron en la red local de abastecimiento, 9 (8.4%) tuvieron presencia de bacterias de origen fecal (E Coli) pese a que el agua potable fue clorada previamente.

La normatividad vigente indica que la cantidad de cloro residual libre en agua potable debe ser de 0.2 a 1.5 miligramos por litro, y en este monitoreo se encontró que una de las muestras contenía cloro residual libre por debajo del límite de la norma (0.19mg/L), en la cual se encontró presencia de contaminación por la bacteria E Coli (Gutiérrez, 2009).

Estos resultados representan un riesgo alto a la salud de los habitantes de estas zonas. Es decir, la calidad del agua depende en gran medida de la calidad del servicio y ésta no se está garantizando en las delegaciones, pese al uso del cloro.

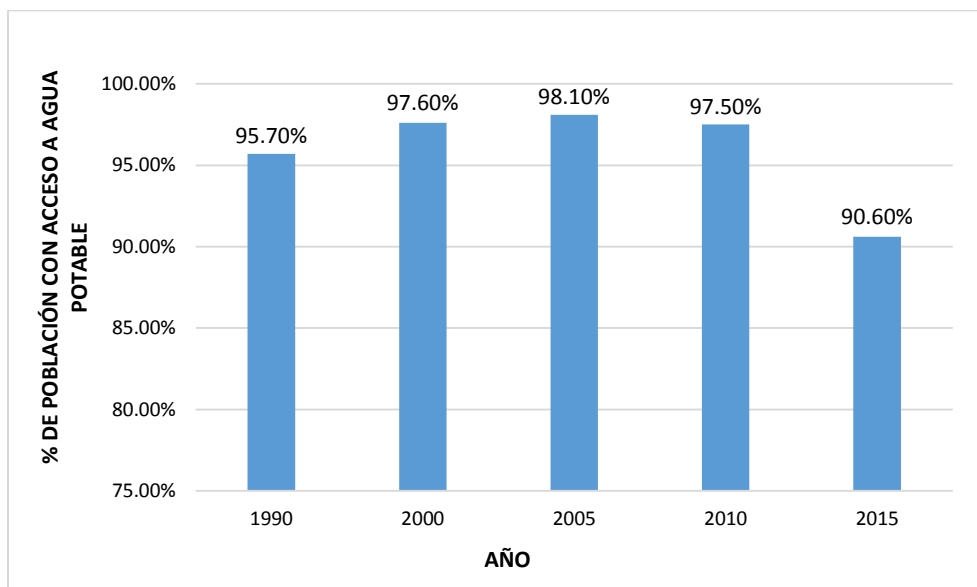
5.2.3 Indicadores de respuesta

5.2.3.1 Población con acceso a agua potable

Durante los últimos años se han realizado logros significativos para ampliar la cobertura de acceso a agua potable en la ciudad de México. Así lo expresan los datos censales, en 1990 la cobertura fue de 95.70%, durante los años 2000, 2005 y 2010 el porcentaje de cobertura alcanzada fue de 97.60%, 98.10% y 97.50%, respectivamente.

Por el contrario, para el año 2015 de acuerdo a los resultados de la encuesta intercensal INEGI 2015, el 90.6% de las viviendas particulares contaba con el servicio de agua potable entubada, mientras que el restante 9.4% (244,314) no disponía de dicho servicio.

Gráfica 17. Población con acceso de agua potable



Fuente: Encuesta Intercensal INEGI (2015).

5.2.3.2 Tarifas para uso doméstico

En cuanto al costo de agua, el Código Fiscal del Distrito Federal (2015) determina las tarifas del servicio de agua que los usuarios están obligados a pagar por los derechos al suministro de agua. Hay una clasificación estratificada sobre las tarifas del agua y el subsidio al que son acreedores los usuarios, dependiendo del tipo de manzana - popular, baja, media y alta - donde se encuentre ubicada la instalación.

Lo anterior permite aplicar tarifas diferenciadas en el consumo de uso doméstico. Sin el subsidio, el m³ de agua tiene un precio de \$ 28.72 (1.55 USD), mientras que con la aplicación del subsidio, las manzanas de tipo popular pueden tener hasta un subsidio de 91%, las de baja del 90%, y la media y alta de 67% y 60%, respectivamente.

Cuadro 21. Tarifa por m³ de agua de consumo doméstico por tipo de manzana

	Consumo doméstico				
	Sin Subsidio	Subsidio Popular	Subsidio Baja	Subsidio Media	Subsidio Alta
Tarifa	28.72	2.5	2.83	9.37	11.24
% de descuento		91%	90%	67%	61%

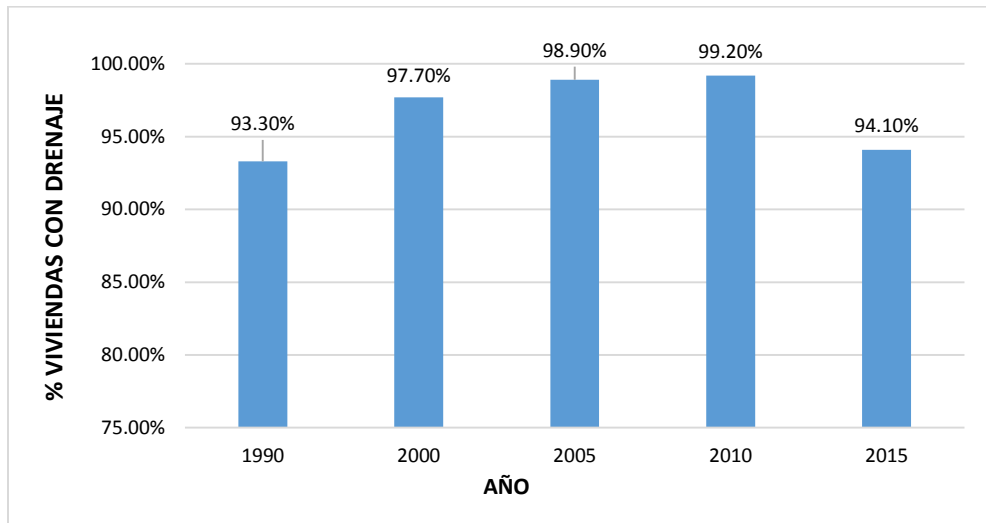
Fuente: Código Fiscal del Distrito Federal, 2015.

Lo anterior demuestra que los usuarios que residen en manzanas de tipo popular son quienes mayor subsidio reciben por cada m³ de agua que consumen, pagando menos del 10% de la tarifa sin subsidio, mientras que los que habitan en manzana tipo alta, pagan menos del 40% de la tarifa sin subsidio. Aunque para ellos el descuento no sea tan significativo, la aplicación de subsidios reduce en buena medida el precio “real” que los capitalinos deberían pagar por el agua que consumen.

5.2.3.3 Población con acceso a alcantarillado

De acuerdo a datos del INEGI, en 1990 la cobertura de población con acceso a alcantarillado fue de 93.30%, y posterior a esto durante los años 2000, 2005 y 2010 el porcentaje de cobertura alcanzada fue de 97.70%, 98.90% y 99.20%, respectivamente. Por el contrario, para el año 2015 de acuerdo a los resultados de la encuesta intercensal del INEGI 2015, el 94.10% de las viviendas particulares disponía de drenaje conectado a la red pública, el restante 5.9% carecía de dicho servicio.

Gráfica 18. Población con acceso a alcantarillado

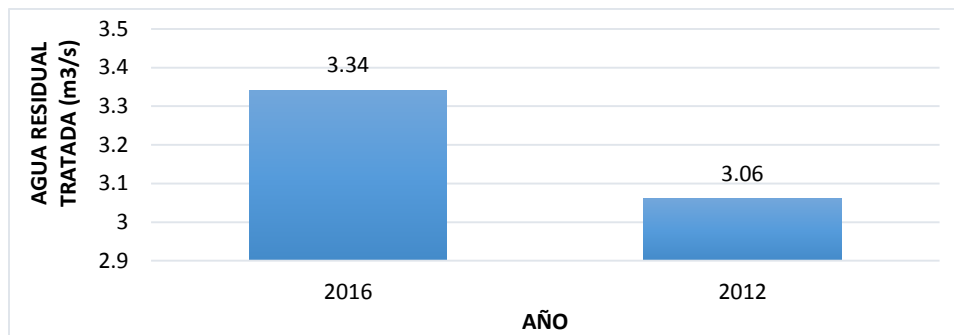


Fuente: Encuesta Intercensal INEGI 2015, INEGI (2010).

5.2.3.4 Agua residual que recibe tratamiento

Durante el año 2012, 3.06 m³/s de agua residual recibió tratamiento, posteriormente en 2016 se registró un aumento de 0.28 m³/s, siendo 22.51 m³/s la cantidad reportada por el SACMEX (2016).

Gráfica 19. Agua residual tratada

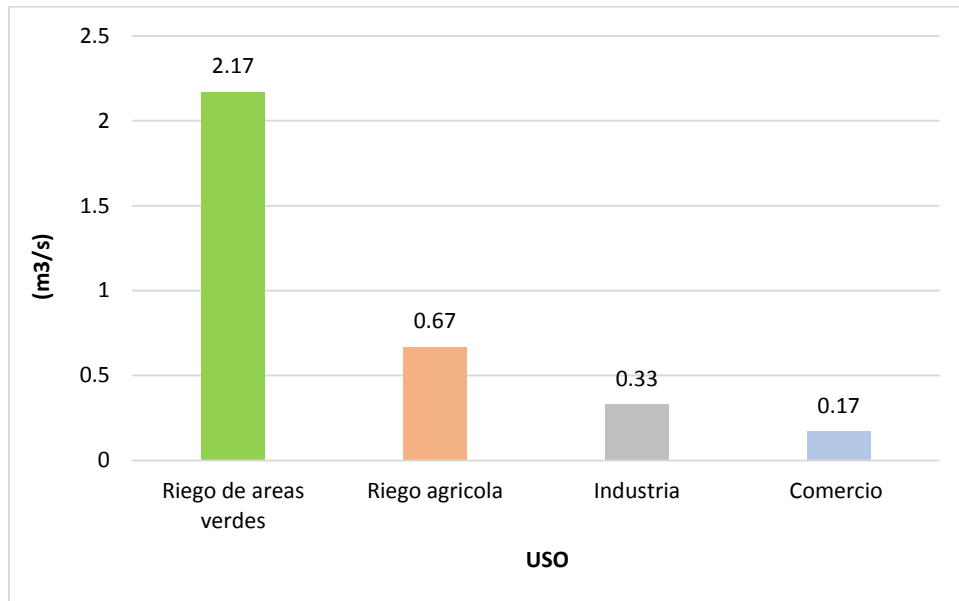


Fuente: BMI (2013), SACMEX (2016).

5.2.3.5 Reúso de agua residual

El caudal de aguas residuales que se genera es de 22.51 m³/s, sólo 3.34 m³/s son sometidos a procesos de tratamiento, es decir, el SACMEX únicamente trata 15% del agua residual que generan casi 8.9 millones de habitantes capitalinos.

Gráfica 20. Reúso de agua residual



Fuente: SACMEX (2016).

De los 3.34 m³/s de agua tratada, 2.17 m³/s (65%) se destina para riego de áreas verdes, 0.67 m³/s (20%) se emplea para riego agrícola, 0.33 m³/s (10%) para industria, y el restante, 0.17 m³/s (5%) en el comercio (SEDEMA, 2016).

