

Balance ambiental: una herramienta metodológica para un urbanismo más sustentable

Environmental balance: a methodological tool for a more sustainable urbanism

Natalie Rosales-Pérez*

Recibido: diciembre 05 de 2017

Aceptado: diciembre 11 de 2017

Resumen

Transitar hacia un desarrollo urbano sustentable implica un balance equilibrado en la relación ciudad-ambiente. Por lo tanto, con el fin de avanzar hacia una planeación y gestión para la sustentabilidad, se necesita conocer el funcionamiento ambiental y si el consumo de recursos y la generación de residuos en el ecosistema urbano se ajustan o no a los umbrales biológicos, sin que disminuya o se pierda la integridad funcional de los ecosistemas. Mediante el uso del marco interpretativo del enfoque ecológico, el objetivo del presente trabajo es generar una herramienta analítica para hacer un Balance Ambiental de la ciudad. Para ello, tomando como caso de estudio a la Ciudad de México, el artículo comienza analizando sus flujos metabólicos del periodo 2009-2012; la segunda parte estima la capacidad de carga local y la tercera realiza un balance ambiental comparando la capacidad de carga local con las superficies de tierra y agua productivas en términos biológicos requeridos para suministrar los bienes y servicios que se consumen en la ciudad. Finalmente, se reflexiona sobre los desequilibrios ambientales de la ciudad y la utilidad de introducir una mirada ecológica en la interpretación de la realidad urbana.

Palabras clave: balance ambiental, metabolismo urbano, capacidad de carga, planeación urbana para la sustentabilidad.

Abstract

Moving towards a sustainable urban development implies tipping the balance in the city-environment relationship. Hence, a key aspect to move to a planning and management for sustainability, is to know the environmental performance, and whether the consumption of resources and generation of waste in the urban ecosystem is in line with biological thresholds, without entailing a reduction or loss of functional ecosystem integrity. Using the interpretative framework of the ecological approach, the objective of this paper is to generate an analytical tool to carry out an Environmental Balance of the City. Taking Mexico City as a case study, the article begins by analysing the metabolic fluxes of the city from 2009-2012. The second part estimates the local carrying capacity. The third part performs an environmental balance by comparing the local carrying capacity with the biologically productive land and water surfaces required to supply the goods and services consumed by the city. Finally, a series of reflections are made on the environmental imbalances of the city remarking the usefulness of introducing an ecological perspective in the interpretation of urban reality.

Keywords: Environmental balance, Urban metabolism, carrying capacity, urban planning for sustainability.

*El Colegio Mexiquense, México. Correo electrónico: nrosales@nrosalescmqcmq.edu.mx

Introducción

Nuevos retos para la comprensión de los fenómenos urbanos actuales

Las profundas transformaciones del mundo desde el último cuarto de siglo XX en adelante, consecuencia de una mundialización económica que se acompaña del surgimiento de una cultura global, se ha manifestado en cambios dramáticos en la distribución de empleo, polarización de clases sociales, conflictos políticos y restructuración física de las ciudades y territorios (Friedmann y Goetz, 1982).

Por su parte, el cambio ambiental ha alcanzado, en la era del antropoceno, una nueva etapa cualitativa al conectar de manera compleja crisis, riesgos y vulnerabilidades (Hackmann y Moser, 2013). De ahí que el fenómeno urbano contemporáneo contenga diversos aspectos, como: vulnerabilidad, conflictos de intereses, surgimiento de nuevos actores sociales, desbordamiento de los límites de la ciudad, perturbación de los sistemas ecológicos y crisis ambientales recurrentes, metropolización, elitización del territorio, segregación socio-espacial, sistemas urbanos complejos, fronteras móviles, globalidad, redes y multiculturalidad, por mencionar los más relevantes.

Ante este escenario, se necesitan más perspectivas que permitan desentrañar la trama de interconexiones e interdependencias existentes entre los ámbitos ambiental, social, económico, político y territorial. Desde hace un par de décadas, se ha generado un debate que cuestiona cuáles son los nuevos supuestos, los marcos epistemológicos y las categorías de análisis para identificar, comprender y abordar las dinámicas de sistemas socio territoriales complejos y cambiantes.

