

Propuesta de un marco de indicadores de agua urbana para la Ciudad de México, 2005-2018

Proposal for an urban water indicators framework for Mexico City, 2005-2018

Argelia Tiburcio¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5674-2597>

María Perevochtchikova², ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9349-8570>

¹Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Ciudad Obregón, México, atiburcio@conacyt.mx

²Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales, El Colegio de México A. C., Ciudad de México, México, mperevochtchikova@colmex.mx

Autora para correspondencia: Argelia Tiburcio, atiburcio@itesca.edu.mx

Resumen

Uno de los obstáculos en la implementación de una gestión integrada del agua urbana (GIAU) es la ausencia o no implementación de herramientas que ayuden a establecer metas, y evaluar procesos y avances. El uso de

indicadores con el objetivo de analizar los cambios ocurridos es ampliamente aceptado; sin embargo, hasta ahora, tales indicadores se han desarrollado a grandes escalas, omitiendo atender las características y problemáticas específicas locales. Por ello, en el presente trabajo se desarrolla un marco de indicadores para utilizarse como herramienta en la GIAU, aplicado al estudio de caso de la Ciudad de México, en el periodo 2005-2018. El marco conceptual y metodológico adoptado tiene como base los principios de la GIAU y el enfoque de causalidad presión-estado-respuesta. La formulación del marco se llevó a cabo en cinco etapas. Como resultado, se presenta un conjunto de 12 indicadores divididos en cuatro subgrupos: 1) de eficiencia operativa para satisfacer las necesidades del servicio de agua potable y saneamiento; 2) de presión sobre el recurso hídrico que afecta la disponibilidad y calidad del agua; 3) del estado ambiental del recurso, y 4) la respuesta de la sociedad para reducir las presiones, y mejorar la calidad y cantidad de agua. Para cada indicador se delimitaron sus atributos básicos y se calcularon los valores, demostrando la viabilidad como herramienta de evaluación de política pública en la etapa de monitoreo de la gestión integrada del agua urbana.

Palabras clave: gestión integrada del agua urbana, indicadores de gestión, Ciudad de México.

Abstract

One of the obstacles in the implementation of integrated urban water management IUWM is the absence or non-implementation of a tool that helps to set goals and evaluate the progress made in water management policies. The use of indicators to track changes occurred is widely diffused,

however, until now, they are developed mainly to large scales, omitting meets the characteristics and current specific problems at the local level. Therefore, the objective of the present work was to develop a framework of indicators to be used as a tool of (IUWM) in the Mexico City case study in the period 2005-2018. The conceptual and methodological framework adopted is based on the both principles of IUWM and the causality approach Pressure State Response. The formulation of the framework was carried out in five stages. As a result, a set of twelve indicators divided into four subgroups is presented: 1) operational efficiency to meet the needs of the service related to drinking water and sanitation; 2) the level of pressure over the water resources that affect the availability and quality of water; 3) the environmental status of water, and 4) the society's response to reduce the pressures and improve the quality and quantity of available water. For each proposed indicator, their basic attributes were delimited and in nine of them, were calculated, demonstrating viability as a public policy evaluation tool in IUWM in the monitoring stage.

Keywords: Urban water management, urban water, water indicators, Mexico City water.

Recibido: 22/11/2018

Aceptado: 23/03/2020

Introducción

La literatura científica recomienda la adopción de indicadores para la evaluación y el seguimiento de los procesos de cambio (incluyendo la política pública) hacia el desarrollo sustentable (Hezri & Dovers, 2006). Organismos internacionales han encontrado en los indicadores poderosos instrumentos de soporte para la toma de decisiones (UN-WWAP, 2003; OECD, 1998). En lo que respecta al tema del agua en los últimos 20 años, los indicadores relacionados con la gestión de los recursos hídricos han proliferado rápidamente (Dunn & Bakker, 2011), en virtud de la necesidad creciente de desarrollar instrumentos para evaluar el proceso de desarrollo de manera integrada (UN-WWAP, 2003). En este sentido, los indicadores desempeñan un papel importante en la difusión de información, transformando datos científicos y complejos en una expresión simplificada y cuantificada (Gleick, Chalecki, & Wong, 2002), que permite informar a aquellos que toman decisiones y a la sociedad acerca de las tendencias de cambios y el cumplimiento de los compromisos adquiridos en el ámbito internacional (Pintér, Hardi, & Bartelmus, 2005).

Pese a este rápido desarrollo en la literatura sobre los indicadores en materia hídrica, su implementación en la política pública aún es bastante limitada. Entre las razones se encuentran: la no coincidencia entre fronteras naturales de cuencas y acuíferos, con las delimitaciones administrativas; la capacidad institucional limitada para recolectar o evaluar datos, así como la interacción limitada entre los sectores de la

sociedad que generan y utilizan la información, entre otros (Dunn & Bakker, 2011; Hill, Furlong, Bakker, & Cohen, 2008). La formulación de una propuesta de indicadores adecuada que considere tanto factores económicos como socio-ambientales y, en particular, que tome en cuenta su interdependencia es una tarea ardua que requiere de un profundo conocimiento de procesos complejos y su interacción entre diversas disciplinas.

De acuerdo con Dunn y Bakker (2011), y UN-WWAP (2006), aunque existe un número de indicadores relacionados con el agua y la necesidad de vincular la evaluación científica con las cuestiones de la gestión integrada del agua, son pocos los avances obtenidos en la aplicación sistemática de métodos de evaluación basados en indicadores. Los indicadores existentes por lo general son unidimensionales (p. ej., relacionados con la calidad o cantidad del agua), y rara vez consideran dentro de un mismo marco otros aspectos, como los ecosistemas acuáticos, la salud humana, el uso del suelo y la gestión del agua (Dunn & Bakker, 2011). En resumen, los indicadores de sostenibilidad, los índices y los sistemas de información han ganado popularidad en los últimos años, pero su eficacia para influir en las políticas públicas permanece limitada (Pintér *et al.*, 2005). Estos autores exteriorizan que la distancia entre el potencial y la influencia real de los indicadores sobre la adopción más generalizada sugiere que pueden desempeñar una función más importante en la articulación y el seguimiento de los progresos hacia la sostenibilidad en una amplia gama de circunstancias.

El paradigma de la gestión integrada del agua urbana (GIAU) se centra básicamente en el manejo del agua por disponibilidad natural,

utilización de recursos hídricos alternativos y descentralización del proceso de administración. Según Niemczynowicz (1999), la gestión integrada del agua en las zonas urbanas involucra políticas de uso del suelo, planeación urbana, ordenamiento territorial, procesos de desarrollo económico, regulación y legislación, educación, conciencia ambiental e integración de la sociedad en el manejo participativo del agua.

Las ciudades en países en transición y en desarrollo plantean retos crecientes sobre la GIAU, donde las tendencias y presiones de urbanización, crecimiento económico (UN, 2014), cambio climático, falta de conciencia y preparación o efectividad del gobierno, y recursos financieros limitados para la construcción y el mantenimiento de infraestructura presentan enormes barreras para una adecuada implementación de la GIAU (OCDE, 2015). El cambio climático amplifica la situación de la vulnerabilidad del agua urbana, en el sentido de inundaciones, estrés hídrico, escasez y contaminación del agua. Esto ocurre en casi todas las megalópolis del mundo (Ligtvoet *et al.*, 2014). Ante esta complejidad de los problemas socio-ambientales y cambios globales en las áreas urbanas, se plantea la necesidad de diseñar y adaptar los indicadores al contexto urbano, basándose en el reconocimiento de los desafíos hídricos distintivos de las ciudades y sus respuestas. Dentro de un paradigma de formulación de políticas basadas en la evidencia, se espera que los indicadores contribuyan en muchas etapas del proceso de la política pública, desde la identificación del problema y la evaluación ex ante de alternativas de política hasta el monitoreo, evaluación y ajuste de éstas.

En dicho sentido, el presente trabajo desarrolla un marco de indicadores orientados a la evaluación de los avances dentro de los principios de la GIAU para el caso de estudio de la Ciudad de México, periodo 2005-2018, bajo la hipótesis de que es viable la construcción de un marco de indicadores como instrumento de medición de avances de la política pública hídrica (incluso con la información oficial existente). El marco conceptual se basa en la GIAU y los indicadores para este fin. Metodológicamente se apoya en la realización de varias etapas, desde la recopilación y la sistematización de información hasta la consulta y aplicación de una encuesta a especialistas, el análisis de información y, por último, el diseño del marco de indicadores para la gestión integrada del agua urbana.

Marco conceptual

Gestión integrada del agua urbana

Esta investigación se fundamenta en el paradigma de la GIAU promovido por Mitchell (2006), y Hardy, Kuczera y Coobes (2005), entre otros autores (Perevochtchikova & Martínez, 2010; Andrade & Navarrete, 2004;

Martínez, Escolero, Kralisch, & Wolf, 2007). El modelo convencional de la gestión del agua se caracteriza por sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento orientados a satisfacer la demanda de agua sin tomar en cuenta la disponibilidad natural, y los procesos sociales y naturales del ciclo del agua (Pinkham, 1999; Tucci, 2010). En contra parte, la GIAU busca la integración sustentable de los servicios del agua en una ciudad (que sea potable), saneamiento y alcantarillado en un sistema físico integrativo (Mitchell, 2006); y reconoce que este sistema se basa en un esquema común organizativo dentro de la visión integral de la interconexión con el paisaje natural.

El paradigma de la GIAU se orienta al manejo del agua por la disponibilidad y uso de recursos hídricos en forma alternativa, al tiempo que fomenta la descentralización del proceso de la administración. La GIAU involucra planeación y ordenamiento territorial; procesos del desarrollo económico, regulación y legislación; educación, conciencia ciudadana, e integración de la sociedad en el manejo participativo del agua de acuerdo con Niemczynowicz (1999).

Dos principios de la GIAU son importantes: 1) planeación y toma de decisiones, que incluya todos los componentes del servicio del agua y del paisaje; y 2) que esta toma de decisiones se oriente hacia la sustentabilidad en la gestión del agua a través del balance entre los intereses ambientales, sociales y económicos a corto, mediano y largo plazos (Mitchell, 2006).

Indicadores para la gestión del agua urbana

Dentro de la GIAU, una fase importante es la evaluación y el monitoreo de los planes de acción tanto en el nivel de cuenca como en escala local (Gangbazo, 2004), por lo que se requiere contar con marcos de indicadores adecuados (Pahl-Wostl *et al.*, 2005; Bhaduri *et al.*, 2016) que describan y comuniquen las condiciones actuales, fomenten el pensamiento crítico sobre las medidas correctivas requeridas y faciliten la participación de los diversos interesados en los procesos de toma de decisiones (Brugmann, 1997). De manera ideal, los indicadores sirven para proporcionar información esencial acerca de la viabilidad de un sistema y su tasa de cambio, y sobre cómo contribuyen al desarrollo sostenible del sistema en general (Perevochtchikova & Negrete; 2013; Tiburcio & Perevochtchikova, 2012).