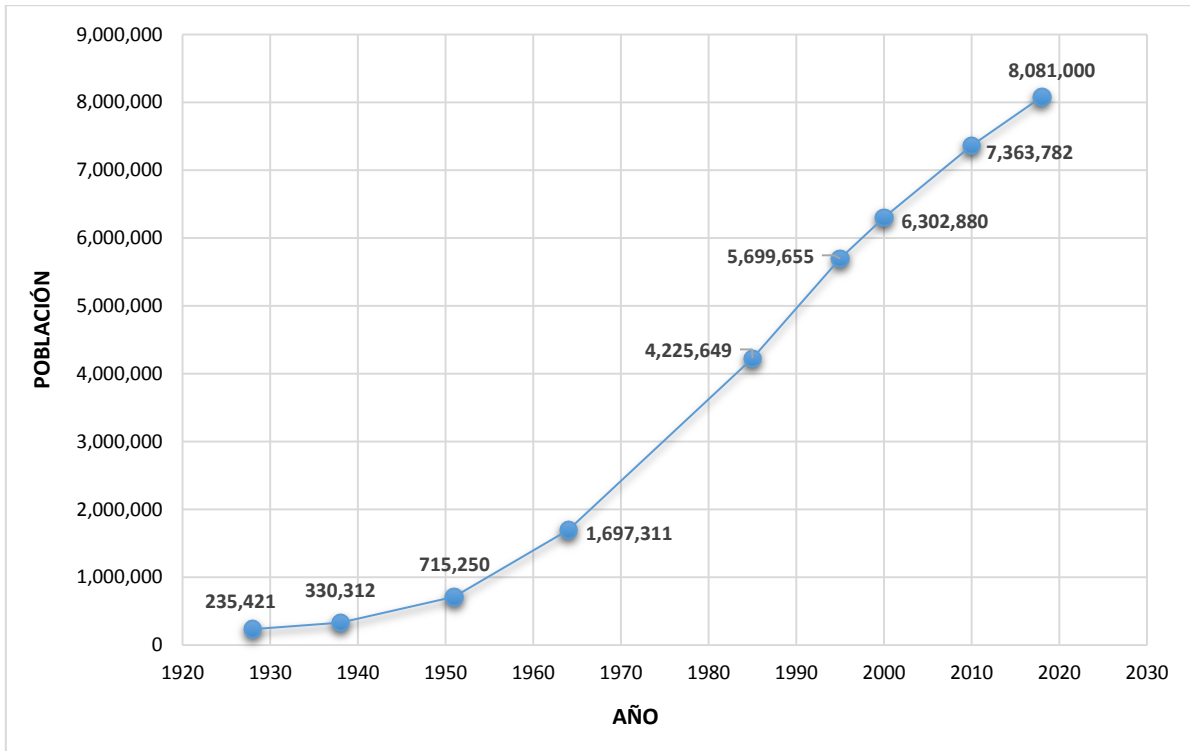
5.3 Modelo PER, ciudad de Bogotá, D.C.

5.3.1 Indicadores de presión

5.3.1.1 Población total

Durante las primeras décadas del siglo XX la población en la capital colombiana se había mantenido constante, sin embargo, a partir de 1950 a causa de la migración de la población rural hacia la ciudad, Bogotá D.C., comenzó a experimentar un acelerado crecimiento demográfico, pasó de 715,250 habitantes en 1951 a 6,302,880 habitantes en 2000 y para el año 2018, la población ascendió a 8,081,000 habitantes (Vargas y Zambrano, 1988; DANE, 2018).

Gráfica 21. Población total



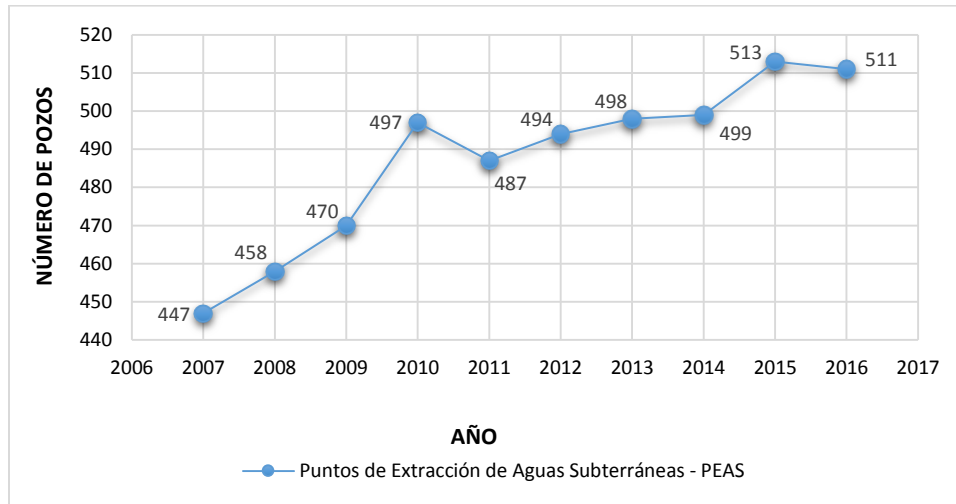
Fuente: Vargas & Zambrano (1988), DANE (2018).

5.3.1.2 Extracción de agua subterránea

La principal fuente de abastecimiento de agua proviene de fuentes de agua superficial bajo la estructura de los sistemas Tibitoc, Tunjuelo y Chingaza, y una mínima fracción se obtiene mediante la extracción de agua subterránea a través de pozos (Díaz, Marín y Silva, 2016).

El suministro de agua subterránea, no puede considerarse como una fuente potencial para abastecer a la población de Bogotá debido a que la recarga de los acuíferos es de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ y el orden de extracción es de la misma magnitud (Peña, Prats y Melgarejo, 2016). Ésta se extrae mediante pozos, los cual han ido en aumento en los últimos años, de tal forma que, de 2007 a 2016 aumentaron de 447 a 551 los puntos de extracción, es decir, en los últimos 8 años hubo un aumento significativo de 64 pozos (Secretaria Distrital de Ambiente, 2017).

Gráfica 22. Puntos de Extracción de Aguas Subterráneas (PEAS)

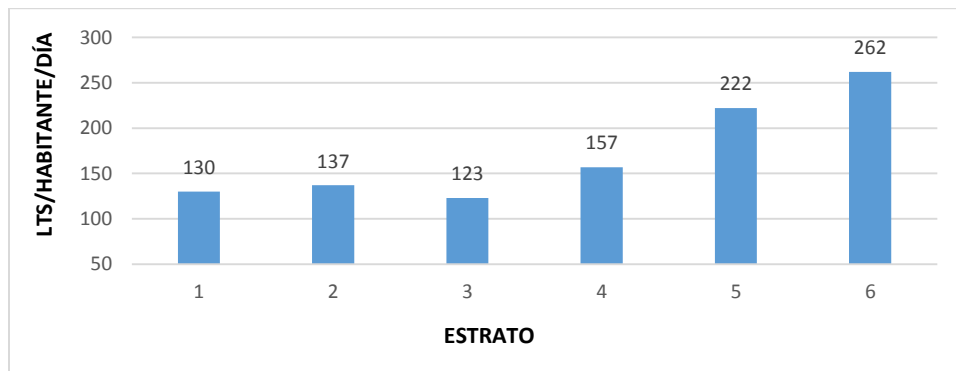


Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente (2017).

5.3.1.3 Abastecimiento per cápita

El consumo per cápita de agua en Bogotá es de 172 litros por habitante al día.

Gráfica 23. Consumo per cápita de agua por estrato



Fuente: El Tiempo (2018).

Por su parte, la Secretaria Distrital de Ambiente (2018) señala que la cantidad de m^3/s de agua por usuario facturado al mes ha ido en descenso. Entre los años 2004 a 2007 se registraron los consumos de agua más altos por usuario – entre $14.73 m^3/s$ y $14.82 m^3/s$ respectivamente –, pero a partir de 2008 éste comenzó a disminuir, de manera que en tan solo un año el consumo disminuyó $0.50 m^3/s$, y continuo la tendencia de descenso, mientras que en 2004 el consumo fue de $14.73 m^3/s$ al mes, durante 2017 se redujo a $11.28 m^3/s$ de agua por usuario, de tal forma que el consumo mensual facturado disminuyó $3.45 m^3/s$ en 13 años.

5.3.1.4 Descarga de aguas residuales

Puesto que el agua en la ciudad no se reutiliza, durante el año 2010 el caudal de agua residual fue de 16.4 m³/s (Díaz, 2011).

5.3.2 Indicadores de estado

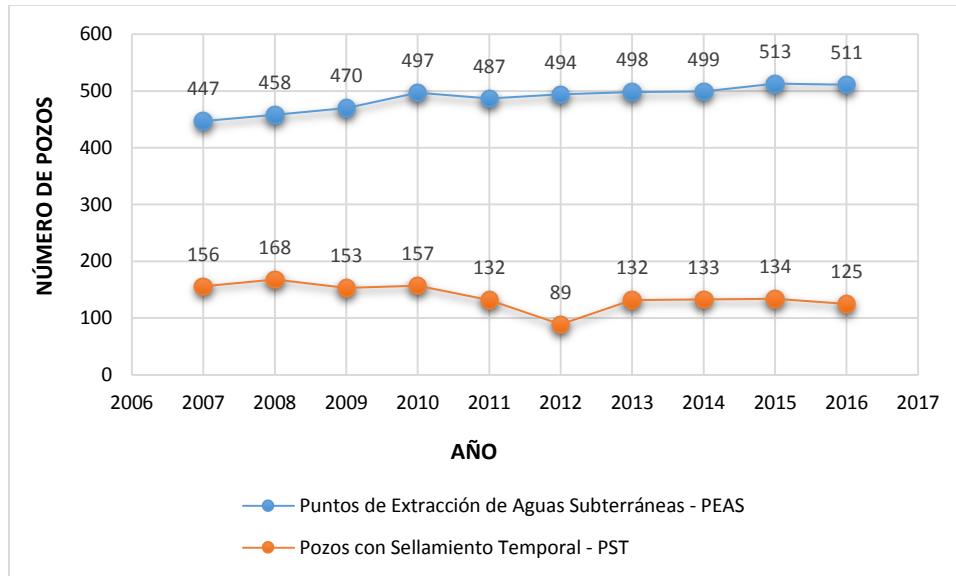
5.3.2.1 Condiciones de las fuentes de abastecimiento de agua

A pesar de que el suministro de agua subterránea no es una fuente potencial para el abastecimiento de agua, se han presentado problemáticas en los puntos de extracción por la falta de medidas de control, pues mientras las extracciones aumentan, hay descensos en los niveles del agua del subsuelo, y aun cuando el mayor número de pozos se halla en Suba (28,7 por ciento), Fontibón (14,9 por ciento) y Usaquén (13,7 por ciento), más agua se extrae del subsuelo es en Puente Aranda, Fontibón y Kennedy ⁴⁶.