En este contexto de reflexión, han surgido enfoques emergentes en el campo disciplinario del urbanismo, los cuales se han vinculado con los valores epistemológicos de nuevos paradigmas, disciplinas y formas de conocimiento, y han incorporado una visión holística de totalidad y complejidad, imprescindible para el análisis, el diseño, la gestión y la administración de las ciudades del siglo XXI. Esto se traduce en la inclusión de las nociones de equidad, democracia, construcción de consenso, justicia y ética ambiental en el campo disciplinario del urbanismo (Allmendinger, 2001).

Así, la consideración de lo ambiental en el ámbito urbano ha tomado importancia, pues se ha reconocido que las amenazas más serias hacia la calidad del aire, la disponibilidad del agua, la generación de residuos, el consumo de energía y la pérdida de biodiversidad se exacerban por la alta densidad y actividad de la vida urbana y los patrones de consumo ciudadanos (Atkinson, 1994), lo cual, aunado a su papel como catalizadoras del modelo de desarrollo imperante, ha dado paso a la necesaria reflexión en torno a los retos que implica el binomio ciudad-sustentabilidad.

En efecto, la actual situación, en donde la ciudad y sus habitantes han encontrado un frágil equilibrio que mantiene la “funcionalidad” del ecosistema urbano, a pesar de la escasez de recursos naturales y la degradación de los sistemas ecológicos, constituye la

manifestación más evidente de la crisis urbano-ambiental que se padece hoy en las ciudades, y cuya magnitud pasa desapercibida por la mayoría de sus habitantes.

Bajo una perspectiva macroeconómica de expansión de mercados, se han producido efectos sobre la conformación del territorio que no sólo rebasan los límites político-administrativos de las ciudades y de sus eco-regiones, sino también extrapolan el impacto de las actividades socioeconómicas hacia otros territorios.

Estas constantes y masivas alteraciones de los ecosistemas y sus funciones, así como la explotación y transformación de paisajes productivos cada vez más distantes han generado una estructura asimétrica en los balances ecológicos que conducen a degradación, agotamiento de recursos y biodiversidad, así como a grandes huellas ecológicas. De ahí que tengamos crisis ambientales más frecuentes y que los niveles de vulnerabilidad ambiental sean cada vez mayores.

Así, interactúan los tres componentes de los ecosistemas urbanos: el entorno natural, el entorno construido y el entorno socioeconómico (McDonnell *et al.*, 2009); los humanos influyen en los factores ecológicos (plantas, aire, suelo, animales) y las decisiones humanas (dónde y cómo construir casas, parques, carreteras, escuelas) están influenciadas por factores ecológicos y generan dinámicas complejas, de donde surgen diversos problemas que impactan las condiciones de habitabilidad y calidad de vida en las ciudades.

De acuerdo con análisis desarrollados desde los propios instrumentos de planeación urbana de la Ciudad de México, así como de la gestión y planeación urbano ambiental en el contexto latinoamericano (Jordán y Simioni, 2003), los problemas pueden dividirse en:

- El incremento de la vulnerabilidad de la ciudad ante amenazas de origen natural y antrópico.
- El detrimento en la calidad del hábitat urbano, producto de prácticas inapropiadas de ocupación y de uso del suelo urbano.
- Los crecientes impactos ambientales de las actividades productivas que se desarrollan en la ciudad.
- La debilidad institucional en la planificación para una gestión urbano-ambiental eficiente.

Estos grandes retos a superar están vinculados con la falta de conocimiento de las dinámicas ecológicas de la ciudad; la escasa o nula planificación de aspectos, como la demanda sobre los recursos naturales renovables necesarios para el desarrollo; la capacidad de los ecosistemas para soportar una determinada presión; y los factores limitantes para un desarrollo urbano sustentable. Esto pone de relieve lo esencial de la relación tripartita: sustentabilidad ecológica-planeación del desarrollo-calidad urbana, habitabilidad y bienestar.