En la actualidad existen múltiples y variados enfoques y metodologías de indicadores orientados a la medición de la sustentabilidad (Bossel, 1999; Meadows, 1998). De entre los diferentes métodos, la UN-WWAP (2003) identifica al método de causa-efecto, conocido como presión-estado-respuesta, que tiene otras variantes, como fuerza motriz-presión-estado-impacto-recurso, o fuerzas conductoras-presión-estado-exposición-efecto-acción, y que utiliza los indicadores desde la causalidad de los procesos.

El enfoque presión-estado-respuesta (PER) fue introducido por primera vez por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo

Económico (OCDE) (OECD, por sus siglas en inglés) en 1994, y se basa en una lógica de causalidad en el que se interrelacionan las actividades humanas como fuentes de presión y su impacto en el ambiente, al cambiar la calidad y cantidad de los recursos naturales (estado), generando respuestas de la sociedad ante la problemática por medio de políticas ambientales, económicas y sectoriales (OECD, 1998) (Figura 1).

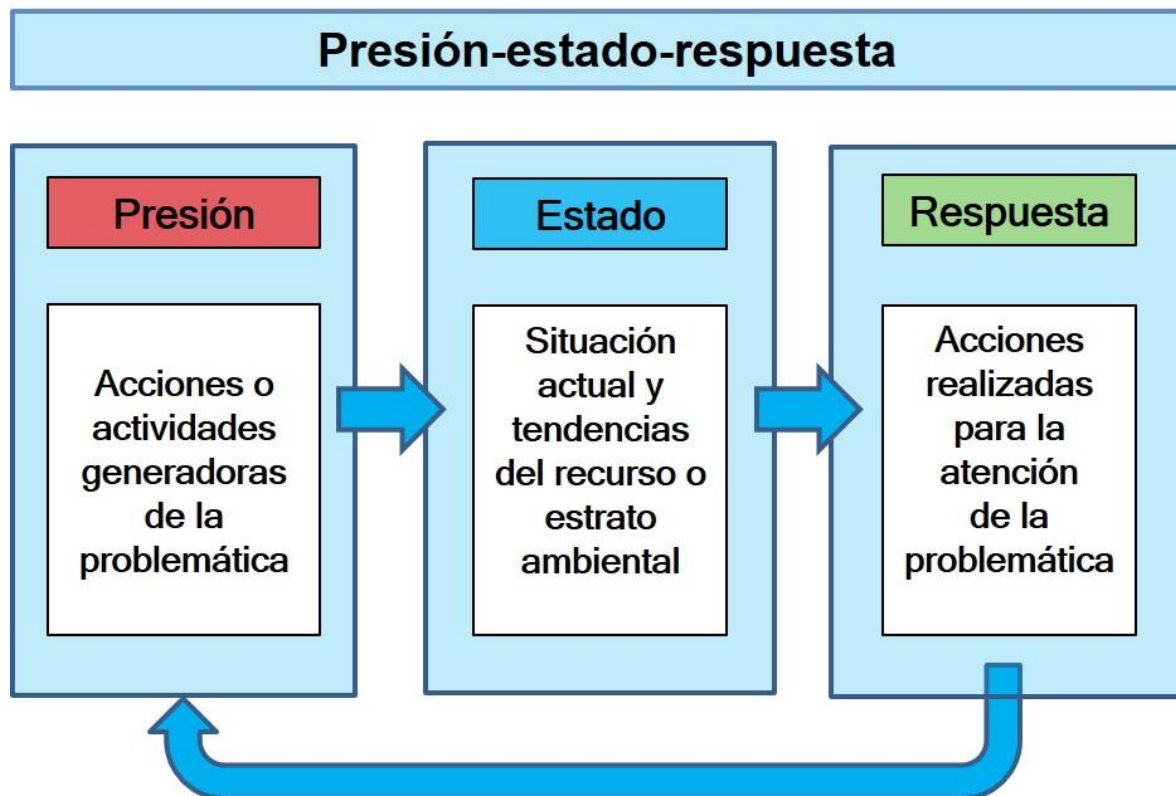


Figura 1. Esquema presión-estado-respuesta. (Fuente: elaborado por los autores con base en OECD, 1998).

El enfoque PER representa un marco adecuado para el desarrollo de indicadores con una problemática común, dado que permite determinar

la efectividad de las acciones para mejorar el estado ambiental, ayudando al establecimiento o reorientación de las políticas públicas, o los criterios para la toma de decisiones de los principales sectores estatales (Rodríguez & Flores, 2009).

En la ciudad se observan dos corrientes principales de los indicadores de gestión del agua: a) aquellos, cuyo objetivo es la medición de desempeño de los organismos operadores de agua; y b) los indicadores orientados en medir la sustentabilidad del recurso bajo una perspectiva ecológica (Tiburcio, 2013), los cuales se describen a continuación:

a) Indicadores de desempeño operacional. Estos indicadores miden la eficiencia y efectividad de los sistemas de abastecimiento de agua, alcantarillado y servicios de saneamiento para satisfacer las necesidades de la población. De acuerdo con Alegre, Melo, y Cabrera (2006), tienen su origen en la década de 1990, cuando los servicios de agua en las urbes empezaron a evaluarse en Europa.

En la actualidad se observa el uso generalizado de dichos indicadores con esquemas variables, dependiendo de su grado de evolución. Por ejemplo, el CCA (2010) presenta una estructura simple de indicadores, cuyos parámetros cuentan con información (CCA, 2010). Otras iniciativas con mayor tiempo de diseño suelen ser sistemas de indicadores con parámetros más precisos, con mediciones periódicas, que tienen la posibilidad de compararlas en el tiempo y estar orientadas a las necesidades de los usuarios desde un instrumento de gestión (NWC, 2010; IMTA, 2014; Danilenko, Van der Berg, Macheve, & Moffitt, 2014).

Pese a que en los últimos años los indicadores de desempeño operacional han logrado una amplia aceptación, se centran sólo en una

parte de la gestión del agua: abastecimiento y saneamiento, por lo que no son suficientes para evaluar de manera integral el ciclo de la gestión del agua urbana ni si éste se guía en los principios de sostenibilidad. Es necesario incorporar elementos que determinen la viabilidad ambiental a largo plazo de una ciudad y su relación con el recurso, tomando en cuenta factores como el estado del recurso hídrico y los elementos que intervienen en el ciclo urbano del agua (Zeman, 2012; Vojnovic, 2013).

b) Indicadores ambientales. El objetivo principal de estos indicadores es medir el estado del recurso hídrico en términos de calidad y cantidad. Por lo general, se centran en el análisis del estado de cuerpos de agua o en los impactos ambientales que generan las actividades humanas. El método de evaluación del ciclo de vida es ejemplo de tal orientación (Lundin & Morrison, 2002), pues se miden los impactos ambientales sobre las masas de agua, como el Proyecto Metron (Kallis & Coccossis, 2003) y el índice canadiense de sostenibilidad del agua (Tiburcio & Perevochtchikova, 2012). Este último evalúa de manera multidimensional la sustentabilidad del recurso en comunidades de no más de cinco mil habitantes, considerando aspectos tanto del estado físico del recurso como las presiones, infraestructura y capacidad de gestión (PRI, 2007).

En conclusión, ambos grupos de indicadores son complementarios: los indicadores de desempeño permiten conocer si las necesidades de la población están satisfechas y los ambientales ayudan a saber el estado de los ecosistemas que proveen el agua. Así, una combinación de ambos podría proporcionar un panorama más completo para la gestión del agua urbana.

Zona de estudio

La Ciudad de México (CDMX), capital del país, se ubica a 2 240 msnm en la parte sudoeste de la cuenca de México (una formación hidrológicamente cerrada). La ciudad se localiza en la parte baja de la cuenca sobre una zona lacustre (Figura 2), que desde tiempos prehispánicos tenía su sustento en un sistema agrícola que aprovechaba todos los elementos naturales de la antigua planicie lacustre (Legorreta, 2006). El crecimiento urbano se extendió y acentuó en las últimas cinco décadas hasta formar la zona metropolitana (ZMCM), cuya superficie es de 4 925 km², con una población de cerca de 21 millones de habitantes, con una densidad media urbana de 160.1 hab/ha (Conagua, 2018).



Figura 2. La ubicación de la zona de estudio (Fuente: elaboración propia con base en Gutiérrez, González, & Zamorano, 2005).

El gobierno federal, estatal y muchas industrias, centros de educación, de empleo y centros culturales se concentran en la CDMX (Garza, 2000). Sin embargo, la calidad de vida de la población ha disminuido de forma significativa en las últimas décadas, a causa de la contaminación y degradación ambiental (Tortajada, 2006; Mazari-Hiriart *et al.*, 2018), sobre todo en el suelo de conservación. Se modificaron de forma drástica aquellos suelos con aptitud para actividades agropecuarias, piscícolas, forestales, agroindustriales, al igual que

poblados rurales que ofrecen una variedad de servicios ambientales críticos para la CDMX, como la regulación del ciclo hidrológico de la cuenca (Pérez-Campuzano, Perevochtchikova, & Ávila-Foucalt, 2012). Los procesos de urbanización continúan su expansión sobre el suelo de conservación (GDF, 2012), modificando el uso de suelo y las actividades productivas, con ello se pierden extensas áreas de recarga de agua.

Dadas las características geográficas y demográficas de la ciudad, la gestión el agua en la CDMX presenta dificultades extraordinarias (Perevochtchikova, 2015). En el transcurso de cuatro siglos se ha construido una compleja infraestructura física e institucional (Perló & González, 2009), con el objetivo de darle viabilidad a la urbe en dos sentidos: 1) abastecerla de agua potable, y 2) evitar que se inunde. Seis grandes infraestructuras y siete túneles vinculan de forma artificial cuatro cuencas hidrológicas bajo una lógica de importación y exportación de agua (González, 2016), que en conjunto arrojan un balance hídrico deficitario con una sobreexplotación crónica del acuífero. Por tanto, las instancias gubernamentales han planteado la necesidad de importar agua de fuentes lejanas y costosas, en un contexto de cambio climático (Sacmex, 2018; Martínez, Kralisch, Escolero, & Perevochtchikova, 2015).

En este sistema interviene una multiplicidad de actores de los ámbitos federal, estatal y municipal. Por ejemplo, la Comisión Nacional del Agua (Conagua); la Secretaría de Medio Ambiente de la CDMX; el Sistema de Aguas de la CDMX (Sacmex); la Comisión Metropolitana de Agua y Drenaje, y los organismos municipales de agua potable y alcantarillado de los municipios, que conforman la ZMCM (Tiburcio, 2013). De acuerdo con González (2016), se identifican tres niveles de gestión:

1) local, que abarca las redes secundarias de distribución de agua potable y las redes de alcantarillado y drenaje; el funcionamiento y operación de este nivel coincide con los límites de las unidades político-administrativas que integran a la ZMCM; 2) metropolitano, que incluye la infraestructura operada por los gobiernos de la CDMX y del Estado de México; y 3) hidropolitano, que concierne a los acueductos, emisores y túneles que vinculan a la ZMCM con otras cuencas. Las acciones y decisiones en este ámbito son tomadas de modo predominante por la federación.