Lo anterior es debido al bajo precio del agua en esa zona, pues mientras que cada metro cúbico de líquido extraído de estos pozos para uso industrial cuesta 40,13 pesos y 35,08 pesos para consumo humano, ese mismo volumen, suministrado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), cuesta alrededor de 2.400 pesos (Gómez, 2012). En el período 2007- 2016 aumento el número de pozos, denominados por la Secretaria Distrital de Ambiente (2018) como Puntos de extracción de Aguas Subterráneas (PEAS) -, durante este periodo se pasó de 447 a 511 puntos de extracción, es decir, se crearon 64 pozos más. Por el contrario, disminuyeron los pozos con sellamiento temporal, que en las mismas fechas pasaron de 156 a 125, respectivamente.

⁴⁶ El nivel del agua ha descendido hasta en 10 metros en Puente Aranda, 20 metros en Kennedy y 12 metros en Fontibón.

Gráfica 24. Puntos de Extracción de Aguas Subterráneas (PEAS) y Pozos con Sellamiento Temporal (PST)



Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente (2017).

5.3.2.2 Coliformes fecales en aguas superficiales

La Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá - EAB-E.S.P., determina el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) para cumplir con estándares mínimos requeridos de potabilidad y calidad del agua.

En base a los resultados de las muestras analizadas se ha identificado que el agua que se suministra a los bogotanos tiene un Nivel Sin Riesgo Sanitario, es decir, el agua cumple con todos los aspectos y parámetros necesarios para ser apta para consumo humano (Secretaría Distrital de Ambiente, 2018), razón de que la Secretaria Distrital de Salud desde 2012 ha otorgado anualmente la Certificación Sanitaria de Calidad del Agua para Consumo Humano a la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá - EAB-E.S.P., como reconocimiento a la buena calidad de agua que se provee a los habitantes del Distrito capital (Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá EAB-ESP, 2018). La última certificación se otorgó en 2017.

Datos de la Secretaría Distrital de Ambiente (2018) demuestran que el agua que se ha suministrado a la población de Bogotá D.C., - de 2009 a 2017 – ha cumplido con todos los aspectos y parámetros necesarios para el consumo humano.

Cuadro 22. Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) para Consumo Humano

FECHA	INDICE DE RIESGO (%)
2009	0.20
2010	0.17
2011	0.07
2012	0.07
2013	0.06
2014	0.09
2015	0.02
2016	0.05
2017	0.61

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (2018).

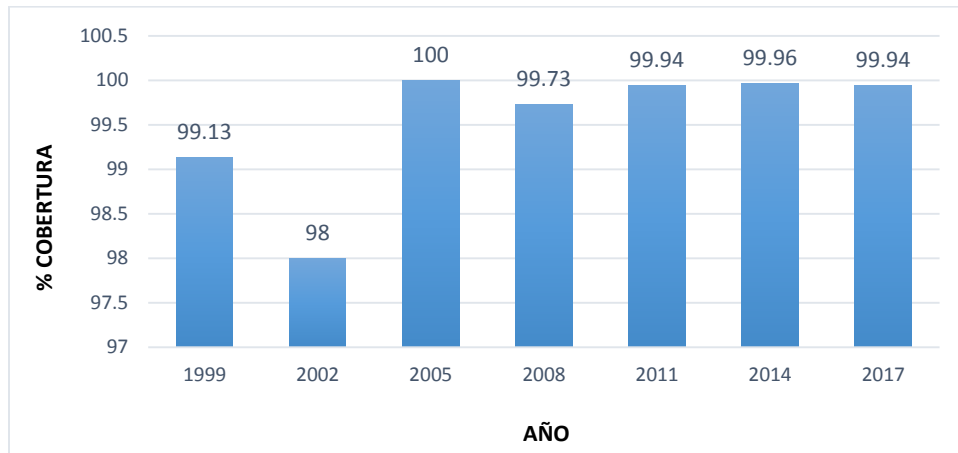
5.3.3 Indicadores de respuesta

5.3.3.1 Población con acceso a agua potable

Este indicador toma en cuenta el número de usuarios registrados legalmente ante la Empresa de Acueducto de Bogotá uso residencial y multiusuario. Desde 1999 la cobertura en el servicio de agua potable ha superado el 99% en la cobertura residencial y legal, no obstante, durante los años 2000 y 2001 se registró la menor cobertura – 95.09% y 95.20% respectivamente –, en los años 2003, 2004 y en 2005 la cobertura fue del 100%. No obstante, durante el año 2017 fue de u como lo muestra la gráfica 24.

Este cambio se debe a los barrios ilegales marginados y perimetrales que se han ido formando y que no disponen de este servicio.

Gráfica 25. Cobertura Residencial y Legal

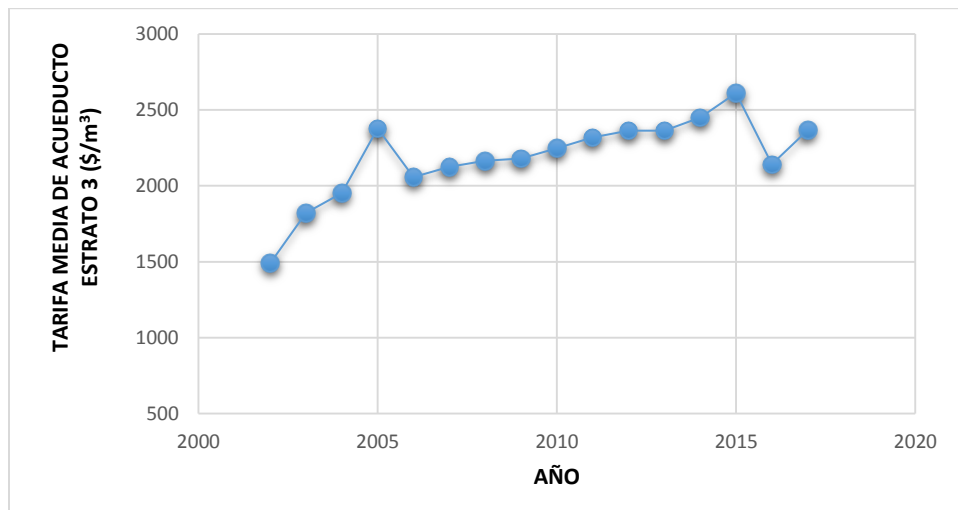


Fuente: Observatorio Ambiental de Bogotá, (2018).

5.3.3.2 Tarifas para uso doméstico

El indicador que a continuación se describe muestra el comportamiento del precio del metro cubico de agua en pesos corrientes para el estrato 3. Datos del Observatorio Ambiental de Bogotá (2018) señalan que la tarifa se determina como peso por metro cubico $\$/m^3$ para un consumo de 20 metros cúbicos mes (pesos corrientes). De 2002 a 2005 la tarifa del m^3 de agua para el estrato 3 ha ido en constante aumento, posteriormente en 2006 la tarifa disminuyó para luego seguir en aumento, tal y como se observa en la gráfica 25.

Gráfica 26. Tarifa del m^3 de agua para el estrato 3



Fuente: Observatorio Ambiental de Bogotá (2018).

Lo anterior hace alusión al estrato 3, sin embargo, en Bogotá D.C., hay 6 estratos, para los cuales se han determinado diferentes tarifas de acuerdo a los parámetros fijados por la Comisión de Regulación de Agua Potable (CRA). Puesto que a partir de enero de 2018 entraron en vigor nuevas tarifas, en estas se determinó un subsidio del 50% para el estrato 1; 40% para el estrato dos; y 15% para el estrato 3. Por su parte, usuarios del estrato 4 deben pagar el costo real, y para el caso de los estratos 5 y 6 tendrán un recargo del 20%.

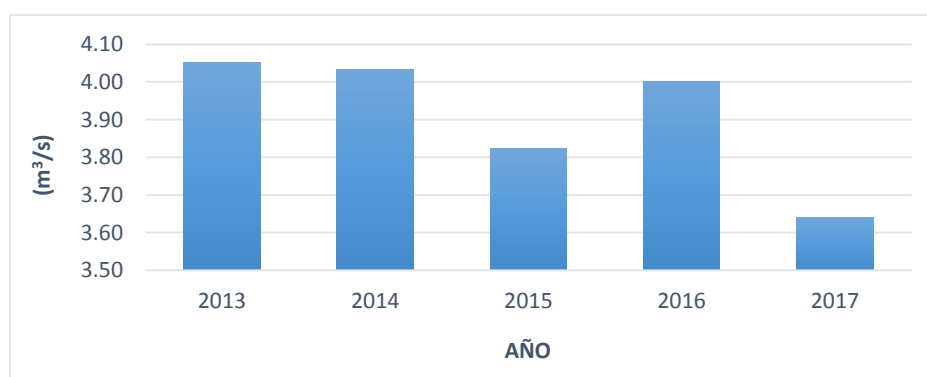
5.3.3.3 Población con acceso a alcantarillado

De acuerdo a Díaz, Marín y Silva (2016) la cobertura residencial y legal de servicio de alcantarillado sanitario es de 99.2%, quedando por fuera los barrios ilegales, marginados y perimetrales que anualmente se consolidan en el Distrito Capital.

5.3.3.4 Agua residual que recibe tratamiento

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) El Salitre se ubica en la desembocadura del río Salitre con el río Bogotá y actualmente sólo cuenta con un tratamiento primario y capacidad de tratamiento de 4 m³/s. Esta planta recibe las aguas residuales de 2, 200 000 habitantes del área norte del distrito capital, pertenecientes a la cuenca del Salitre, lo que representa un 25% de las aguas residuales de la ciudad (Peña, Prats y Melgarejo (2016).

Gráfica 27. Caudal medio de agua tratada (CMAT)



Fuente: Observatorio Ambiental de Bogotá (2018).

De acuerdo a datos del Observatorio Ambiental de Bogotá (2018), durante 2013 y 2014 se trató un caudal medio de 4.05 m³/s y 4.03 m³/s, mientras que para 2015 éste se redujo a 3.82 m³/s. De igual forma, en 2017 se observó un descenso significativo, ya que de los 4 m³/s de caudal medio de agua tratada en 2016, paso a 3.64 m³/s en 2017.

5.3.3.5 Reúso de agua residual

De acuerdo a Díaz (2011), el agua servida no se reutiliza en la ciudad.

5.4 Escenarios de desempeño hídrico de las ciudades de México y Bogotá D.C.

El concepto de metabolismo urbano es el término central de la investigación, el cual modela los flujos de entrada de agua y salida de aguas residuales, entre otros flujos que determinan el funcionamiento de las ciudades. En el presente trabajo se analizó el recurso hídrico en las ciudades de México y Bogotá D.C., a través del de la adaptación del modelo analítico Presión-Estado-Respuesta e indicadores de desempeño hídrico comparables y a partir de ello definir tendencias y acciones para el agua de consumo humano.

Los indicadores PER que se utilizaron se muestran a continuación en la figura 10.