Por lo tanto, es necesario optimizar las condiciones de los territorios y de las ciudades, y mitigar los efectos negativos presentes y futuros en la base del desarrollo: el ambiente, por

medio de un urbanismo que considere las áreas urbanas como biológicas, sociales, construidas y geofísicas (McDonnell *et al.*, 2009); esto supone incorporar una mirada ecológica en los elementos que estructuran el proceso de planeación de la ciudad:

- El conocimiento e interpretación de la realidad urbana que representa el marco referencial de donde surgen los datos clave que explican los fenómenos de la realidad territorial.
- El esquema referencial conceptual del equipo redactor que, a través de la síntesis de los supuestos de partida y el establecimiento de modelos teóricos, condiciona la interpretación de la realidad y la elaboración de las propuestas de planeación del desarrollo urbano.
- Los instrumentos de planeación son el resultado de los dos anteriores y materializan las actuaciones que deberán ponerse en práctica para organizar la actividad pública y privada en el espacio urbano a fin de resolver el problema.

El enfoque ecológico: una respuesta al problema de insustentabilidad socio-ambiental en nuestras ciudades

Dentro de los marcos interpretativos que nos permiten vislumbrar y ampliar el diálogo sobre la importancia crítica que tiene la incorporación de criterios ambientales dentro del urbanismo, resulta de interés el enfoque ecológico. Esta perspectiva –compuesta por un cuerpo de teorías, categorías de análisis y metodologías que considera a la ciudad como un sistema abierto, cuyo funcionamiento es posible a partir de los insumos externos empleados en la satisfacción de las necesidades básicas de producción y consumo– cuestiona la autosuficiencia de los sistemas urbanos y enfatiza que el actual modelo económico, apoyado en el crecimiento de la producción, no es sustentable a largo plazo, pues las corrientes de recursos (agua, energía y materiales) necesarios para apoyar a las poblaciones y economías urbanas se producen fuera de las ciudades, como se les define generalmente en términos políticos y geográficos (Rees, 1992).

Por ello, un aspecto sumamente sustancial para lograr un balance ecológico radica en que el desarrollo urbano sea congruente con la capacidad ecológica, que la forma en cómo las ciudades metabolizan la naturaleza a través de la infraestructura urbana tienda a favorecer flujos circulares y que se minimicen los impactos ecológicos que las ciudades tienen en territorios más amplios.

Este marco interpretativo ha sido utilizado para una mejor comprensión del funcionamiento ambiental y las interrelaciones de las ciudades con sus áreas circundantes, así como para estrechar la relación: estructura ecológica de las ciudades-forma urbana-habitabilidad.

Así, podemos encontrar una serie de herramientas metodológicas para cuantificar los flujos asociados con las ciudades o regiones urbanas que incluyen tanto componentes antropogénicos como naturales (Baynes y Wiedmann 2012; Kennedy, 2012). Asimismo,

mediante descriptores ambientales se analizan la cantidad máxima de recursos que se puede consumir y la cantidad máxima de residuos que se puede desechar indefinidamente en una región sin provocar un impacto negativo en la bioproductividad e integridad ecológica (Khanna *et al.*, 1999:107); y también se tienen macro indicadores de impacto ambiental, como el propuesto por Wackernagel y Rees (1999).

Sin embargo, las principales dificultades asociadas a la aplicación de este enfoque para determinar en qué medida una ciudad está en equilibrio ambiental, son definir límites y umbrales, es decir, calcular la capacidad de carga; y contabilizar los flujos, las entradas y las salidas del ecosistema urbano, así como evaluar cuáles son los presentes y futuros impactos ambientales del modelo de desarrollo urbano. Estos aspectos suponen un ejercicio conceptual exhaustivo, lo cual hace que no existan valoraciones cuantitativas del balance ambiental y de la sustentabilidad ecológica, y que estas herramientas metodológicas, más allá de ser utilizadas y discutidas en el ámbito académico, sean pocas veces incluidas como parte del marco interpretativo con el que se analiza, planea y gestionan las ciudades.

De esta manera, la incorporación de “lo ambiental”, dentro de la planeación urbana, continúa limitándose a inventarios estáticos de recursos naturales (particularmente a la descripción del medio físico natural), que carecen de una visión sostenibilista de la ciudad, y que deriva en diagnósticos simplistas. Sirva de ejemplo la limitada consideración de los elementos ambientales y los problemas incluidos en el análisis y la interpretación de la realidad urbana que incorpora la reciente propuesta para la elaboración del plan de desarrollo urbano de la Ciudad de México.