La CDMX cuenta, desde el año 2003, con un programa de política pública de gestión de agua (Sacmex, 2005), pero sólo hasta el año 2010 se propusieron los primeros indicadores. En 2016 se reformularon los indicadores en el Programa de Sustentabilidad y Gestión de los Servicios Hídricos (PSGSH) (Gaceta Oficial de la CDMX, 2016). Los temas que abarcan son eficiencia global (física y comercial), cobertura y mejoramiento de servicios, mantenimiento del sistema hidráulico, tratamiento y reúso. En sus primeras ediciones, los datos carecían de temporalidad y no se explicitaba su forma de medición, lo que evidenciaba la necesidad de contar con un conjunto de indicadores sistemáticos para el sistema de gestión del agua urbana que ayudará a evaluar la efectividad de las políticas públicas en este periodo.

Diseño del marco de indicadores

El diseño del marco de indicadores se apoyó en las metodologías propuestas por Lorenz (1999); Alegre, Cabrera y Merkel (2008); OECD (2003), y Quiroga (2009), para el desarrollo del caso de estudio de la CDMX para el periodo 2000-2018. Se buscó que cumplieran con la función de ser comparables en el tiempo y reflejaran las tendencias aquellos que toman decisiones. Así, se llevaron a cabo las siguientes etapas: a) el análisis documental de los elementos base del marco de indicadores; b) la búsqueda de indicadores existentes afines con el marco conceptual establecido; c) el desarrollo del modelo conceptual de indicadores; d) la formulación de posibles indicadores, y e) la validación de posibles indicadores sobre la base de criterios de selección.

Modelo conceptual

En esta fase se analizaron, con base en la literatura disponible, los conceptos de sustentabilidad (Déleage, 2000; Pierri, 2005; CMMAD, 1987); el enfoque ecosistémico (Perevochtchikova & Martínez, 2010), y de gestión del agua urbana (Hardy *et al.*, 2005; Pinkham, 1999); específicamente la experiencia de Australia (Mitchell, 2006; Brown, Keath, & Wong, 2009). Estos enfoques ayudaron a definir los atributos de referencia para traducirlos en las metas o parámetros susceptibles para

su medición en el modelo de gestión urbana, en el contexto de la CDMX, con base en la información disponible. Una vez establecido el modelo conceptual, comenzó la búsqueda de indicadores para utilizar la experiencia existente.

Búsqueda de indicadores existentes

Se hizo una revisión exhaustiva de la literatura especializada acerca de indicadores relacionados con la gestión del agua en zonas urbanas en bases de datos y sistemas de información oficial y académicos (*Scopus*, *Google Academic*), así como en sitios web de revistas científicas (*Urban Water* y *Water Resources Management*, entre otras), e instituciones nacionales e internacionales con información pública (*Conagua*, *National Water Commission* de Australia). Todo ello a fin de tener una primera aproximación de estos indicadores. En total se revisaron 22 propuestas de indicadores relacionados con la gestión del agua y se analizaron a profundidad las ocho mejor documentadas (señaladas con color gris en el Anexo 1). Se identificaron dos corrientes principales de indicadores: 1) los indicadores de medición de desempeño (CCA, 2010; Danilenko *et al.*, 2014; NWC, 2010; IMTA, 2014), y 2) los indicadores orientados a medir la sustentabilidad del recurso bajo una perspectiva ambiental (Lundin & Morrison, 2002; Kallis & Coccossis, 2003; PRI, 2007).

Modelo conceptual de indicadores

Con base en la clasificación y el análisis de indicadores existentes se observó que los indicadores de desempeño de organismos operadores de agua y de sustentabilidad son complementarios, por lo que se combinaron algunos de éstos dentro del marco de presión-estado-respuesta (PER) (OCDE, 2003). Se optó por utilizar este marco, pues permite delimitar las relaciones causales de un fenómeno, en el que es posible contar con elementos para proponer, establecer o reorientar las políticas públicas en la gestión del agua (OCDE, 2003). En la Figura 3 se presenta el modelo conceptual desarrollado con la propuesta de indicadores para cada bloque (que se presentan en la siguiente etapa).



Figura 3. Modelo conceptual desarrollado para la propuesta de indicadores de GIAU en la CDMX, 2005-2018. (Fuente: elaboración propia con base en OCDE, 2003 y Alegre *et al.*, 2008).

Formulación de posibles indicadores

Para cada grupo de indicadores del marco conceptual se formularon cinco indicadores iniciales para contar con un margen de selección que

permitiera conocer los aspectos más relevantes del proceso de gestión del agua en la zona de estudio de la CDMX. Se consideró que cada indicador formulado cubriera el criterio de relevancia, a fin de reflejar cada una de las dimensiones propuestas (desempeño, presión, estado, respuesta) y que fuera lo suficientemente claro y comprensible. Además, los indicadores propuestos se alinearon con el Programa de Sustentabilidad y Gestión de los Servicios Hídricos de la CDMX (Gaceta Oficial de la CDMX, 2016). Estos indicadores se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Indicadores seleccionados y su fórmula de cálculo.

	Indicador	Fórmula para cálculo	Referencias bibliográfica
Indicadores de desempeño	Disponibilidad de agua potable	$\sum_{n=1}^4 C_{dn} P_{dn} + \sum_{m=0}^{720} C_f P_{fm} \times m$ <p>C_{dn} = coeficiente de acceso al agua potable (varía de 0.5 a 0, dependiendo de la forma de acceso)</p> <p>P_{dn} = porcentaje de viviendas con x forma de acceso al agua potable</p> <p>C_f = coeficiente de frecuencia del servicio (varía de 0.5 a 0, dependiendo de las horas de servicio)</p> <p>P_{fm} = porcentaje de viviendas con m horas de servicio y m = horas de servicio al mes</p>	Alegre <i>et al.</i> (2006); PRI (2007); CCA (2010); IMTA (2014); Jiménez <i>et al.</i> (2011)
	Cobertura de alcantarillado	$\sum_{n=1}^4 C_{dn} P_{dn}$	CCA (2010); IMTA (2014);

		C_{dn} = coeficiente de cobertura de alcantarillado (varía de 1 a 0 de acuerdo con la forma de desalojo de aguas residuales) P_{dn} = porcentaje de viviendas con x forma de descarga de aguas residuales	Danilenko <i>et al.</i> (2014)
	Calidad del agua potable para consumo humano (Porcentaje de muestras realizadas que cumplen con las normas de salud)	$(\frac{y}{x})$ y = número de muestras que cumplen las normas de salud x = número de muestras realizadas	Alegre <i>et al.</i> (2006); NWC (2010), Salud (1995)
Indicadores de presión	Dependencia de fuentes externas	$(\frac{y}{x})$ y = volumen de agua importada de otras entidades x = volumen total de agua producida	OECD (2004)
	Tasa de cambio del uso de suelo de conservación	$\frac{x2 - x1}{Y}$ $x2$ = hectáreas con uso urbano en suelo de conservación en el año final $x1$ = hectáreas con uso urbano en suelo de conservación en el año inicial Y = área de suelo de conservación en el año $x1$	Ulian, Cartes y Lemos (2017)
	Grado de sobreexplotación del agua subterránea y superficial	$\frac{y}{x}$ y = volumen de agua concesionada x = volumen de agua natural disponible	Lundin and Morrison (2002); Okeola y Sule (2012)

Indicadores de estado	Disponibilidad natural del agua en la región	$X - Y$ <p>x = volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo y = volumen actual anual comprometido aguas abajo</p>	Lundin y Morrison (2002); Kallis y Coccosi (2003); PRI (2007)
	Disponibilidad natural media per cápita (promedio anual)	$x - y$ <p>x = volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo y = volumen actual anual comprometido aguas abajo</p>	Lundin y Morrison (2002); Kallis y Coccosi (2003); PRI (2007)
	Calidad del agua superficial (demanda química de oxígeno DQO)	$\frac{1}{n} \sum_{y=1}^n PEy$ <p>PE = valor del parámetro de la DQO n = número de días monitoreados</p>	Lundin y Morrison (2002); Kallis y Coccosi (2003); Salud (1995)
	Calidad del agua superficial (demanda bioquímica de oxígeno DBO)	$\frac{1}{n} \sum_{y=1}^n PEy$ <p>PE = valor del parámetro de la DBO n = número de días monitoreados</p>	Lundin y Morrison (2002); Kallis y Coccosi (2003); Salud (1995)
	Calidad del agua superficial (sólidos suspendidos totales SST)	$\frac{1}{n} \sum_{y=1}^n PEy$ <p>PE = valor del parámetro de la cantidad de SST n = número de días monitoreados</p>	Lundin y Morrison (2002); Kallis y Coccosi (2003); Salud (1995)
Indicadores de respuesta	Porcentaje de fugas de agua	<p>Estimación del porcentaje de volumen de agua perdida en red</p> <p>x = volumen de agua estimada que se pierde en fugas</p>	Lundin y Morrison (2002); SACMEX (2018)

Porcentaje de agua residual tratada anualmente en la entidad	$\left(\frac{y}{x}\right)100$ $y = \text{volumen de agua residual tratada y reutilizada}$ $x = \text{volumen de agua residual producida}$	Lundin y Morrison (2002)
Porcentaje de agua residual tratada y reutilizada anualmente en la entidad	$\left(\frac{y}{x}\right)100$ $Y = \text{volumen de agua residual tratada}$ $x = \text{volumen de agua residual producida}$	Lundin y Morrison (2002)

En la formulación de los indicadores se buscó el cumplimiento de las siguientes características: a) integrativos, abarcando las dimensiones ambientales y socioeconómicas del paradigma de la gestión del agua urbana; b) adecuados espacialmente al contexto; c) comunicativos, expresando las tendencias y los riesgos de manera entendible, y d) tuvieran una visión a futuro, con indicadores de respuesta encaminados hacia la mejora en el proceso de la gestión del agua urbana.

Validación de indicadores

La validación de los indicadores consistió en la evaluación de cada indicador por medio de un panel de 22 expertos en el tema, a los que se

les envió un cuestionario (ver Anexo 2), donde calificaron en una escala de 0 a 10 los indicadores en términos de claridad y pertinencia. Se obtuvieron las respuestas provenientes de la academia, organismos estatales de servicios de agua, instituciones y organismos internacionales. También se recibieron las observaciones sobre las limitaciones de los indicadores, como disponibilidad, accesibilidad, confiabilidad y consistencia de los datos, así como espacialidad y temporalidad. Se sugirió establecer una línea base de medición para cada indicador, con el propósito de hacer comparaciones entre la situación inicial y las situaciones actuales, futuras o ideales.

De una lista inicial de 20 indicadores propuestos, con base en la literatura revisada (IMTA, 2014; Danilenko *et al.*, 2014, Alegre *et al.*, 2006; Lundin & Morrison, 2002), se quedaron 12 con las puntuaciones más altas, así como aquellos orientados a una política pública, e información disponible y susceptible para su actualización (Tabla 1). Para cada indicador se desarrolló su hoja metodológica (formato presentado en el Anexo 3), que constituyó una herramienta primordial en la construcción de cada indicador, puesto que permitió objetivar los contenidos, significados, alcances, metodología y disponibilidad de información para los indicadores (Quiroga, 2009), así como diferenciar aquellos susceptibles de medición.