Figura 9. Balance de flujos en el sistema urbano bajo el modelo Presión – Estado – Respuesta

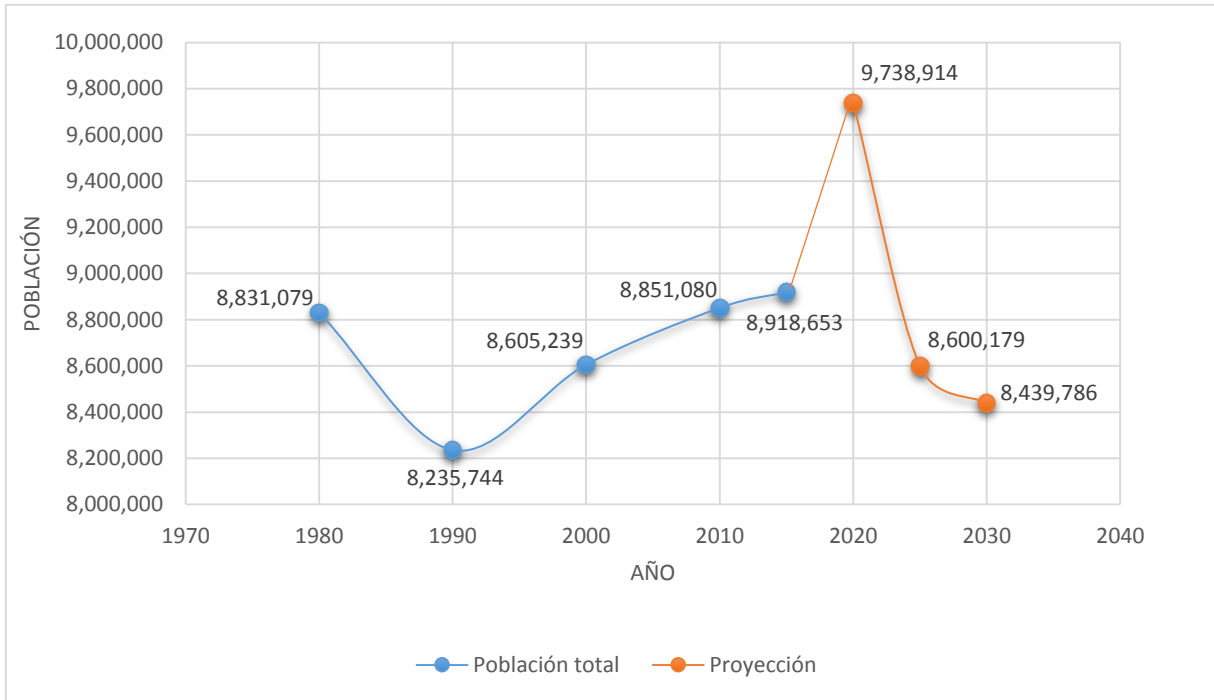


Fuente: Elaboración propia.

5.4.1 Escenarios prospectivos para la Ciudad de México

Los datos de proyección de población de la CONAPO (2017) señalan que la CDMX alcanzara su máxima población en el 2020, superando los 9 millones de habitantes. Sin embargo, para los siguientes años 2025 y 2030 se observa que la población irá en descenso, tal y como se observa en la gráfica 27.

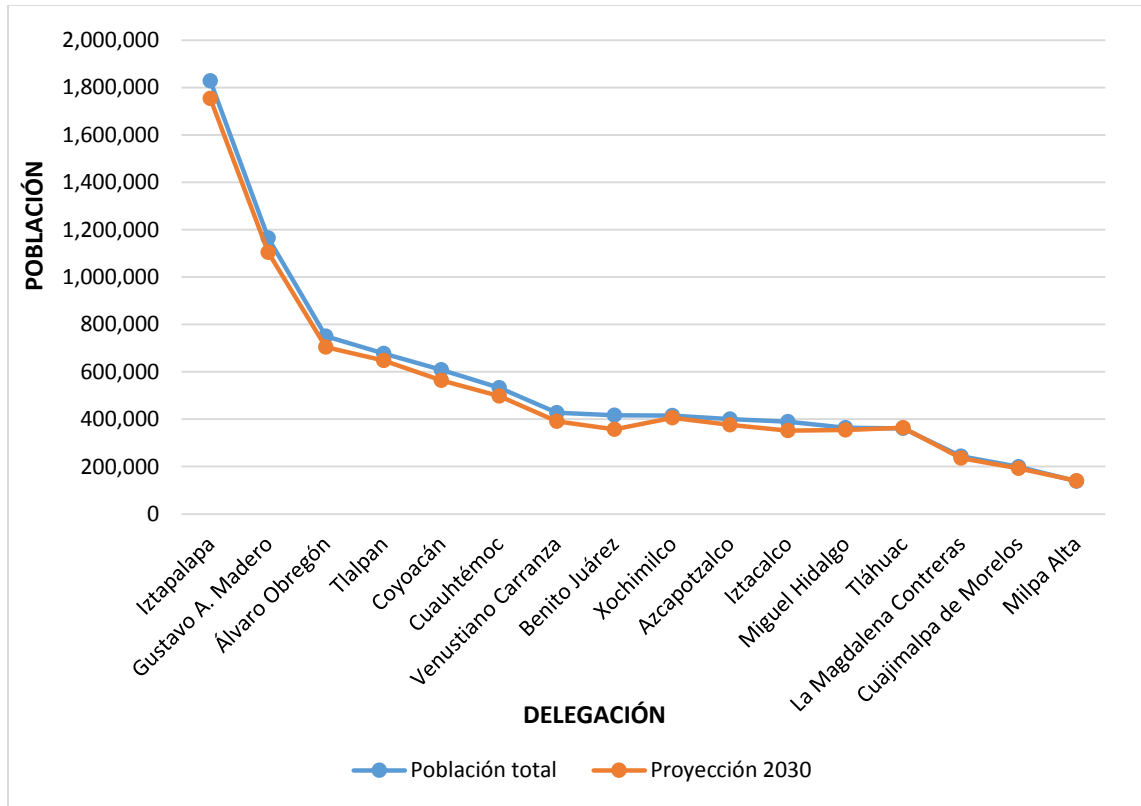
Gráfica 28 Proyección de población para la Ciudad de México



Fuente: INEGI 2015, CONAPO (2017).

En la mayoría de las delegaciones de la CDMX se tiene proyectado para el 2030 que la población disminuirá, con la única excepción de Tláhuac, en donde se registrará un crecimiento demográfico, el cual no será muy drástico. Mientras que en Milpa Alta la población se mantendrá relativamente constante.

Gráfica 29. Proyección de población en las delegaciones de la Ciudad de México (2018 - 2030)



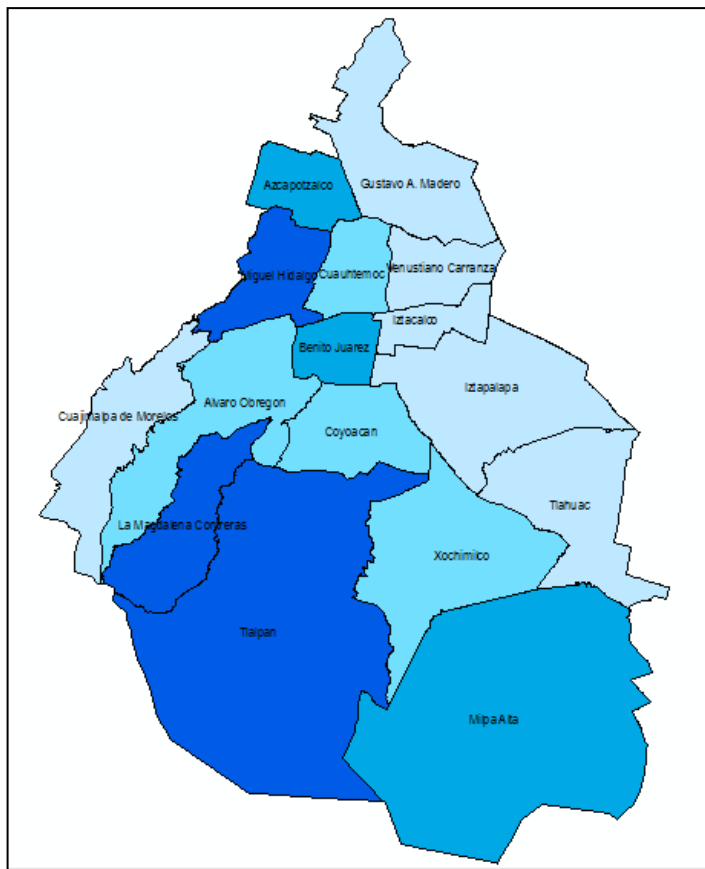
Fuente: INEGI 2015, CONAPO (2017).

En lo que respecta al consumo per cápita de agua en las delegaciones de la CDMX se puede observar que hay una distribución desigual del líquido, y que no va en función del número de habitantes de cada delegación, es decir, que no reciben más agua aquellas delegaciones con mayor población.

Tal es el caso de Iztapalapa, que concentra la mayor población, pero que recibe en promedio 235 litros de agua por habitante al día, seguida de Gustavo A. Madero, que ocupa el segundo lugar entre las delegaciones más pobladas y que recibe 237 litros de agua por habitante al día. En contraste con Tlalpan, la quinta delegación más poblada y que recibe la mayor cantidad de agua por habitante al día – 560 litros.

Imagen 15. Consumo per cápita en las delegaciones de la CDMX

Delegación	Dotación lit/hab/día
Venustiano Carranza	203
Tláhuac	210
Iztacalco	219
Iztapalapa	235
Gustavo A. Madero	237
Cuajimalpa de Morelos	293
Álvaro Obregón	321
Cuauhtémoc	332
Coyoacán	355
Xochimilco	374
Azcapotzalco	404
Benito Juárez	406
Milpa Alta	410
Miguel Hidalgo	502
La Magdalena Contreras	554
Tlalpan	560



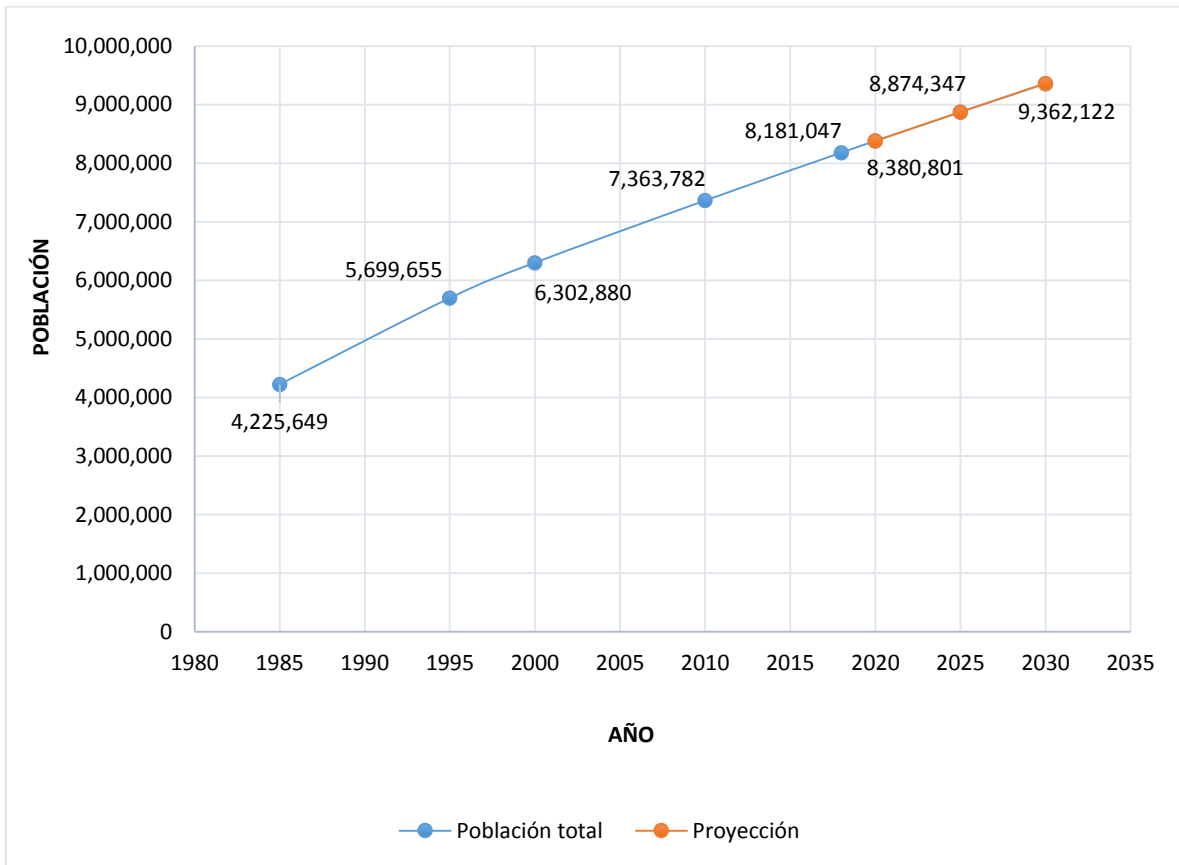
Fuente: Elaboración propia con en SEDEMA (2016).