Cuadro 1. Amplitud con la que se considera el plano ambiental en los instrumentos procedimentales con los que se regula el desarrollo urbano de la Ciudad de México

Amplitud con la que se considera el Plano Ambiental en el Plan de Desarrollo Urbano	
Diagnóstico	
Elementos ambientales considerados en el análisis e interpretación de la realidad urbana.	<p>Suelo. Superficie de Suelo de Conservación Ecológico.</p> <p>Agua. Contaminación y sobreexplotación de los recursos hídricos.</p> <p>Clima. La variación del clima atribuida a la actividad humana, la cual altera la composición de la atmósfera debido a la emisión de Compuestos Gases de Efecto Invernadero (CGI).</p> <p>Flora. Pérdida de cobertura forestal en ANP por el crecimiento urbano y cambios de usos de suelo.</p> <p>Aire. Emisiones contaminantes provenientes de industrias, automóviles, comercios, viviendas, etc. que contribuyen al efecto invernadero.</p>
Problemas ambientales Identificados.	<p>Pérdida de cubierta forestal. Se debe en gran medida a la ocupación ilegal de áreas naturales con alto valor ambiental, afectadas por asentamientos humanos irregulares y por el crecimiento y desdoblamiento de los pueblos rurales y sus actividades económicas, se ocupa como tiradero clandestino de residuos de la construcción. Se tienen identificados 68 sitios.</p> <p>Un efecto negativo relacionado con la política urbana y su impacto en el Suelo de Conservación tiene que ver con los Asentamientos Humanos Irregulares ubicados tanto en zonas de riesgo como de alto valor ambiental.</p> <p>El proceso de degradación del ambiente urbano será aún más afectado por el cambio climático, aunado a ello, la Ciudad no tiene la capacidad suficiente en materia de resiliencia para hacer frente a dichos cambios.</p> <p>El agua será un tema crítico, pues la ZMVM presenta un déficit absoluto del recurso, aunado a la sobreexplotación de su acuífero, el escaso tratamiento de las aguas residuales y su disponibilidad natural.</p>

Fuente: elaboración propia con base en Jefatura de Gobierno de la Ciudad de México (2016).

Más allá de la discusión teórica sobre los alcances y las limitaciones, las reflexiones y las propuestas en torno a cómo los conceptos del enfoque ecológico –como el metabolismo urbano, la capacidad de carga y la huella ecológica– son pocas y pueden derivar en aproximaciones sintéticas que permitan instrumentar un urbanismo más sustentable.

Particularmente, estas herramientas metodológicas constituyen una pieza clave para avanzar hacia una concepción sostenibilista de la ciudad en la medida que proveen un marco para:

- Identificar los factores limitantes y la disponibilidad de un recurso, como el agua y el espacio, o la capacidad de procesar residuos de acuerdo con la infraestructura disponible para tratar aguas residuales o depositar los residuos sólidos municipales.
- Visualizar en forma cuantitativa los desafíos que los entornos urbanos enfrentan en términos de autosuficiencia al identificar los umbrales ecológicos y analizar si se utiliza agua, energía y materiales de forma eficiente.
- Explorar los niveles de agotamiento de los recursos más cercanos y predecir los impactos relacionados con la capacidad de adaptación de la ciudad para responder a amenazas concernientes a las crisis de recursos o eventos climáticos/catástrofes naturales.
- Determinar los límites del crecimiento urbano en función de los umbrales para la dotación de servicios y la disponibilidad de recursos con un desempeño adecuado que no comprometa la calidad de vida de sus habitantes ni el entorno natural y construido.
- Definir vocaciones y niveles de usos más idóneos a la capacidad del territorio.
- Identificar y predecir los impactos que los distintos patrones de crecimiento tienen en términos de consumo, como suelo, costos de infraestructura, gasto en transporte para sus habitantes, porcentaje de la población en proximidad a empleo y a transporte, emisiones de gases efecto invernadero generadas y consumo de energía, relacionados con el balance ecológico de la ciudad.

Propuesta para incorporar el enfoque ecológico en el conocimiento e interpretación de la realidad urbana. Una aproximación al balance ambiental de la ciudad

El enfoque ecológico brinda una forma distinta de ver la ciudad que permite generar información relevante de las dinámicas ecológicas, enmarcar los problemas socio ambientales contemporáneos de nuestras ciudades, así como planear, diseñar y gestionar entornos urbanos más sustentables.