Resultados

Interpretación de resultados

Con el fin de comparar los indicadores y evitar la congregación de unidades de medidas distintas se realizó la normalización de los mismos, de tal forma que todos tuvieran una escala de medición de 0 a 100, salvo para el indicador de cambio en el uso de suelo, que es de 0% (Schuschny & Soto, 2009) (Tabla 2). Esta normalización es útil para la interpretación gráfica posterior de los resultados, donde se propone la gráfica de telaraña para la comprensión visual de aquellos que realizarán la toma de decisiones (Zeman, 2012).

Tabla 2. Resultado de cálculo de los indicadores de GIAU para la CDMX, 2005-2018.

Nombre	Cálculo del indicador	Fuente de información	Situación ideal	Normalización	Valores Normalizados	Meta ideal normalizada
Disponibilidad de agua potable	91 puntos	Censos de población y vivienda Encuesta Nacional de Ingreso Hogares (www.inegi.org.mx)	100 puntos	0 a 100%	91%	100%
Cobertura de alcantarillado	96 puntos	Censos de población y vivienda. Encuesta Nacional de Ingreso Hogares (www.inegi.org.mx)	100 puntos	0 a 100%	96%	100%

Calidad del agua potable para consumo humano	87%	Reporte de calidad del agua Sistema de Aguas de la Ciudad de México (www.sacmex.cdmx.gob.mx/calidad-agua/analisis-calidad-del-agua)	100	%	87%	100%
Dependencia de fuentes externas	53%	SACMEX (2012). Programa de Gestión Integral de los recursos hídricos, visión 20 años	0%	%	53%	100%
Cambio uso de suelo de conservación	657.62 ha/año	Conagua. Estadísticas del agua en México. Estadísticas de agua región Hidrológica (www.sina.conagua.gob.mx)	0 ha/año	Tasa de cambio de uso de suelo de conservación	99%	100%
Grado de sobreexplotación del agua subterránea y superficial	137%	Conagua. Estadísticas del agua en México. Estadísticas de agua región hidrológica (www.sina.conagua.gob.mx)	0%	%	137%	100%
Disponibilidad natural del agua en la región	3 401 millones de m ³	Conagua. Estadísticas del agua en México. Estadísticas de agua región hidrológica (www.sina.conagua.gob.mx)	No aplica	Tasa de cambio de la disponibilidad de agua	12%	0%
Disponibilidad natural media per cápita	142 m ³ /habitante	Conagua. Estadísticas del agua en México. Estadísticas de agua región hidrológica (www.sina.conagua.gob.mx)	1 000 m ³ /hab	% De disponibilidad per cápita en relación con los estándares internacionales	16%	100%
Calidad del agua superficial DQO	198 mg/l	Datos obtenidos solicitados a Conagua. Calidad del agua 2005-2015	Menor o igual a 10 mg/l	Grado de contaminación, donde 100% es calidad excelente y 0 es fuertemente contaminada	40%	100%

Calidad del agua superficial DBO	43 mg/l	Datos obtenidos solicitados a Conagua. Calidad del Agua 2005-2015	Menor o igual a 3 mg/l	Grado de contaminación, donde 100% es calidad excelente y 0 es fuertemente contaminada	40%	100%
Calidad del agua Superficial SST	46 mg/l	Datos obtenidos solicitados a Conagua. Calidad del Agua 2005-2015	25 mg/l	Grado de contaminación, donde 100% es calidad excelente y 0 es fuertemente contaminada	60%	100%
Porcentaje de fugas de agua	42%	Diagnóstico, logros y desafíos (SACMEX, 2018)	20%	%	42%	20%
Porcentaje de agua residual tratada y reutilizada anualmente en la entidad	36%	Conagua. Situación del subsector agua potable alcantarillado y saneamiento 2006-2017 (https://www.gob.mx/conagua/documentos/situacion-del-subsector-agua-potable-drenaje-y-saneamiento)	100%	%	36%	100%
Porcentaje de agua residual tratada anual en la entidad	36%	Conagua. Situación del subsector agua potable alcantarillado y saneamiento 2006-2017 (https://www.gob.mx/conagua/documentos/situacion-del-subsector-agua-potable-drenaje-y-saneamiento)	100%	%	36%	100%

La escala y frecuencia de medición adoptadas para cada indicador fluctuó de local a regional, y de variación mensual a quinquenal de acuerdo con las características de cada parámetro medido. Los indicadores de calidad de agua son medidos cada mes, mientras que la

disponibilidad de agua potable y cobertura de alcantarillado se actualizan de los censos de población o de las encuestas de hogares que ha realizado el INEGI (INEGI, 2014; INEGI, 2017) en periodos intermitentes. La dependencia de fuentes de agua potable también es un indicador cuyo valor depende de las obras hidráulicas construidas (las cuales pueden tardar años en construirse), y de los procesos de urbanización y crecimiento de la población, cuyo crecimiento es gradual, por lo que se mide cada varios años.

Recolección de datos y cálculo de los indicadores

Una vez definidos los indicadores y las fórmulas para su cálculo, se procedió a recopilar la información disponible (Tabla 2). Se recolectaron, manejaron y analizaron datos de una variedad de fuentes primarias y secundarias. Se emplearon datos de la red de monitoreo de la Conagua (2015b); censos de población y vivienda (INEGI, 2000; INEGI, 2010); encuestas nacionales (INEGI, 2014; INEGI, 2015; INEGI, 2016; INEGI, 2017); informes gubernamentales (SACMEX, 2012; Conagua, 2003; Conagua, 2004; Conagua, 2006; Conagua, 2007a; Conagua, 2007b; Conagua, 2008; Conagua, 2009; Conagua, 2010; Conagua, 2011; Conagua, 2012; Conagua, 2013; Conagua, 2014; Conagua, 2015a; Conagua, 2016; Conagua, 2017), y otras publicaciones (Jiménez, Gutiérrez, Marañón, & González, 2011; SACMEX, 2018). Se emplearon

datos y métodos de análisis cuantitativos y cualitativos. Por ejemplo, los datos cuantitativos incluyeron información sobre el caudal de los ríos, la calidad del agua y las características demográficas, utilizando sistemas de información geográfica. Lo cualitativo refiere a la investigación y consulta de archivos y documentos de política pública (Tiburcio, 2013).

Para los 12 indicadores propuestos se contó con la información mínima disponible, verificando su posibilidad de medición a futuro. Los resultados para el caso de la CDMX ilustran el potencial del marco de indicadores desarrollado para evaluar el proceso de la gestión integrada del agua urbana.

Por otro lado, se usó la gráfica de telaraña como forma de visualización de la aplicación del marco de indicadores (Figura 4), la cual permite hacer evaluaciones en términos prospectivos, estimar los cambios y tendencias hacia la sustentabilidad de las políticas públicas, y comparar los valores reales entre la situación ideal y actual.

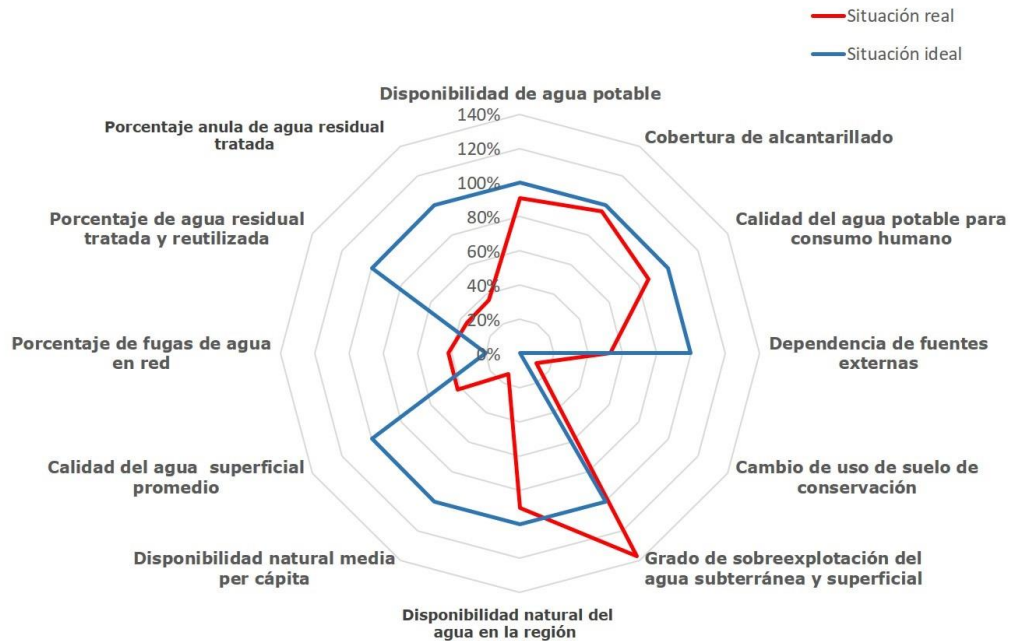


Figura 4. Representación de indicadores de gestión del agua urbana en la CDMX, 2005-2018 (en escala de 0 a 100%).

Los resultados de los indicadores para el escenario existente (años 2005-2018) se detallan a continuación.

El grupo de indicadores de desempeño permiten valorar las dimensiones de acceso al agua potable y el saneamiento, con los siguientes parámetros: infraestructura que posibilite el acceso físico al agua, la frecuencia que posibilite su disponibilidad y una adecuada calidad de agua para consumo humano. Para este grupo se observan puntuaciones altas, con valores de 96 puntos, 91 puntos y 87% para disponibilidad del agua, cobertura de alcantarillado y calidad del agua potable, respectivamente.

Por el contrario, para el grupo de indicadores de presión, los resultados no son favorables, con un 50% de dependencia de fuentes externas, 130% de sobreexplotación de fuentes de agua y 657 ha anuales de cambio de uso del suelo hacia la urbanización de conservación de la CDMX, lo cual demuestra que la gestión del agua urbana en la CDMX está en condiciones críticas.

En el grupo de indicadores de estado, los atributos principales fueron calidad y cantidad de agua. Para cantidad se obtuvieron valores de 3 401 Mm³ de disponibilidad natural anual de agua en la región, y 141 m³/habitante al año de disponibilidad natural media per cápita. La calidad del agua en cuerpos superficiales también resultó pobre. Los indicadores de calidad de DQO, DBO y SST consiguieron valores de 198, 43 y 46 mg/l, respectivamente; es decir, valores determinados como contaminados para DQO y DBO, y aceptable para SST, de acuerdo con los criterios de la Conagua (2015b).

El grupo de indicadores de respuesta obtuvo valores de 36.6% tanto para el tratamiento como para el reúso de aguas residuales, lo que indica que la CDMX ha tomado acciones de tratamiento y reutilización de agua residual, pero sigue siendo parcial. Para el indicador de fugas de agua en la red de distribución se logró un valor de 42%.