5.4.2 Escenarios prospectivos para la ciudad de Bogotá D.C.

Caso contrario ocurrirá en Bogotá D.C., donde según proyecciones de la DANE (2018) señalan que el crecimiento demográfico será constante durante los próximos años. Pues de los 8, 181, 047 habitantes registrados en el reciente censo de 2018, para los años 2020, 2025 y 2030 la población será de 8, 380,801, 8, 874,347 y 9, 362,122 habitantes respectivamente, tal y como se muestra en la gráfica 29.

Por lo que se espera que, a mayor población, mayor será la presión a ejercer sobre el recurso hídrico para satisfacer la demanda de agua.

Gráfica 30. Proyección de población para la Ciudad de Bogotá D.C.

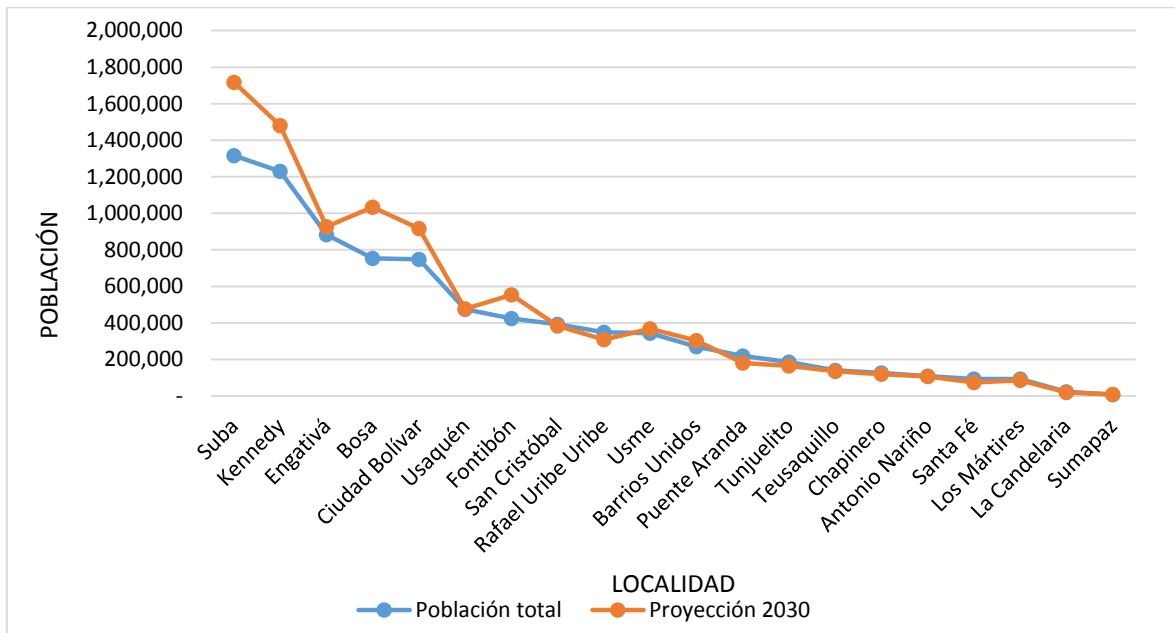


Fuente: Vargas y Zambrano (1988), DANE (2018).

Puesto que la tendencia es al crecimiento demográfico, en la mayoría de las localidades habrá un crecimiento exponencial de la población, por el contrario, hay excepción de algunas localidades donde su número de habitantes disminuirá, tal es el caso de; San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Puente Aranda, Tunjuelito, Teusaquillo, Santa Fe, Los Mártires y La Candelaria.

Mientras que en localidades como Antonio Nariño, Chapinero y Sumapaz no se observan cambios demográficos drásticos.

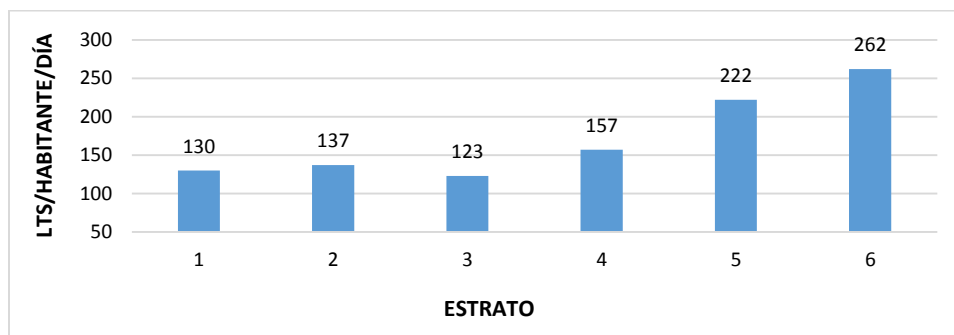
Gráfica 31. Proyección de población en las localidades de Bogotá D.C.
(2018 - 2030)



Fuente: DANE (2018).

Dado que en Bogotá el cobro de los servicios se realiza en base a su sistema de estratificación, como tal no se tienen registros sobre el consumo de agua por habitante en cada una de las localidades, sino que la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá provee información respecto al consumo de agua por habitante al día por estrato. Siendo los estratos 5 y 6 son quienes más consumo de agua registran -222 y 262 litros por habitante al día, respectivamente - seguidos del estrato 4, 2 y 1 -, mientras que el estrato que registra el menor consumo de agua es el 3, con 123 litros por habitante al día.

Gráfica 32. Consumo per cápita de agua por estrato



Fuente: El Tiempo (2018).

Con lo anterior se puede señalar que hay una estrecha relación entre el nivel de ingresos económicos y la cantidad de agua consumida por estrato, pues los estratos 5 y 6 que son quienes más pagan por cada m^3 de agua, también son quienes más consumen. Mientras que el estrato 3, cuyo subsidio es menor, son quienes registra un menor consumo, situación que no ocurre con los estratos 1 y 2, cuyo subsidio es superior y por ende pagan menos por cada m^3 de agua que consumen, una de las teorías es que al ser el agua más barata para ellos, porque esta subsidiada, no tienen una afectación económica y pueden desperdiciar dicho líquido. Por el contrario, con los estratos 5 y 6 la EAAB aumenta la tarifa por cada m^3 cuando su rebasan cierta cantidad de agua.

Conclusión

Derivado del análisis de los indicadores de presión se puede señalar que en la ciudad de México y en la ciudad de Bogotá D.C., el crecimiento de la población ha sido constante y a la fecha, en ambos casos supera los 8 millones de habitantes.

Para abastecer de agua a dicha población, en el caso de la capital mexicana se extrae cerca del 60% de agua subterránea mediante pozos, mientras que el restante 40% proviene de fuentes externas. De acuerdo a esto, en las delegaciones se estima una dotación promedio de 150 litros por habitante al día, sin embargo la distribución del líquido es desigual y entre la delegación que recibe menor y mayor cantidad de agua, la dotación puede variar de 203 a 560 litros por habitante al día. Al final, el caudal que se genera de agua residual es de $22.51 m^3/s$. Caso contrario ocurre en Bogotá D.C., cuya principal fuente de abastecimiento de agua proviene de fuentes de agua superficial y una mínima cantidad – solo $1 m^3/s$ – de agua subterránea. Aquí el consumo por habitante al día es de 172 litros, y se genera aproximadamente un caudal de $8 m^3/s$ de agua residual.

En cuanto al estado en que se encuentran las fuentes de agua y la calidad de la misma, los mantos acuíferos de la Ciudad de México se encuentran sobreexplotados, pues se extrae mayor volumen de agua del subsuelo de la que se infiltra – por cada litro de agua de recarga se extrae casi el doble –, por ello se estima que para 2025 los pozos reducirán su aportación a 50%. En el caso del sistema Cutzamala, las presas que lo conforman han reducido su volumen y para el mismo año su aportación se reducirá en un 33%. Por otra parte, no se puede afirmar que el agua que se provee a los capitalinos es de excelente calidad para consumo humano, en primer lugar, por la carencia de estudios de esta índole en las fuentes superficiales y subterráneas, y también porque hay antecedentes sobre la presencia de bacterias fecales en la red de abastecimiento de agua potable en algunas

delegaciones – Xochimilco, Milpa Alta y Tláhuac -, pese a que el agua fue previamente clorada, situación que representa un alto riesgo a la salud.

En el caso de Bogotá D.C., pese a que el suministro de agua subterránea no es una fuente potencial para el abastecimiento de agua, en los puntos de extracción se han registrado descensos en los niveles del agua del subsuelo debido a la falta de medidas de control, especialmente en las localidades de Puente Aranda, Fontibón y Kennedy, debido al bajo precio del agua en esa zona.

Cabe resaltar que, de acuerdo al Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) el agua que la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá - EAB-E.S.P., suministra a los bogotanos tiene un Nivel Sin Riesgo Sanitario, es decir, el agua cumple con todos los aspectos y parámetros necesarios para ser apta para consumo humano. Razón de que la Secretaría Distrital de Salud desde 2012 ha otorgado anualmente la Certificación Sanitaria de Calidad del Agua para Consumo Humano como reconocimiento a la buena calidad de agua que se provee a los habitantes del Distrito capital.

Y finalmente, entre los esfuerzos para garantizar el abastecimiento de agua y reducir o mitigar el deterioro de las fuentes, en la Ciudad de México el 90.6% de las viviendas particulares cuenta con el servicio de agua potable entubada, y los usuarios están obligados a pagar por los derechos al suministro de agua tarifas diferenciadas que se determinan dependiendo del tipo de consumo y el tipo de manzana – popular, baja, media y alta – donde se encuentre ubicada la instalación. El 94.10% de las viviendas particulares dispone de drenaje conectado a la red pública, generando un total de 22.51 m³/s de agua residual de los cuales solo 3.06 m³/s (15%) recibe tratamiento y se reutiliza; 2.17 m³/s (65%) se destina para riego de áreas verdes, 0.67 m³/s (20%) se emplea para riego agrícola, 0.33 m³/s (10%) para industria, y el restante, 0.17 m³/s (5%) en el comercio.