Los resultados de estos indicadores se organizaron en un formato accesible para la comunicación fácil e interpretación imparcial de distintos potenciales usuarios de la información (Tabla 3). Estos resultados, pese a ser parciales y limitados por la deficiencia en la cantidad y calidad de datos, representan la línea base de la cual se puede partir para futuras comparaciones, por lo que puede convertirse en un referente que señale

pautas de acción en los actores involucrados, como gobierno, academia, industria y sociedad civil.

Tabla 3. Resumen de las tendencias de los indicadores propuestos para la GIAU para la CDMX, 2005-2018.

Nombre	Unidad de medida	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Tendencia
Disponibilidad de agua potable	Puntuación						91				91			91		Estable
Cobertura de alcantarillado	Puntuación						97					96				Estable
Calidad del agua potable para consumo humano	%							88	86	85	85	85	85	89	87	Estable
Dependencia de fuentes externas	%		51	50	50	48	48	49		53						Aumentando
Hectáreas con cambio uso de suelo de conservación	ha/año				657											Sin tendencia
Grado de sobreexplotación del agua subterránea y superficial	%	119	119	154	155	156	132	133	134	136	136	137				Aumentando

Disponibilidad natural del agua en la región	Mm ³	3 934	3 934	3 009	3 008	2 885	3 514	3 513	3 515	3 468	3 458	3 442	3 436	3 401	Declinando
Disponibilidad natural media per cápita (promedio anual)	m ³	186	192	144	143	135	165	164	160	152	150	148	145	142	Declinando
Calidad del agua superficial DQO	mg/l	149	197	244	233	324	180	280	144	173	226	179	195	198	Estable
Calidad del agua superficial DBO	mg/l	42	57	65	114	161	98	139	35	45	32	31	56	43	Estable
Calidad del agua Superficial SST	mg/l	60	78	42	54	88	61	103	55	58	44	38	53	46	Estable
Porcentaje de fugas en red	%			36	36	38	39	39	40	42	42	42	42	42	Aumentando
Porcentaje de agua residual tratada y reutilizada anualmente en la entidad	%				13		14	15	15			15	41	37	Aumentando
Porcentaje de agua residual tratada	%				13		14	15	15			15	41	37	Aumentando

anual en la entidad																		
---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Discusión

En términos generales, los valores de los indicadores revelan que la gestión del agua de la CDMX se encuentra estancada en el paradigma convencional orientado al saneamiento (Pinkham, 1999). El grupo de indicadores de desempeño es el único que expone valores positivos debido a que la política de agua centra sus esfuerzos en una infraestructura gris (Brown *et al.*, 2009).

El indicador de disponibilidad de agua potable y calidad del agua presenta valores altos, comparables a los de grandes ciudades en el mundo (SACMEX, 2018). Sin embargo, se debe considerar que existen disparidades en la disponibilidad de agua potable por alcaldía; por ejemplo, Jiménez *et al.* (2011) señalan a la alcaldía Milpa Alta con un nivel de rezago importante con respecto del resto de la ciudad, donde se observa que contar con infraestructura no significa tener acceso a agua en calidad y cantidad suficientes.

Los valores de los indicadores de presión del recurso confirman que el modelo de gestión de agua en la CDMX está basado en la planificación, construcción y gestión centralizada de los sistemas de abastecimiento de

agua con el objetivo de satisfacer la demanda de agua, sin tomar en cuenta los límites naturales de disponibilidad. La extracción de agua de fuentes internas y externas ha ido aumentando, con valores de sobreexplotación que han pasado de 120 a 137% en un lapso de diez años, y una mayor dependencia de fuentes de suministro externas, que alcanza el 53% del agua; ello evidencia la fuerte presión ejercida sobre el recurso e implica mayor vulnerabilidad en el futuro. Martínez *et al.* (2015) advierten que las fuentes externas resultarían más vulnerables en el contexto de cambio climático.

De igual forma se observa que la tasa de urbanización alcanza el 1% anual en el suelo de conservación, que se relaciona desde el paradigma convencional con un aumento de demanda de agua que se hará más crítica en el futuro (Perló & González 2009). Cabe señalar que esta cifra puede considerarse baja, pero tiene efectos acumulativos (INE, 2006). Por otra parte, hay que tener en cuenta que los mayores cambios en el uso de suelo, desde una perspectiva regional (INE, 2006; Cervantes, 2013), se están dando en los municipios que conforman a la periferia de la ZMCM (Delgado, Galindo, & Ricárdez, 2008), por lo que es importante incorporar esta escala en la gestión del agua urbana.

Los indicadores de estado presentan una tendencia a disminuir la cantidad de agua disponible a niveles preocupantes. La disponibilidad promedio per cápita ha llegado a 141 m³/habitante al año; que de acuerdo con el índice de estrés hídrico (Falkenmark, 1989) señala que la CDMX se encuentra en la situación del estrés absoluto. Los niveles tan bajos están justamente relacionados con el crecimiento de la ciudad y la gestión

orientada a la demanda, y no a la disponibilidad natural (Escolero, Kralisch, Martínez, & Perevochtchikova, 2016).

En cuanto a la calidad de agua en cuerpos superficiales, los valores obtenidos se clasifican de muy contaminados a contaminados, según la Conagua (2008). Esta situación se ha promovido por entubamiento de los ríos y la mezcla con aguas residuales (Legorreta, 2006). Las estadísticas publicadas por el gobierno (Conagua, 2009; Conagua, 2007b) incluso hacen una diferenciación entre los ríos que se usan como receptores de aguas residuales, considerándolos como infraestructura de drenaje, y aquellos que todavía forman parte del ecosistema.

Para los indicadores de respuesta se observan tendencias relacionadas con el porcentaje de fugas reportado por el SACMEX (2018), con aumento de 36 a 42% en 10 años, lo que supera en un 20% lo recomendado o esperado en indicadores de respuesta. Por otro lado, con una vinculación transversal gradual a través de la creación de infraestructura, se podrían minimizar los impactos ambientales mediante la recuperación y reutilización de aguas residuales, como con la construcción en 2015 de la planta de tratamiento de aguas residuales en Atotonilco, cuyos efectos aún son desconocidos.

Limitaciones del marco de indicadores

Es importante mencionar las limitantes encontradas en el desarrollo de este marco de indicadores. La primera surge de la complejidad y la subjetividad involucradas en la formulación de un marco de indicadores (Ioris, Hunter, & Walker, 2008; Jensen & Wu, 2018), en particular, cuando se busca abordarlo desde un enfoque integrador. Otra limitante está en relación con una simplificación excesiva de la realidad (Bertrand-Krajewsky, Barraud, & Chocat, 2000); sin embargo, se debe entender que un número relativamente pequeño de indicadores hacen la evaluación de la gestión del agua un tema más manejable.

El problema más agudo y desafiante en éste, y en otros trabajos fue y es la adquisición de datos (Ioris *et al.*, 2008; Shah, 2004; Koop & van Leeuwen, 2015). La disponibilidad de datos confiables, actuales y con potencial de ser replicables a futuro (Perevochtchikova, 2013) representó una limitante más. Pese a que en el transcurso de esta investigación se observó mayor disponibilidad de datos oficiales a través de plataformas digitales en los años recientes, aún suelen ser deficientes o de acceso restringido. La falta de datos adecuados repercute en su credibilidad a través de la fiabilidad, dependiente de cómo se reúne la información (Dunn & Bakker, 2011) y su exactitud (que mide la aproximación entre el resultado de la medición y el valor, convencionalmente, de la variable medida, dando el error asociado con la evaluación) (Martínez *et al.*, 2007). Perevochtchikova (2013) identificó en el sistema de monitoreo ambiental de la CDMX una falta de actualización de los datos utilizados en las estadísticas oficiales; poca cantidad de puntos de monitoreo; falta de continuidad en las series de tiempo, y registros incompletos en las estadísticas publicadas; todo ello puede complejizar la situación de acceso a la información necesaria para la construcción de indicadores.

En tal sentido, la exactitud y fiabilidad de los valores del marco de indicadores propuestos no ha podido ser valorada, en virtud de que se obtuvieron de bases de datos e informes gubernamentales que se publican sin ofrecer información acerca de cómo se consiguieron esos datos. Por otro lado, la falta de datos y la inconsistencia en varios de los parámetros dificultan la posibilidad de una proyección a futuro. Sin embargo, se considera que el marco desarrollado puede servir para aquellos que toman decisiones en la materia de la gestión del agua en la Ciudad de México.

En conclusión, en los últimos años han surgido indicadores de gestión del agua urbana con una visión más integradora, ya sea desde la perspectiva de la seguridad del agua (Jensen & Wu, 2018), la planificación del recurso (Satya, Prabhat, Anurag, & Ramesh, 2019), o en evaluar la resiliencia de los sistemas de agua (van Leeuwen, Frijns, van Wezel, & van de Ven, 2012). Algunos temas que emergen en las publicaciones más recientes son gobernanza, seguridad del agua, y resiliencia de los sistemas de agua en un contexto de cambio climático, aunque no se propone un indicador que mida este efecto. En la presente investigación tampoco se propone un indicador relacionado con el cambio climático, pero se considera que los indicadores de disponibilidad natural del agua pueden utilizarse como una medida indirecta. En otras investigaciones se menciona que el volumen de aguas residuales tratadas es una medida de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Campos *et al.*, 2016); pero, en general, se confirma que profundizar en la generación de indicadores de GIAU en el contexto de cambio climático queda como una tarea pendiente.

Los indicadores desarrollados integran una propuesta desde el enfoque presión-estado-respuesta (PER) y representa una aportación en el contexto Latinoamericano, que puede ser replicable por la descripción detallada del proceso completo.

Conclusiones

La presente investigación es una propuesta para facilitar el proceso de la GIAU, en la fase de evaluación de la situación actual. El marco de indicadores desarrollado pretende servir de una herramienta práctica para posibilitar la comprensión en un contexto complejo para aquellos que toman decisiones con respecto al tema y permita mejor comprensión de las dimensiones del proceso de gestión del agua, así como la reorientación del paradigma convencional hacia la gestión integrada del agua urbana.

En este marco, para la CDMX 2005-2018 se propusieron y midieron 12 indicadores. Los indicadores de desempeño se calificaron positivamente, en tanto que los de presión y estado obtuvieron valores bajos en cuanto a la sustentabilidad del recurso, lo cual evidencia que el paradigma de gestión del agua urbana ha llegado a un punto crítico que amerita acciones urgentes de política pública. Para los indicadores de respuesta se observó un ligero aumento en la tendencia, aunque insuficiente.

El marco de indicadores es una propuesta que demostró ser una herramienta práctica, útil y replicable, aun cuando los datos disponibles o el conocimiento sobre el sistema a evaluar fueran limitados. Se logró el objetivo de evaluar la situación actual en el que se advierte que deben adaptarse acciones más efectivas. De igual forma, se han identificado vacíos de información. El siguiente paso consiste en someterlo al escrutinio de los interesados, para refinar y mejorar los indicadores, a fin de que sean aceptados y utilizados por aquellos que toman decisiones. En el futuro también se observa la necesidad de probar la herramienta, comprobar su utilidad y realizar la comparación en otros contextos, así como integrar indicadores más complejos, como la seguridad del agua y la resiliencia de los sistemas de agua en el contexto de cambio climático.

Anexos

Anexo 1

Lista de proyectos evaluados en el desarrollo de propuestas de indicadores de evaluación de la gestión del agua.

	Nombre del indicador	País	Marco conceptual	Referencias bibliográficas
1	<i>Metron Project</i> , indicadores de sustentabilidad de uso del agua	Grecia	Por tema	Kallis y Cocosis (2000)
2	Índice canadiense de sustentabilidad del agua	Canadá	Índice temático	Policy Research Initiative Canada, (2007)
3	Evaluación del ciclo de vida	Suecia	Ciclo de vida	Lundin y Morrison (2002)
4	Asociación Internacional del Agua (IWA, por sus siglas en inglés)	No aplica	Desempeño Organismos	Alegre <i>et al.</i> (2006)
5	Indicadores de desempeño de Australia	Australia	Desempeño Organismos	<i>Water Services Association of Australia (WSAA), the National Water Commission and the NWI Parties</i>
6	<i>International Benchmarking Network Association</i>	No aplica	Desempeño Organismos	<i>The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities (IBNET) (Danilenko et al., 2014)</i>
7	Indicadores de desempeño para organismos operadores en México	México	Desempeño Organismos	CCA (2010)
8	Programa de indicadores de gestión de organismos Operadores	México	Desempeño Organismos	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2014)
9	Desarrollo de indicadores de gestión del agua	Brasil/Escocia	Por tema	Ioris <i>et al.</i> (2008)
10	<i>Hamilton's VISION 2020 Sustainability Indicators</i>	Canadá	Por tema	<i>The City of Hamilton Planning & Development Department</i>
11	<i>The Green Plan</i>	Ontario Canadá	No específica	<i>International Development Research Centre (IDRC)</i>

12	<i>Environmental Justice 2020 Action Agenda</i>	EUA	Por tema	<i>Environmental Protection Agency USA (2016)</i>
13	<i>Jacksonville Quality of Life Progress Report: A Guide for Building a Better Community</i>	EUA	Presión-estado-respuesta, enfoque basado en el capital	<i>Jacksonville Community Council, Inc. Fuente: IISD (2010)</i>
14	<i>Lake Superior Basin Environmental and Socioeconomic Sustainability Indicators Project</i>	EUA	Por tema	<i>GEM Center for Science and Environmental Outreach (IISD, 2010)</i>
15	Indicadores de la COMUNIDAD	EUA	Por tema	IISD, 2010
16	<i>Environmental Indicators for Metropolitan Melbourne</i>	Australia	Presión-estado-respuesta, enfoque basado en el capital	Steering Committee Members, Wong, Vera
17	<i>Cape Town State of Environment/Sustainability Indicators</i>	Sudáfrica	Fuerzas motrices, estado-impacto-respuesta	The City of Cape Town (IISD, 2010)
18	<i>Durban Metro State of the Environment and Development</i>	Sudáfrica	Presión-estado-respuesta	Durban Metropolitan Area, and the Department of Environmental Affairs and Tourism (IISD, 2010)
19	<i>Greater Johannesburg State of the Environment Internet Reporting (GJSOE)</i>	Sudáfrica	Presión-estado-respuesta	<i>Johannesburg Metropolitan Area, and the Department of Environmental Affairs and Tourism Fuente: IISD (2010)</i>
20	<i>State of the Environment in Tbilisi, 2000; Core Set of Indicators</i>	Rusia	No específica	<i>The City of Tbilisi (IISD, 2010)</i>
21	<i>Environmental Indicators of São Paulo City-GEO Cidades de São Paulo</i>	Brasil	Presión-estado-impacto-respuesta (PEIR)	Ciudad de Sao Paolo, Brasil
22	Sistema de indicadores para la gestión de las redes de	España	Indicadores de desempeño	Martínez <i>et al.</i> (2007)

	agua potable. Proyecto aqua-control			
--	--	--	--	--

Anexo 2

Cuestionario para expertos. Indicadores ambientales para la gestión del agua:

Cuestionario enviado:

Nombre y apellido del evaluador: _____

Institución a la que pertenece: _____

Email: _____

Área en la que se desempeña: _____

Apreciable participante:

La finalidad de este trabajo es establecer un marco de indicadores ambientales para la gestión del agua en la Ciudad de México. Se pretenden implantar parámetros que permitan conocer el estado de la gestión del agua en ciudades, y que incluyen tanto aspectos de la eficacia en la satisfacción de las necesidades de agua de la población como de los elementos que inciden en la calidad y cantidad de agua disponible para la sociedad y los ecosistemas. Se espera concluir esta investigación con la aportación de un conjunto de indicadores de eficiencia y eficacia, así como de **presión**, de estado de recursos hídricos y de **respuesta** (dentro del esquema propuesto por la OECD, 1998) que sirvan como herramienta práctica para la planeación de las medidas adecuadas en la toma de decisiones.

Su valoración, como experto en el tema del agua, es muy importante para determinar la relevancia, posibilidad de medición y de limitaciones de los indicadores propuestos. Por ello, solicitamos su opinión acerca de los siguientes parámetros, así como sus valiosas sugerencias.

Valore, por favor, los indicadores propuestos en escala de 1 a 5 (siendo "1" el valor más bajo y "5" el valor más alto), de acuerdo con lo siguiente:

1. Pertinencia del indicador.
2. Claridad del indicador.

Indique, de acuerdo con su opinión, las posibles limitaciones del indicador (por ejemplo, posibilidad de medición, frecuencia y si responden a cambios en las políticas ambientales).

¡Gracias por su colaboración!

Indicadores de desempeño operativo

El propósito de estos indicadores es medir la eficiencia y la eficacia en la satisfacción de las necesidades de agua de la población por parte de las autoridades.

No.	Indicadores	Unidad de medida	Fuente	Valoración		Limitaciones del indicador
				Pertinencia	Claridad	
1	Indicador de disponibilidad de agua potable (forma de acceso al servicio y frecuencia del servicio de agua potable)	Puntuación máxima = 100	INEGI SACMEX			
2	Dotación de agua por habitante (promedio anual en la Ciudad de México)	l/habitante/ día	INEGI SACMEX			
3	Indicador de cobertura de alcantarillado	Puntuación máxima = 100	INEGI SACMEX			
4	Calidad del agua potable para consumo humano (porcentaje de muestras realizadas que cumplen con las normas de salud)	%	SACMEX			
5	Porcentaje de fugas de agua del volumen total de agua producido	%	SACMEX			

Observaciones

El indicador de disponibilidad de agua potable responde a las críticas de las diferencias en la frecuencia de la cobertura de agua potable y la frecuencia de suministro. Se basa en las variantes de acceso al agua, expuestas en los censos de población del INEGI (dentro de la vivienda, dentro del terreno de la vivienda, llave pública o agua acarreada y la frecuencia de suministro [por horas al mes], y la puntuación máxima posible es 100, si toda la población cuenta con agua potable dentro de su casa de forma ininterrumpida. Para su cálculo se utiliza la siguiente Ecuación (1): $\sum_{n=1}^4 C_{dn} P_{dn} + \sum_{m=0}^{720} C_f P_{fm} * m = \text{Indicador de disponibilidad de agua}$. Donde C_{dn} = coeficiente de acceso al agua potable (varía de 0.5 a 0, dependiendo de la forma de acceso); P_{dn} = porcentaje de la viviendas con x forma de acceso al agua potable; C_f = coeficiente de frecuencia del servicio (varía de 0.5 a 0, dependiendo de las horas de servicio); P_{fm} = porcentaje de viviendas con m horas de servicio, y m = horas de servicio al mes.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

SACM: Sistema de Aguas de la Ciudad de México.

El indicador de cobertura de alcantarillado es una ponderación de la población con los diferentes tipos de formas de desalojo de aguas residuales (red pública, fosa séptica, tubería que va a dar a un río, barranca, lago o al mar, o se carece por completo de alcantarillado). Su Ecuación (2) de cálculo es: $\sum_{n=1}^4 C_{dn} P_{dn} = \text{Indicador de cobertura de alcantarillado}$. Donde C_{dn} = coeficiente de cobertura de alcantarillado (varía de 1 a 0 de acuerdo con la forma de desalojo de aguas residuales); P_{dn} = porcentaje de la población con x forma de aguas residuales.

Indicadores de presión

El propósito de estos indicadores es medir la presión que ejercen las actividades humanas en el recurso hídrico.

No	Indicadores	Unidad de medida	Fuente	Valoración		Posibles limitaciones del indicador
				Pertinencia	Claridad	
1	Demanda de agua potable (volumen de agua concesionada)	m ³	Conagua			
2	Volumen de agua extraída	m ³	SACMEX Conagua			
3	Volumen de descarga de agua residual producida (por	m ³	SACMEX			

	tipo de descarga: municipal, industrial, etc.)					
4	Dependencia de fuentes externas (porcentaje de agua importada de otras cuencas o acuíferos con respecto al volumen total suministrado)	%	SACMEX Conagua			
5	Hectáreas con modificaciones en el uso de suelo (por ejemplo, agrícola y/o urbano)	ha/año	SMA-GDF			

Conagua: Comisión Nacional del Agua.

SACM: Sistema de Aguas de la Ciudad de México.

Indicadores de estado

El propósito de estos indicadores es medir la situación actual para poder establecer las tendencias de cambio del recurso hídrico.

No	Indicadores	Unidad de medida	Fuente	Valoración		Posibles limitaciones del indicador
				Pertinencia	Claridad	
1	Disponibilidad natural media del agua (promedio anual)	m ³	Conagua SACM			
2	Disponibilidad natural media per cápita (promedio anual)	m ³ /habitante	Conagua, SACMEX, INEGI			
3	Recarga media de los acuíferos (promedio anual)	m ³	Conagua			
4	Volumen de agua almacenado en cuerpos de agua superficial (promedio anual)	m ³	SACM			

5	Calidad del agua (en estaciones de monitoreo): demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y sólidos totales suspendidos	mg/l	Conagua/ SACM			
---	---	------	------------------	--	--	--

Indicadores de respuesta

El propósito de estos indicadores es medir las acciones realizadas con el objetivo de atenuar los efectos desfavorables de la actividad humana sobre el agua.

No	Indicadores	Unidad de medida	Fuente	Valoración		Posibles limitaciones del indicador
				Pertinencia	Claridad	
1	Porcentaje de fugas reparadas del total de fugas reportadas en la Ciudad de México	%	Conagua SACMEX			
2.	Porcentaje de agua residual tratada anualmente en la Ciudad de México	%	Conagua			
3.	Porcentaje de agua residual reutilizada anualmente en la Ciudad de México	%	SACMEX			
4.	Construcciones certificadas bajo el esquema de edificios sustentables en el rubro del agua en la Ciudad de México	Número	SMA			
5	Número de equipamientos ambientales por cada millón de habitantes	Número de equipamientos por cada millón de habitantes	SMA SEP Conagua			

Este indicador fue desarrollado por de Esteban-Curiel (2001), como parte de un cuadro de indicadores de evaluación de la educación ambiental en España. Describe la inversión hecha en aspectos de educación ambiental no formal. Se consideran equipamientos ambientales aquellas instalaciones extraescolares dotadas de infraestructura y recursos suficientes como para desarrollar actividades que sirvan para los fines y propósitos de la educación ambiental, que facilitan la difusión de conceptos ambientales para el fomento del respeto y el cuidado hacia el medio ambiente.