Por su parte, en la capital colombiana el 99.94% de la población cuenta con acceso a agua potable – son los usuarios registrados legalmente ante la Empresa de Acueducto de Bogotá uso residencial y multiusuario -. La tarifa que se paga por el servicio de agua potable la establece la Comisión de Regulación de Agua Potable (CRA) y se otorgan subsidios en función del estrato; subsidio del 50% para el estrato 1; 40% para el estrato dos; y 15% para el estrato 3. Usuarios del estrato 4 deben pagar el costo real, y para el caso de los estratos 5 y 6 tienen un recargo del 20%.

La cobertura residencial y legal de servicio de alcantarillado sanitario es de 99.2%, generando un caudal de 8 m³/s de aguas residuales, de las cuales solo 3.64 m³/s (45.5%) en la PTAR El Salitre, la única planta de tratamiento. Sin embargo, esta agua no se reúsa.

PROPUESTAS

- Desarrollar programas a nivel localidad y delegación bajo el enfoque de la gestión integrada de recursos hídricos que contemple los diferentes usos del agua e incentive la participación activa de los usuarios.
- En la CDMX, ampliar la cobertura de población con acceso a agua potable y drenaje.
- En la CDMX, mejorar la prestación del servicio de agua potable y que este cumpla con los estándares de calidad para ser apta para consumo humano.
- Realizar estudios y/o muestreos periódicos para conocer la calidad del agua que se provee a los habitantes de la ciudad de México.
- Identificar las causas y atender de manera focalizada las problemáticas de pérdida de agua en la red de abastecimiento.
- Priorizar acciones de control para reducir el consumo de agua en las delegaciones y localidades que mayor demanda tienen.
- Promover campañas de concientización en las localidades y delegaciones para el consumo y aprovechamiento racional del agua en distintos niveles y sectores de la población.
- Fortalecer el sistema financiero del Sistema de Aguas de la Ciudad de México para que cuente con los recursos económicos suficientes que le permitan invertir en infraestructura hidráulica y mejorar los servicios de agua potable, drenaje y alcantarillado.
- Mejorar la eficiencia de las plantas de tratamiento de las que disponen las urbes actualmente e invertir en nueva infraestructura para que un mayor volumen de agua residual reciba tratamiento y sea menor el impacto ambiental al que dan lugar.
- Mejorar e innovar en cuanto a los procesos de tratamiento de aguas residuales, pues hasta el momento solo se les da un tratamiento primario que consiste en la remoción de residuos sólidos y materia orgánica
- Incentivar la reutilización de agua residual que reciba tratamiento.
- Definir estrategias de acción que permitan mejorar las condiciones en que se encuentran las áreas de recarga de las principales fuentes de abastecimiento, subterráneas y superficiales.
- Establecer medidas de control más estrictas para regular la extracción y/o aprovechamiento de agua en fuentes subterráneas y superficiales, con el fin de garantizar la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica.
- Realizar nuevos estudios que relacionen el consumo de agua potable por localidad y delegación, respecto a la presencia de unidades económicas.

Conclusión integral

Aunque las ciudades en estudio presentan diferencias notables en su desarrollo histórico, social y geográfico. Su magnitud demográfica y territorial es similar, cuentan con 8,918, 653 y 8,081, 000 habitantes, y una superficie de 1,568 km² y 1,587 km², respectivamente. Ambas ciudades tienen un gobierno autónomo, en el caso de la CDMX este es muy reciente, fue aprobado en el año 2016, además constituyen los principales centros económicos y administrativos del país de origen.

A partir de los datos analizados se puede concluir que, en efecto, la tendencia hídrica de la Ciudad de México y la ciudad de Bogotá D.C., está condicionada por el crecimiento de la población, el consumo de agua y la descarga de aguas residuales. En ambos casos, a medida que la población aumentó se observaron incrementos en los flujos de agua y aguas residuales, derivados de una mayor demanda del recurso, por lo que se llevaron a cabo importantes proyectos de infraestructura hidráulica para llevar agua desde lugares remotos, e infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales.

Efectivamente, se cumplió con el objetivo general; determinar los escenarios de metabolismo urbano en la Ciudad de México y la ciudad de Bogotá D.C, por medio del modelo presión – estado - respuesta, que si bien desde un principio se planteó que el presente estudio no es de carácter comparativo, dado que hay datos de los que carecen las ciudades, o bien, los hay disponibles pero solo para algunos años en particular. Con la información disponible y derivado del esfuerzo realizado, de manera adicional se logró contrastar el metabolismo urbano de las ciudades en cuestión.

Retomando el planteamiento de la hipótesis, en primer lugar, la población es un factor muy importante en lo que respecta a la demanda de recursos, a medida que la población aumenta también es mayor la demanda de agua y por ende, la presión que se ejerce sobre los recursos hídricos. Al respecto, a partir de los antecedentes sobre la provisión de agua se observa que en ambos casos la población ha influido de manera directa en la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento, ya que, cuando la población era menor inclusive se podían abastecer de fuentes directas, tales como ríos, o lagos cercanos a los asentamientos, pero en la medida que esta ha aumentado, se han tenido que llevar a cabo estudios para determinar nuevas fuentes potenciales de abastecimiento, y con ello el desarrollo de infraestructura hidráulica que permita llevar más líquido a las ciudades desde lugares remotos, sin contemplar la disponibilidad del recurso.

Si bien, las proyecciones de población señalan que de 2020 a 2030 decrecerá la población de la Ciudad de México, durante el mismo periodo en Bogotá D.C., ocurrirá lo contrario, la población irá en aumento. Por ello, el indicador; consumo de agua potable es muy importante, debido a la desigualdad que hay en la distribución del recurso en las delegaciones y localidades.

En la Ciudad de México, no hay una relación directa entre el tamaño de la población y el consumo de agua potable, pues de acuerdo al análisis de datos las 6 delegaciones que reciben menos de 300 litros de agua por habitante al día – Venustiano Carranza, Tláhuac, Iztacalco, Iztapalapa, Gustavo A. Madero y Cuajimalpa de Morelos -, concentran el 49% de la población de la Ciudad de México y reciben alrededor del 24.88% del agua potable que provee el SACMEX. Por su parte, las 10 delegaciones que reciben más de 300 litros de agua por habitante al día – Álvaro Obregón, Cuauhtémoc, Coyoacán, Xochimilco, Azcapotzalco, Benito Juárez, Milpa Alta, Miguel Hidalgo, La Magdalena de Contreras y Tlalpan –, concentran el restante 51% de la población de la CDMX y alrededor del 75.12% del agua que provee el SACMEX para abastecer a los capitalinos.

En el caso de Bogotá D.C., con los estratos 4, 5 y 6, se puede observar la relación que existe entre su nivel socioeconómico y el consumo de agua, pues a pesar de que los usuarios del estrato 4 deben pagar el costo real por el suministro del líquido, y para el caso de los estratos 5 y 6 tienen un recargo del 20%, son quienes más agua consumen – 157, 222 y 262 litros por habitante al día, respectivamente -. Es decir, el agua es más cara para dichos estratos, pero por su nivel de ingresos son los principales consumidores. Por su parte, los usuarios del estrato 3 que tienen un subsidio del 15%, son quienes menor agua consumen – 123 litros por habitante al día -. Mientras que el estrato 1 y 2, cuyo subsidio es de 50% y 40%, respectivamente, el primero consume 130 y el segundo 137 litros por habitante al día.

Respecto a la predominancia de estratos, en las localidades, en Ciudad Bolívar y Sumapaz cuya población representa el 9.24% de la población total de Bogotá D.C., al predominar el estrato 1, son quienes menor flujo de agua demandan.

En 15 localidades - Ciudad Bolívar, Sumapaz, Rafael Uribe, Kennedy, La Candelaria, Santa Fe, San Cristóbal, Tunjuelito, Usme, Bosa, Engativá, Barrios Unidos, Los Mártires, Puente Aranda y Antonio Nariño -, cuya población representa el 69.67% de la población total de Bogotá D.C., por la predominancia de los estratos 1, 2 y 3, demandan menor flujo de agua. El restante 30.33% de la población se encuentra en Fontibón, Teusaquillo, Usaquén, Suba y Chapinero, donde predominan los estratos 4, 5 y 6. Es decir, el 69.67% de la población total demanda menor flujo de agua, mientras que en el restante 30.33% se encuentran los mayores

consumidores del líquido, que consumen alrededor de 24.35% más agua que los primeros.

Por su parte, las aguas residuales condicionan la tendencia hídrica debido a que una mínima cantidad del caudal que se genera es la que recibe tratamiento o se reutiliza, también, es preciso señalar las diferencias que existen entre el flujo de entrada; agua y el flujo de salida; aguas residuales. En la ciudad de México, se suministra un caudal de 31.5 m³/s, pero el caudal de agua residual que se genera es de 22.51 m³/s, es decir, hay 8.99 m³/s (28.5%) que probablemente se pierdan por fugas en la red de abastecimiento. En cuanto al tratamiento del agua residual, en las 25 plantas de tratamiento presentes en la CDMX, de los 22.51 m³/s de aguas residuales únicamente 3.34 m³/s (15%) reciben tratamiento y se reutiliza principalmente en el riego de áreas verdes.

La misma situación se observa en Bogotá D.C., donde el caudal suministrado es de alrededor de 16 m³/s y se genera un caudal de 8 m³/s de aguas residuales, aquí alrededor de 8 m³/s se pierden probablemente por fallas y/o fugas en la red de distribución. De los 8 m³/s de aguas residuales, solo 3.64 m³/s - que representa el 45.5% - recibe tratamiento en la PTAR El Salitre, la única planta de tratamiento de la que dispone el distrito capital, no obstante, el agua no se reutiliza.

Otro aspecto importante a considerar es la calidad de agua que se provee a los habitantes de las urbes. Aquí se debe señalar que en Bogotá D.C., el agua es de mejor calidad que en la CDMX, el agua que se suministra a los bogotanos cumple con todos los aspectos y parámetros necesarios para ser apta para consumo humano y la Secretaria Distrital de Salud reconoce la buena calidad de agua que se provee a los habitantes del Distrito capital. De tal forma que los habitantes pueden tener certeza del agua que consumen y poder tomarla directamente de la llave.

De manera general, no se puede afirmar que una ciudad sea más sustentable que la otra. Ya que, en ambos casos se han mostrado avances para proveer de agua a sus habitantes lo cual se ve reflejado en la incorporación del término de gestión integrada de recursos hídricos en sus políticas, en el desarrollo de infraestructura hidráulica, la calidad del agua que proveen y la construcción de plantas de agua de tratamiento de aguas residuales, entre otros.

El presente trabajo es un primer acercamiento para analizar los flujos de agua y aguas residuales en dos ciudades latinas que pertenecen a la OCDE. A partir de los resultados obtenidos, se han identificado áreas que requieren de mayor atención y del desarrollo de planes que influyeran de forma positiva el consumo y conservación del agua, en función de la demanda del recurso y las descargas.

Además, se debe prestar mayor atención en las principales fuentes de abastecimiento para mitigar problemáticas referentes a la disponibilidad del agua.

Éste puede ser la base para el desarrollo de futuros estudios que sean más precisos y focalizados en áreas de estudio específicas, ya sea a nivel delegación o localidad, según sea el caso, que bien podrían incluir variables económicas para exaltar las propiedades de las ciudades para atraer inversión y proyectos internacionales y la influencia de las problemáticas derivadas del agua como un factor de rechazo de posible inversiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, F. y Alcántara, V. (1994). De la economía ambiental a la economía ecológica. CIP-ECOSOCIAL. Barcelona. Pág. 9-20.
- Alcaldía Mayor de Bogotá (2007). Agua, fuentes en Bogotá. Disponible en https://issuu.com/patrimoniobogota/docs/agua_fuentes_baja/174
- Alcaldía Mayor de Bogotá (2016). La azarosa fundación de Bogotá. Archivo de Bogotá, Secretaria General. Disponible en <http://archivobogota.secretariageneral.gov.co/content/historia-bogota>
- Alcaldía Mayor de Bogotá (2016-b). Proyecto del Plan de Desarrollo 2016-2020. Disponible en http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/PlanDistritalDesarrollo/Documentos/20160429_proyecto_PDD.pdf
- Armesto, J. (2000). Ciencias Ambientales. Disponible en www.ciencia.cl/ChileCiencia2000/areas/ciencias-amb.rtf
- Asociación Mundial para el Agua (2011). ¿Qué es la GIRH?. Disponible en <http://www.gwp.org/es/GWP-Sud-America/ACERCA/por-que/PRINCIPALES-DESAFIOS/Que-es-la-GIRH/>
- Astigarraga, E. (Sin año). Escenarios. Disponible en http://www.prospectiva.eu/zaharra/04_Escenarios_ESTE.pdf
- Ávila, A. (2017). Sistema Cutzamala en 20 años comenzará su agotamiento. En Periódico Milenio. Disponible en <http://www.milenio.com/estados/sistema-cutzamala-20-anos-comenzara-agotamiento>
- Brunner, *et. al.*, (2004). Practical Handbook of Material Flow Analysis. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-809-9.10003-9>.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2013). Tratamiento de aguas residuales en México. Disponible en <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5931/Tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20en%20M%C3%A9xico.pdf?sequence=4>
- Bogotá cómo vamos (2017). Informe de Calidad de Vida. Disponible en <http://www.bogotacomovamos.org/documentos/informe-de-calidad-de-vida-de-bogota-en-2016/>
- Banco de Desarrollo de América Latina (2017). Agua, infraestructura y eficiencia operativa, pilares de la seguridad hídrica en América Latina. Disponible en <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2017/02/agua-infraestructura-y-eficiencia-operativa-pilares-de-la-seguridad-hidrica-en-america-latina/?parent=14072>

- Cárdenas, E. (2012). Historia del desarrollo y la planeación, urbanos en México. Disponible en <http://www.amu.com.mx/sites/default/files/descargas/amu-ece-his-des-pla-urb-mex-edi-vir-050112.pdf>
- Casilimas, C. y López, M. (2010). El templo muisca. Maguaré; núm. 5 (1987) 2256-5752 0120-3045. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/18286/1/14066-41549-1-PB.pdf>
- Casma, J. C. (2015). América Latina: la región con más agua, la más castigada por la sed. En El País. Disponible en https://elpais.com/internacional/2015/05/13/actualidad/1431542093_232345.html
- Código Fiscal del Distrito Federal (2015)
- Comisión Nacional del Agua (Sin año). Sistema Cutzamala. Auditoría de Desempeño: 12-0-16B00-07-0386DE-113. Disponible en <http://docplayer.es/48216748-Comision-nacional-del-agua-sistema-cutzamala-auditoria-de-desempeno-b-de-113.html>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2005). Sistema Cutzamala, agua para millones de mexicanos. IV Foro Mundial del Agua. Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sistema-cutzamala.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2009). Semblanza histórica del agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-28SemblanzaHist%C3%B3ricaM%C3%A9xico.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2011). Inundaciones en el Valle de México y su exacerbamiento por el impacto del cambio climático. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/vari-Dialogos_por_el_Agua_12-oct-2011/panel_iv/Inunda_VMex8.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2017). Sistema Cutzamala cumple 35 años de servicio. Disponible en <https://www.gob.mx/conagua/articulos/sistemacutzamala-cumple-35-anos-de-servicio?idiom=es>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2017). Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010. Disponible en http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices_margina/mf2010/CapitulosPDF/Anexo%20B2.pdf

- Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (1992). Cuestiones de desarrollo para el siglo 21, Borrador final de la Declaración de Dublín. Irlanda, Disponible en <https://es.ircwash.org/sites/default/files/71-ICWE92-19134.pdf>
- Consejo Técnico Consultivo de la Comisión de agua potable y saneamiento de la LXII Legislatura (2013).
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Última reforma publicada DOF 15-09-2017.
- Constitución Política de Colombia (2016) Disponible en <http://www.corteconstitucional.gov.co/inicio/Constitucion%20politica%20de%20Colombia.pdf>
- Cotarelo, P. (2015). Metabolismo de Barcelona; Hacia un nuevo modelo energético que no genere anticooperación. Disponible en https://www.odg.cat/sites/default/files/metabolisme_barcelona_esp_v2.pdf
- Cuéntame INEGI. (2015). Disponible en <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/poblacion/default.aspx?tema=me&e=09>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2016). PIB Actividad Económica 2000 a 2016. Fecha de consulta 8 de enero de 2018.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2017). Pobreza Monetaria 2016: Bogotá D.C. Disponible en http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/pobreza/2016/Bogota_Pobreza_2016.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2018). Estratificación socioeconómica para servicios públicos domiciliarios. Disponible en <http://www.dane.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/servicios-de-informacion/estratificacion-socioeconomica#generalidades>
- Delgado, G., Campos, C., y Rentería, P. (2012). Cambio Climático y el Metabolismo Urbano de las Megaurbes Latinoamericanas. Hábitat Sustentable Vol. 2, N°. 1, 2-25.
- Díaz, C. J. (2011). Metabolismo urbano de la ciudad de Bogotá D.C.: Una herramienta para el análisis de la sostenibilidad ambiental urbana. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Díaz, *et. al.*, (2016). Metabolismo hídrico de Bogotá: el reto urbano de la gestión del agua. Universidad Central.

- Departamento Nacional de Planeación (2015). Bogotá D.C. Disponible en <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Inversiones%20y%20finanzas%20pbllicas/Bogot%C3%A1%2015.pdf>
- Encolombia (2014). Humedales de Bogotá: Evolución Histórica. Disponible en <https://encolombia.com/medio-ambiente/humedales/bogotah/hhb/humebogota-evolucion/>
- Escolero, O., Kralisch, S., Martínez, S., y Perevochtchikova, M. (2016). Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México. Disponible en <http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca04/6803/%283%29Escolero.pdf>
- Felacio, L. C. (2011). La Empresa Municipal del Acueducto de Bogotá: creación, logros y limitaciones. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/achsc/article/viewFile/23183/23921>
- Foladori, G. (2005) Capítulo 7. La economía ecológica. ¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable. Pág. 189-196. Disponible en <https://diversidadlocal.files.wordpress.com/2012/09/desacuerdos-sobre-el-desarrollo-sustentable.pdf>
- Fondo para la comunicación y la educación ambiental, A.C. (2018). Legislación del Agua. Disponible en <https://agua.org.mx/legislacion-del-agua/>
- Gaceta oficial del Distrito Federal (2013). Acuerdo por el que se aprueba el Programa General de Desarrollo del Distrito Federal 2013-2018. Disponible en <http://www.iedf.org.mx/transparencia/art.14/14.f.01/marco.legal/PGDDF.pdf>
- Gallini *et. al.*, (2014). Las corrientes de la ciudad: Una historia del agua en la Bogotá del siglo XX. Environment & Society Portal, Virtual Exhibitions 2014, no. 3. Rachel Carson Center for Environment and Society. Disponible en <http://www.environmentandsociety.org/exhibitions/node/7488>
- Guerrero, T., Rives, C., Rodríguez, A., Saldívar, Y., y Cervantes, V. (2009). El agua en la ciudad de México. Ciencias 94 ABRIL JUNIO 2009, pp. 16-23.
- Gómez, L. (2012). Sobreexplotación de agua subterránea hunde a Bogotá. En *El Tiempo*. Disponible en <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12258121>
- González, D. L. (1919). México viejo. Disponible en <https://archive.org/stream/mexicoviejonotic00gonz#page/n1/mode/2up>

- Gussinyer, J. (2011). México-Tenochtitlan en una isla: Ome calli (1325) - El Calli (1521): Introducción al urbanismo de una ciudad precolombina. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2936877.pdf>
- Gutiérrez, A. (2009). Contaminada el agua de 3 delegaciones. Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. Disponible en <https://agua.org.mx/contaminada-el-agua-de-3-delegaciones/>
- Gutiérrez, E. (2011). Una visión histórica de los servicios públicos en Colombia. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tecges/article/view/4387/6609>
- Hernández, A. (2017). Donde una vez hubo un lago. Disponible en <http://www.arquine.com/donde-una-vez-hubo-un-lago/>
- Higuera, E. (2002). La ciudad como ecosistema urbano. Disponible en <http://oa.upm.es/16625/1/Ecosistema.pdf>
- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO). (2012). Competitividad Urbana y Municipal. Disponible en <http://porciudad.comparadondevives.org/compara-ciudades/58/36/13/11>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Encuesta Intercensal, 2015.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Producto Interno Bruto de México durante el segundo trimestre de 2017. Disponible en http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2017/pib_pconst/pib_pconst_2017_08.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2017-b). Indicadores de Bienestar por entidad federativa. Disponible en <http://www.beta.inegi.org.mx/app/bienestar/?ag=09>
- Instituto de Estudios Urbanos (2015). Bogotá en datos: estratificación. Disponible en <https://www.institutodeestudiosurbanos.info/endatos/0200/02-030-vivienda/02.03.01.htm>
- International Centre for Trade and Sustainable Development (2018). Colombia ingresa a la OCDE. Disponible en <https://www.ictsd.org/bridges-news/puentes/news/colombia-ingresa-a-la-ocde>
- Izazola, H. (2001). Agua y sustentabilidad en la Ciudad de México. Estudios Demográficos y Urbanos, [en línea] (47), pp.285-320. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31204702>
- Jaramillo, C. (2017). Estudio de Metabolismo Urbano en la Ciudad de Cuenca. Tesis de Pregrado. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, Ecuador.