SMA: Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México.

SEP: Secretaría de Educación Pública.

- ¿Conoce otro(s) indicador(es) de la gestión del agua que pudieran ser considerados para la Ciudad de México? ¿Cuáles son?
- De las fuentes de información propuestas, ¿considera que son apropiadas y confiables?
- ¿Conoce otras fuentes de información para los indicadores? ¿Cuáles serían?
- ¿Tiene observaciones o comentarios que desee expresar?

Muchas gracias por sus aportaciones

En breve le haremos llegar los resultados de la evaluación

Anexo 3

Formato para el desarrollo de hoja metodológica de indicadores para la GIAU, CDMX, 2005-2018:

Nombre del indicador
Justificación:

Nombre:	
Definición breve:	
Unidad de medida:	
Objetivos y metas:	
Definiciones y conceptos:	
Método de medición:	
Periodicidad:	
Escala:	
Observaciones:	
Fuentes de datos:	
Posibles limitaciones del indicador:	

Referencias

- Alegre, H., Cabrera, E., & Merkel, W. (2008). Current challenges in performance assessment of water services. *Water Utility Management International*, 3(3), 6-7.
- Alegre, H., Melo, B., & Cabrera, E. (2006). *Performance Indicators for Water Supply Services* (2nd ed.). London, England: IWA Publishing.
- Andrade, P. Á., & Navarrete, L. B. (2004). *Lineamientos para la aplicación*

del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico.
Ciudad de México, México: Programa de las Naciones Unidas para
el Medio Ambiente.

- Bhaduri, A., Bogardi, J., Siddiqi, A., Voigt, H., Vörösmarty C., Pahl-Wostl C., Bunn S. E., Shrivastava P., Lawford R., Foster S., Kremer H., Renaud F. G., Bruns A., & Osuna, V. R. (2016). Achieving sustainable development goals from a water perspective. *Frontiers in Environmental Science*, 4, 64. DOI: 10.3389/fenvs.2016.00064
- Bertrand-Krajewski, J. L., Barraud, S., & Chocat, B. (2000). Need for improved methodologies and measurements for sustainable management of urban water system. *Environmental Impact Assessment Review*, 20(3), 323-331. DOI: 10.1016/S0195-9255(00)00044-5
- Bossel, H. (1999). *Indicators for sustainable development: Theory, method, applications. A report to the Balaton Group*. Recuperado de <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/balatonreport.pdf>
- Brown, R., Keath, N., & Wong, T. H. F. (2009). Urban water management in cities: Historical, current and future regimes. *Water Science & Technology*, 59(5), 847-855. DOI: 10.2166/wst.2009.029
- Brugmann, J. (1997). Is there a method in our measurement? The use of indicators in local sustainable development. *Local Environment*, 2(1), 59-72. DOI: 10.1080/13549839708725512
- Campos, J. L., Valenzuela-Heredia, D., Pedrouso, A., Val del Rio, A.,

- Belmonte, M., & Mosquera-Corral, A. (2016). Greenhouse gases emissions from wastewater treatment plants: Minimization, treatment, and prevention. *Journal of Chemistry*, 16. DOI:10.1155/2016/3796352
- CCA, Consejo Consultivo del Agua. (2010). *La gestión del agua en las ciudades de México. Indicadores de desempeño de Organismos Operadores en México*. Ciudad de México, México: Consejo Consultivo del Agua.
- CMMAD, Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1987). *Nuestro futuro común (Informe Brundtland)*. Madrid, España: Organización de las Naciones Unidas, Alianza Editorial.
- Cervantes, C. (2013). *Cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en Tlalpan D.F., 1970 y 2011* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2003). *Estadísticas del Agua en México. Edición 2003*. México, DF, México: Comisión Nacional del Agua.
- Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2004). *El agua en el Valle de México, presente y futuro. Sistema Cutzamala*. México DF, México: Comisión Nacional del Agua.
- Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2006). Programa de Modernización del Manejo del Agua. Información para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. *Ponencia presentada en el IV Foro Mundial del Agua*. Comisión Nacional del Agua, México.
- Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2007a). *Estadísticas del Agua en*

México. Edición 2007. México DF, México: Comisión Nacional del Agua.

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2007b). *Estadísticas del agua 2007 de la Región XIII. Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México.* México DF, México: Comisión Nacional del Agua.

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2008). *Estadísticas del agua en México. Edición 2008.* México DF, México: Comisión Nacional del Agua.

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2009). *Estadísticas del Agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México. Edición 2009.* México DF, México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2010). *Compendio del Agua Región Hidrológica Administrativa XIII Edición 2010. Lo que se debe saber del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México.* México DF, México: Comisión Nacional del Agua.

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2011). *Estadísticas del Agua en México. Edición 2011.* México DF, México: Comisión Nacional del Agua

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2012). *Estadísticas del Agua en México. Edición 2012.* México DF, México: Comisión Nacional del Agua

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2013). *Estadísticas del Agua en México. Edición 2013.* México DF, México: Comisión Nacional del Agua.

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2014). *Estadísticas del Agua en México. Edición 2014*. México DF, México: Comisión Nacional del Agua.

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2015a). *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. México DF, México: Comisión Nacional del Agua.

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2015b). *Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Calidad del agua. Reporte. Escalas de clasificación de la calidad del agua y redes de monitoreo*. Recuperado de http://201.116.60.25/sina/index_jquery-mobile2.html?tema=calidadAgua

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2016). *Estadísticas del Agua en México. Edición 2016*. México DF, México: Comisión Nacional del Agua

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2017). *Estadísticas del Agua en México. Edición 2017*. México DF, México: Comisión Nacional del Agua

Conagua, Consejo Nacional de Población. (2018). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015*. México, DF, México Consejo Nacional de la Población.

Danilenko, A., Van der Berg, C., Macheve, B., & Moffitt, J. (2014). *The IBNET Water Supply and Sanitation Blue Book. The World Bank*. Recuperado de <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/19811/9781464802768.pdf?sequence=5>

- De Esteban-Curiel, G. (2001). *Análisis de indicadores de desarrollo de la educación ambiental en España*. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid.
- Déleage, J. P. (2000). *L'environnement au vingtieme siecle. DEA Environnement de Temps et Espace*. Orleans, France: Université d'Orleans.
- Delgado, J., Galindo, C., & Ricárdez M. (2008). La difusión de la urbanización o cómo superar la dicotomía rural-urbana. En: Delgado, J. (coord.). *La urbanización difusa de la Ciudad de México Otras miradas sobre un espacio antiguo* (pp. 43-74). México DF, México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/10/10/28-1>
- Dunn, G., & Bakker, K. (2011). Fresh water-related indicators in Canada: An inventory of indicators. *Canadian Water Resources Journal*, 36(2), 135-148. DOI: 10.4296/cwrj3602815
- Escolero, O., Kralisch, S., Martínez, S. E., & 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, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 409-427. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v68n3/1405-3322-bsgm-68-03-00409.pdf>
- Falkenmark, M. (1989). The massive water scarcity now threatening Africa: Why isn't it being addressed? *Ambio*, 8(2), 112-118.

Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/4313541>

Gaceta Oficial de la CDMX. (2016). *Programa de Sustentabilidad y Gestión de los Servicios Hídricos (PSGSH). 2013-2018. Sistema de Aguas de la Ciudad de México-SACMEX*. Recuperado de http://sipinna.CDMX.gob.mx/sipinna/_pdf/Lineamientos_para_la_Integracion_Organizacion_y_Funcionamiento_SIPINNA_CDMX.pdf

Gangbazo, G. (2004). *Élaboration d'un plan directeur de l'eau: guide à l'intention des organismes de bassins versants, Québec, Ministère de l'Environnement, Direction des politiques de l'eau, Environnement Canada*. ENV/2004/0258. Recuperado de <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/plan-dir.pdf>

Garza, G. (2000). Dinámica macroeconómica. En: Garza, G. (coord). *La Ciudad de México en el fin del segundo milenio* (pp. 154-224). México, DF, México: El Colegio de México, Gobierno de la Ciudad de México.

GDF, Gobierno del Distrito Federal. (2012). *Atlas geográfico del suelo de conservación del Distrito Federal*. México, DF, México: Secretaría del Medio Ambiente, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal.

Gleick, P. H., Chalecki, E. L., & Wong, A. (2002). Measuring water well-being: Water indicators and indices. In: Gleick, P. H. (ed.). *The world's water: The biennial report on freshwater resources* (pp. 87-112). Washington, USA: Island Press/Pacific Institute for Studies in Development Environment and Security.

González, A. E. (2016). *La región hidropolitana de la Ciudad de México*.

Conflicto gubernamental y social por los trasvases Lerma y Cutzamala. Ciudad de México, México: Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.

Gutiérrez, M. T., González, J., & Zamorano, J. J. (2005). *La Cuenca de México y sus cambios demográfico-espaciales*. México, DF, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. Recuperado de: <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/90/90/273-1>

Hardy, M. J., Kuczera, G., & Coobes, P. J. (2005). Integrated urban water cycle management: The urban water cycle model. *Water Science & Technology*, 52(9), 1-9.