- Jiménez, B. (2011). Suministro y desalojo del agua de la Ciudad de México: de los aztecas al siglo XXI. En Línea. Revista Digital Universitaria. Disponible en <http://www.revista.unam.mx/vol.12/num10/art96/art96.pdf>
- Kennedy, (2007). The Changing Metabolism of Cities. Journal of Industrial Ecology, 11(2), 43–59. <https://doi.org/10.1162/jie.2007.1107>
- Kimmelman, M. (2017) Ciudad de México, al borde de una crisis por el agua. En The New York Times. Disponible en <https://www.nytimes.com/es/interactive/ciudad-de-mexico-al-borde-de-una-crisis-por-el-agua/>
- Legorreta, J. (2006). El agua y la ciudad de México, De Tenochtitlan a la megalópolis del siglo XXI. En Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. Disponible en [file:///C:/Users/joan/Downloads/El agua y la ciudad de Mexico%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/joan/Downloads/El%20agua%20y%20la%20ciudad%20de%20Mexico%20(1).pdf)
- Ley de aguas del Distrito Federal publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 27 de mayo de 2003, última reforma publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 23 de marzo de 2015.
- Ley de Aguas Nacionales Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1º de diciembre de 1992 con Última reforma publicada DOF 24-03-2016.
- Martínez, D. (2005). Nuestra verdadera historia. El pueblo indígena muisca. Disponible en <http://www.escriitoresyperiodistas.com/Ejemplar8/muisca.html>
- Martínez, I. (2012). La Salud en poblaciones Muisca durante la transición del periodo temprano al tardío, estudio comparativo. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Maya, A. A. y Velásquez, L. S. (2008). El medio ambiente urbano. Gestión y Ambiente. Universidad Nacional de Colombia. Pág. 7-19. En línea. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169414452001>ISSN0124-177X>
- Miklos, T. y Arroyo, M. (2008). Prospectiva y escenarios para el cambio social. Disponible en [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2415A5FD597B34B005257D82005745DC/\\$FILE/Mikos_y_Margarita.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2415A5FD597B34B005257D82005745DC/$FILE/Mikos_y_Margarita.pdf)
- Ministerio de Desarrollo Social (2005). Prospectiva y construcción de escenarios para el desarrollo territorial. Disponible en <http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/btca/txtcompleto/mideplan/cuad3-prospect.desterrit.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Disponible en <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1932-politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico>

- Ministerio de Salud y Protección Social Subdirección de Salud Ambiental (2015). Informe Nacional de la Calidad del Agua para Consumo Humano año 2014, Bogotá, D.C., Noviembre de 2015.
- Naciones Unidas (2015). Desarrollo Sostenible. Asamblea General de las Naciones Unidas. Disponible en: <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- Navarro, M. F. (2017). CDMX registra desigualdad en abasto y consumo de agua. En Excelsior. Disponible en <http://www.excelsior.com.mx/comunidad/2017/03/05/1150262>
- Nieto, N. (2011). La gestión del agua: tensiones globales y latinoamericanas. Política y Cultura. Pág. 157-176. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Distrito Federal, México.
- Olivas, J. C. (2012). Ciudad de aguas: Tenochtitlan. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Disponible en [https://wiki.ead.pucv.cl/images/b/bb/Ciudad de Aguas Tenochtitlan - JC Olivas.pdf](https://wiki.ead.pucv.cl/images/b/bb/Ciudad_de_Aguas_Tenochtitlan_-_JC_Olivas.pdf)
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). Agua. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
- Organización Nacional Indígena de Colombia (2017). Muisca. Disponible en <http://www.onic.org.co/pueblos/1126-muisca>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2013). Better Life index. Disponible en <http://www.oecdbetterlifeindex.org/es/countries/mexico-es/>
- OCDE, 1993, EPA, 1996
- Orozco, M. E., Tapia, J., Calderón R., y Gaspar, N. (2011). Rutas del fenómeno metropolitano en México, Revista Proyección Núm. 11, Volumen 1, pág. 210- 231.
- Ortiz, M. (2009). Abastecimiento alimentario en Santafé colonial. Pontificia Universidad Javeriana, Pág. 40-72. Disponible en <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/csociales/tesis26.pdf>
- Osorio, J. A. (2008). La historia del agua en Bogotá: una exploración bibliográfica sobre la cuenca del río Tunjuelo, en el siglo XX. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Pág. 107-116. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/achsc/article/viewFile/23183/23921>
- Peña, C., Prats, D., y Melgarejo, J. (2016). El ciclo urbano del agua en Bogotá, Colombia: estado actual y desafíos para la sostenibilidad. Tecnología y Ciencias del Agua. Pág. 57-71. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/309429780> El ciclo urbano del

agua en Bogota Colombia estado actual y desafios para la sostenibilidad

- Planificación general (2010). Método de Escenarios (Construcción de escenarios, Técnica de Escenarios, Ventajas y Limitaciones, Recomendaciones y Conclusiones). Disponible en <https://planificaciongeneral.wordpress.com/2010/05/31/metodo-de-escenarios-construccion-de-escenarios-tecnica-de-escenarios-ventajas-y-limitaciones-recomendaciones-y-conclusiones/>
- Presidencia de la Republica (2017). Inaugura el Presidente Enrique Peña Nieto el Sistema de Pozos Profundos que dotará de más agua potable a la Ciudad de México. Disponible en <https://www.gob.mx/presidencia/prensa/inaugura-el-presidente-enrique-pena-nieto-el-sistema-de-pozos-profundos-que-dotara-de-mas-agua-potable-a-la-ciudad-de-mexico?idiom=es>
- Programa de sustentabilidad y gestión de los servicios hídricos (PSGSH) 2013 – 2018. Publicado en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 17 de octubre de 2016. Disponible en http://www.paot.org.mx/centro/programas_a/2016/GOCDMX_17_10_16.pdf?b=po
- Red Internacional para el Desarrollo de Capacidades en la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (2005). Planes de Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Manual de capacitación y guía operacional.
- Rodríguez, D. L. (2010). Construcción del paisaje agrícola al sur de la Sabana de Bogotá: un desafío al agua Sistema de camellones prehispánicos en el valle de los ríos Tunjuelito y Bogotá. Pág. 35-57. Disponible en http://www.ipt.pt/teses.digitais/diana.gallo/tese_lorenaroriguezgallo.pdf
- Rodríguez, M. L. (2010). La técnica prospectiva de los escenarios. Disponible en <https://metodologiasdelainvestigacion.wordpress.com/2010/12/10/la-tecnica-prospectiva-de-los-escenarios/>
- Rodríguez, J. C. (2012). Acueducto de Bogotá, 1887-1914: entre público y privado. Revista Credencial. Disponible en <http://www.revistacredencial.com/credencial/historia/temas/acueducto-de-bogota-1887-1914-entre-publico-y-privado>
- Rojas, T. (1992). Tenochtitlan. El diseño urbano de México-Tenochtitlan. Revista de la Universidad Nacional de México. En Línea. Pag. 17-21. Disponible en <http://www.revistadelauniversidad.unam.mx/historico/10566.pdf>

- Royacelli, G. (2013). Diversificar fuentes de abasto de agua, el reto. En El Universal. Disponible en <http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/115524.html>
- Sáenz (2007) Las Ciencias Ambientales: una nueva área de conocimiento. Red Colombiana de Formación Ambiental, Pág. 11. Disponible en <http://media.utp.edu.co/centro-gestion-ambiental/archivos/mod-i-basicos-ambientales/lascienciasambientalesunanuevaareadeconocimiento.pdf>
- Salazar, C. (2018). Agua: El colapso que viene. En Reporte Indigo. Disponible en <https://www.reporteindigo.com/reporte/agua-valle-mexico-hundimiento-mantos-acuiferos-sobreexplotacion/>
- Secretaria Distrital de Ambiente (2011). Plan Distrital del Agua. Agua para todos. Disponible en [file:///D:/GIRH/COLombia/Bibliograf%C3%ADa/secretariadistral plan aguabogota.pdf](file:///D:/GIRH/COLombia/Bibliograf%C3%ADa/secretariadistral%20plan%20aguabogota.pdf)
- Secretaria Distrital de Ambiente (2018). Plan Distrital del Agua. Disponible en <http://ambientebogota.gov.co/de/plan-distrital-de-agua>
- Secretaria Distrital de Hacienda (2013). Notas de carácter general. Notas a los Estados Contables, Bogotá D.C. Disponible en http://www.shd.gov.co/shd/sites/default/files/documentos/notas_bogotadc_dic_2013_0.pdf
- Secretaria de economía (2017). Información económica y estatal, Ciudad de México. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/194616/ciudad_de_mexico_2017_02.pdf
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). (2016). Agua Virtual. Disponible en http://www.cuidarelagua.cdmx.gob.mx/agua_virtual.html
- Secretaria de Desarrollo Económico (SEDECO). (2017). Número de Unidades económicas en la Ciudad de México. Disponible en <http://reporteeconomico.sedecodf.gob.mx/index.php/site/main/138>
- Secretaria Distrital de Planeación (SDP). (2013). Población de Bogotá D.C. y sus localidades; Aspectos Demográficos. Viviendas, Hogares y Personas por Estrato. Alcaldía Mayor de Bogotá. Disponible en <http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/ProyeccionPoblacion:Proyecciones%20de%20Poblaci%F3n>
- Secretaria Distrital de Planeación (SDP). (2016). Revisión general. Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá. Disponible en http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/POT_2016/diagnostico

general/DIAGNOSTICO%20PLAN%20DE%20ORDENAMIENTO%20TERRITORIAL%202017.pdf

- Secretaria Distrital de Planeación (SDP). (2017). Boletín estadístico No. 1. Dinámica empresarial de Bogotá – I Trimestre 2017. Disponible en http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/Documentos/Boletines/DICE201-DinamicaEmpresarial31032017_0.pdf
- Secretaria Distrital de Planeación (SDP). (2018). Estratificación Socioeconómica. Disponible en <http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/EstratificacionSocioeconomica/QueEs>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2014). Agua, Calidad: aguas residuales. Disponible en http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_3.html
- Silva, J. (1995) Breve historia de la Revolución Mexicana. Los antecedentes y la etapa maderista. En Línea. Fondo de Cultura Económica, México. Segunda edición. Disponible en http://www.perio.unlp.edu.ar/catedras/system/files/historia_xx_2013_breve_historia_de_la_revol_mex...antec.pdf
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX). (2016). El gran reto del agua en la ciudad de México. Pasado, presente, perspectivas de solución para una de las ciudades más complejas del mundo. En línea. Disponible en http://laopiniondelaciudad.mx/wp-content/uploads/2016/02/ElGranRetodelAgua_enlaCiudadMexico.pdf
- Solís, F. (1992). El diseño urbano de México - Tenochtitlan. Revista de la Universidad Nacional de México. En Línea. Pag. 12-16. Disponible en <http://www.revistadelauniversidad.unam.mx/historico/10566.pdf>
- Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM). (2010). Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). Disponible en <https://www.sswm.info/es/category/step-gass-en-al/gass-en-castellano/gesti%C3%B3n-de-agua-y-saneamiento-sostenible-en-am%C3%A9rica-la-3>
- Sutorius, M. y Rodríguez, S. (2015). La fundamentalidad del derecho al agua en Colombia. Universidad Externado de Colombia. Disponible en <http://revistas.uexternado.edu.co/index.php/derest/article/view/4341/5069>
- Observatorio Ambiental de Bogotá (2018). Cobertura Residencial y Legal Servicio de Acueducto - CAC. Disponible en

<http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/indicadores-reglamentados/indicadores?id=53&v=1>

- The Guardian (2015) La crisis del agua de la Ciudad de México. Disponible en <https://www.theguardian.com/cities/2015/nov/12/la-crisis-del-agua-de-la-ciudad-de-mexico>
- UN. Commission on Sustainable Development (CSD). (2004). Assessment of Sustainability Indicators. Disponible en http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/scopepaper_2004.pdf
- UN. Commission on Sustainable Development (CSD). (2001). Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. Disponible en <http://www.un.org/esa/sustdev/publications/indisd-mg2001.pdf>
- Vargas. J. y Zambrano, F. (1988). Santa Fé y Bogotá: evolución histórica y servicios públicos (1600 - 1957). Bogotá, 450 años. Retos y Realidades. Pág. 19. Disponible en http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/1_Docencia/Profesores/Zambrano_Fabio/Productos/Evolucion_Historica_Servicios-Zambrano_Fabio-1988.pdf
- Wolman, A. (1965). The Metabolism of Cities. Science American.
- Zhang (2013). Urban metabolism: A review of research methodologies. Science Direct. Environmental Pollution, 178, 463–473. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.052>