Hezri, A., & Dovers, S. R. (2006). Sustainability indicators, policy and governance: Issues for ecological economics. *Ecological Economics*, 60(1), 86-99. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2005.11.019

Hill, C., Furlong, K., Bakker, K., & Cohen, A. (2008). Harmonization versus subsidiarity in water governance: A review of water governance and legislation in the canadian provinces and territories. *Canadian Water Resources Journal*, 33(4), 315-332. DOI:10.4296/cwrj3304315

IMTA, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2014). *Indicadores de gestión prioritarios en organismos operadores* (informe final HC1415.1) Recuperado de http://www.pigoo.gob.mx/Informes/HC1415-1_IndicadoresdeGestionPrioritariosenOrganismosOperadores.pdf

- INE, Instituto Nacional de Ecología. (2006). *Urbanización periférica y deterioro ambiental en la Ciudad de México: el caso de la delegación Tlalpan en el D.F.* México, DF, México: Instituto Nacional de Ecología-Universidad Nacional Autónoma de México.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2000). *XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Resultados definitivos, tabulados básicos.* México, DF, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). *XIII Censo General de Población y Vivienda 2010. Resultados definitivos, tabulados básicos.* México DF, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *INEGI. Encuesta Nacional de Hogares (ENH) 2014. Tabulados básicos. 2015.* México DF, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). *INEGI. Encuesta Nacional de Hogares (ENH) 2015. Tabulados básicos. 2016.* México DF, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). *INEGI. Encuesta Nacional de Hogares (ENH) 2016. Tabulados básicos. 2017.* México DF, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). *INEGI.*

- Encuesta Nacional de Hogares (ENH) 2014. Tabulados básicos. 2015.* México DF, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Ioris, A., Hunter, C., & Walker, S. (2008). The development and application of water management sustainability indicators in Brazil and Scotland. *Journal of Environmental Management*, 88(4), 1190-1201.
- IISD, International Institute of Sustainable Development. (2010). *Compendium of sustainable development indicator initiatives.* Winnipeg, Canada: International Institute of Sustainable Development.
- Jensen, O., & Wu, H. (2018). Urban water security indicators: Development and pilot. *Environmental Science & Policy*, 83, 33-45. DOI:10.1016/j.envsci.2018.02.003
- Jiménez, B., Gutiérrez, R., Marañón, B., & González, A. (2011). *Evaluación de la política de acceso al agua potable en el Distrito Federal.* México DF, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kallis, G., & Coccossis, H. (2000). *Metropolitan areas and sustainable use of water: The case of Athens.* Athens, Greece: University of the Aegean
- Kallis, G., & Coccossis, H. (2003). Managing water for Athens: From the hydraulic to the rational growth paradigm. *European Planning Studies*, 11(3), 245-261. DOI:10.1080/09654310303633
- Koop, S. H. A. & van Leeuwen, C. J. (2015). Assessment of the

sustainability of water resources management: A critical review of the city blueprint approach. *Water Resources Management*, 29(15), 5649–5670. DOI: 10.1007/s11269-015-1139

Legorreta, J. (2006). *El agua y la ciudad de México. De Tenochtitlan a la Megalópolis del siglo XXI*. México, DF, México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Lorenz, C. M. (1999). *Indicators for sustainable management of rivers* (tesis doctoral). Universidad de Amsterdam, Holanda.

Ligtvoet, W., Hilderink, H., Bouwman, A., Van Puijenbroek, P., Lucas, P., & Witmer, M. (2014). *Towards a world of cities in 2050. An outlook on water-related challenges. Background report to the UN-Habitat Global Report*. The Hague, Netherlands: Environmental Assessment Agency.

Lundin, M., & Morrison, G. M. (2002). A life cycle assessment based procedure for development of environmental sustainability indicators for urban water systems. *Urban Water*, 4(2), 145-152. DOI: 10.1016/S1462-0758(02)00015-8

Martínez, F., Ferrer J., Bou, V., & Cortés J. (2007). *Sistema de indicadores para la gestión de redes de agua potable. Proyecto Aqua Control*. Informe Técnico. Valencia, España: Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia.

Martínez S., Escolero O., Kralisch S., & Wolf, L. (2007). Integrating urban water management with groundwater management approaches: Towards where we must go? *Extended abstracts of XXXV IAH Congress "Groundwater and Ecosystems"*, Lisbon, 2007.

- Martínez, S., Kralisch S., Escolero O., & Perevochtchikova, M. (2015). Vulnerability of Mexico City 's water supply sources in the context of climate change. *Journal of Water and Climate Change*, 6(3), 518-533.
- Mazari-Hiriart, M., Zarco-Arista, A. E., Tapia-Palacios, M. A., Hernández-Bautista, B., Solano-Ortiz, R., & Hjort-Colunga, E. R. (2018). *Estudio sobre el estado actual de mantos acuíferos, la explotación de pozos, el abasto real y la demanda actual y potencial del líquido en la ciudad de México*. Ciudad de México, México: Comisión Federal de Electricidad.
- Meadows, D. (1998). *Indicators and information systems for sustainable development: A report to the Balaton Group*. Winnipeg, Canada: Hartland Four Corners, International Institute of Sustainable Development.
- Mitchell, V. G. (2006). Applying integrated urban water management concepts: A review of Australian experience. *Environmental Management*, 37(5), 589-605.
- NWC, National Water Commission. (2010). *National Performance Report 2008-2009: Urban water utilities*. Canberra, Australia: National Water Commission.
- Niemczynowicz, J. (1999). Urban hydrology and water management: Present and future challenges. *Urban Water*, 1, 1-14.
- OECD, Organization for Economic Cooperation and Development. (1998). *Towards Sustainable Development: Environmental Indicators*, Paris, France: Organization for Economic Cooperation and

Development.

- OECD, Organization for Economic Cooperation and Development. (2003). *OECD Environmental Indicators Development, measurement and use. Reference paper*. Paris, France: Organization for Economic Cooperation and Development.
- OECD, Organization for Economic Cooperation and Development. (2004). *OECD Key Environmental Indicators*. Paris, France: Organization for Economic Cooperation and Development.
- OECD, Organization for Economic Cooperation and Development. (2015). *Water and cities. Ensuring sustainable futures. OECD studies on water*. OECD Publishing. DOI: 10.1787/9789264230149-en
- Okeola, O. G., & Sule, B. F. (2012). Evaluation of management alternatives for urban water supply system using multicriteria decision analysis. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 24(1), 19-24.
- Pahl-Wostl, C., Downing, T., Kabat, P., Magnuszewski, P., Meigh, J., Schlueter, M., Sendzimir, J., & Werners, S. (2005). *Transition to adaptive water management. The NeWater project. Water policy. NeWater (Working Paper X)*. Osnabrück, Germany: Institute of Environmental Systems Research, University of Osnabrück.
- Perevochtchikova, M., & Martínez, S. E. (2010). Integrated urban water management: Concepts, tools and applications. In: Karlin, L. N., & Shelutko, V. A. (eds.). *Ecology and hydrometeorology in the big cities and industrial zones (Russia-Mexico)* (pp. 98-118). Saint Petersburg, Russia: Russian State Hydrometeorological University.

- Perevochtchikova, M., & Rojo-Negrete I. A., (2013). Development of an indicator scheme for the environment impact assessment in the Federal District, Mexico. *Journal of Environmental Protection*, 4(3), 226-237.
- Perevochtchikova, M. (2013). Retos de información del agua en México para una mejor gestión. Realidad, datos y espacio. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 4(1), 42-57.
- Perevochtchikova, M. (2015). Agua y ciudad: el abasto de agua potable en la ciudad de México. En: Schteingart, M., & Pérez, P. (coord.). *Dos grandes metrópolis latinoamericanas: Ciudad de México y Buenos Aires. Una perspectiva comparativa* (pp. 239-260). Ciudad de México, México: El Colegio de México.
- Pérez-Campuzano, E., Perevochtchikova, M., & Ávila-Foucault, S. (2012). *Suelo de conservación del Distrito Federal: ¿hacia una gestión y manejo sustentable?* Ciudad de México, México: Editorial Porrúa.
- Perló, M., & González, A. E. (2009). *¿Guerra por el agua en el Valle de México? Estudios sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México*. México, DF, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pierri, N. (2005). Historia del concepto del desarrollo sustentable. En: Guillermo, F. N. P. (ed.). *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable* (pp. 27-82). México, DF, México: Editorial Porrúa-Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Pinkham, R. (1999). *21st century water systems: Scenarios visions and drivers*. Recuperado de

<http://www.rmi.org/images/other/Water/W99-2121CentWatrSys.pdf>

- Pintér, L., Hardi, P., & Bartelmus, P. (2005). *Sustainable development indicators: Proposals for the way forward*. New York, USA: International Institute for Sustainable Development.
- PRI, Policy Research Initiative. (2007). *Canadian Water Sustainability Index (CWSI). Project Report*. DOI: 10.2166/washdev.2012.005
- Quiroga, R. (2009). *Methodological guide for developing Environmental and Sustainable Development Indicators in Latin American and Caribbean countries*. (Manual Series 61). Santiago de Chile: CEPAL, United Nations.
- Rodríguez, C. & Flores, A. (2009). *El sistema Nacional de Indicadores Ambientales SNIA*. En: López, J., & Rodríguez, M. L. (coord.). *Desarrollo de Indicadores Ambientales y de sustentabilidad en México* (pp 15-26). México, DF, México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- SACMEX, Sistema de Aguas de la Ciudad de México. (2005). *Programa de Gestión Integral del Recurso Hídrico del Distrito Federal 2004-2009*. México DF, México: Sistema de Aguas de la Ciudad de México.
- SACMEX, Sistema de Aguas de la Ciudad de México. (2012). *Programa de Gestión Integral de los recursos Hídricos, Visión 20 años*. México DF, México: Sistema de Aguas de la Ciudad de México.
- SACMEX, Sistema de Aguas de la Ciudad de México. (2018). *Diagnóstico, logros y desafíos SACMEX 2018*. Ciudad de México, México: Sistema de Aguas de la Ciudad de México.

- Satya, P. M., Prabhat, K. S., Anurag, O., & Ramesh, S., (2020). Identification of indicators for sustainable urban water development planning. *Ecological Indicators*, 108, 105691. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105691
- Schuschny, A., & Soto H., (2009). *Guía metodológica. Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible*. Santiago de Chile, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Salud, Secretaría de Salud. (1995). NOM-127-SSA1-1994, *Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. Recuperado de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>
- Shah, R. (2004). *Assessment of Sustainability Indicators (ASI) A SCOPE/UNEP/IHDP/EEA Project. CSD Indicators of Sustainable Development. Recent developments and activities*. Praga, República Checa: United Nations Environment Programme.
- Tiburcio, A., & Perevochtchikova, M., (2012). La gestión del agua y el desarrollo de indicadores ambientales en México y Canadá: un análisis comparativo. *Journal of Latin American Geography*, 11(2), 145-165.
- Tiburcio, A. (2013). *Desarrollo de un marco de indicadores para la gestión del agua urbana: el caso de la ciudad de México* (tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Tucci, C. E. M. (2010). Integrated urban water management in the humid tropics. In: Parkinson, J. N., Goldenfum, J. A., & Tucci, C. E. M.

- (eds.). *Integrated urban water management: Humid tropics* (pp. 1-23). UNESCO-IHP, Urban Water Series. Paris, France: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, and Taylor and Francis, Leiden.
- Tortajada, C. (2006). Water management in Mexico City Metropolitan Area. *International Journal of Water Resources Development*, 22(2), 353-376. DOI: 10.1080/07900620600671367
- Ulian, G., Cartes, I., & Lemos, M. M. (2017). Water management assessment methodology for urban planning. *Ambiente & Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 12(1), 33-46.
- UN-WWAP, United Nations, World Water Assessment Program. (2003). *Water for people, Water for life*. Barcelona, Spain: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization-Bergham Books.
- UN-WWAP, United Nations, World Water Assessment Program. (2006). *Water a shared responsibility*. Paris, France: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- UN, United Nations. (2014). *United Nations. World urbanization prospect. The revision 2014. Highlights*. New York, USA: United Nations Publications.
- Van Leeuwen, C. J., Frijns, J., Van Wezel, A., & Van de Ven, F. H. M., (2012). City Blueprints: 24 Indicators to Assess the Sustainability of the Urban Water Cycle. *Water Resources Management*, 26, 2177-2197.
- Vojnovic, I. (2013). *Urban sustainability. A global perspective*. Michigan, USA: Michigan State University Press.

Zeman, F. (2012). *Metropolitan sustainability. Understanding and improving the urban environment*. Philadelphia, USA: Woodhead Publishing Limited.