Por ello, a partir del uso de este marco interpretativo, el presente trabajo busca desarrollar una herramienta analítica para la sustentabilidad, la cual sea pragmática y que pueda incorporarse para interpretar la realidad urbana; y elaborar propuestas de acción en favor de ciudades más equilibradas con la naturaleza.

Así, el objetivo general es desarrollar el concepto de Balance Ambiental y aplicarlo al caso de estudio de la Ciudad de México para el periodo 2009-2012.

Los objetivos específicos son:

- Analizar los flujos metabólicos.
- Estimar la capacidad de carga local.
- Realizar un balance ambiental comparando la capacidad de carga local con las superficies de tierra y agua productivas en términos biológicos que se requieren para suministrar los bienes y servicios que se consumen en la ciudad.

El Balance Ambiental de la ciudad

De acuerdo con diversos diccionarios en línea, el Balance Ecológico puede definirse como la capacidad de un ecosistema para mantener su estructura (riqueza, abundancia relativa de las especies, biomasa en pie, relaciones tróficas) y funcionamiento (productividad, descomposición, eficiencias energéticas) dentro de ciertos intervalos de valores a lo largo del tiempo.

Esta definición que incorpora la idea de interrelaciones y equilibrio dinámico dentro de una comunidad de organismos puede ser simplificada para su uso como una herramienta de análisis a partir de la noción de Balance Ambiental, utilizada para una cuantificación del activo y pasivo ambiental en un determinado momento.

Sin embargo, desde la perspectiva de la sustentabilidad urbana, puede interpretarse como el equilibrio entre y dentro del entorno urbano, biótico y abiótico. Partiendo de esta idea, para el presente trabajo, el Balance Ambiental significa la comparación entre valores de la capacidad de carga local y la demanda de superficie bio productiva de la población de la ciudad para, a partir de ello, verificar la positividad o negatividad ambiental, en términos de disponibilidad y eficiencia en el uso de recursos naturales y autosuficiencia. Este cálculo evidencia de forma sintética en qué medida la ciudad se encuentra en equilibrio ecológico.

Metodología

Para realizar el Balance Ambiental de la Ciudad de México, se utiliza información del periodo 2009-2012 y se toma como línea de base la población del 2010. El procedimiento metodológico consiste en lo siguiente:

- Análisis del Metabolismo Urbano.
- Cálculo de la Capacidad de Carga Local.
- Comparación entre valores de la Capacidad de Carga Local y la demanda de superficie bio productiva de la población de la ciudad.

- Análisis del Balance Ambiental de acuerdo con la positividad o negatividad ambiental, en términos de disponibilidad y eficiencia en el uso de recursos naturales, autosuficiencia y estimación de los impactos ambientales de la ciudad.

Cálculo del Balance Ambiental

Para el cálculo del Balance Ambiental se propone la siguiente fórmula:

Balance Ambiental = Biocapacidad Local – Demanda de superficie bio productiva de la población de la ciudad

Donde:

Biocapacidad Local = Capacidad para la Absorción de Energía Fósil (CAE) + Capacidad para dar soporte a infraestructuras urbanas (CSIU) + Capacidad para producción de alimentos (CPA) + Disponibilidad de Agua (DA)

Demanda = (Hectáreas Globales x Persona de superficie bioproductiva) x Población Total de la Ciudad

Adicionalmente a esta valoración cuantitativa de límites ambientales, se propone analizar cómo la ciudad metaboliza la naturaleza, pues, al relacionar los datos sobre los flujos metabólicos con la capacidad de carga local, se tiene un panorama global de los niveles de explotación y apropiación de materia y energía, provenientes de ecosistemas productivos extra-urbanos, que se requieren para satisfacer las necesidades de consumo y absorción de residuos de la ciudad; es decir, de comprender la situación de la ciudad respecto a la sustentabilidad ambiental.

Para desarrollar una visión metabólica de la ciudad

Existe una gran cantidad de información detallada acerca de la producción y del consumo de la ciudad, así como datos críticos relacionadas con el uso de los recursos naturales que permiten el análisis de los cinco flujos o ciclos que la literatura suele considerar: agua, materiales, suelo, nutrientes y energía, para el cálculo del metabolismo urbano. Sin embargo, ya que el objetivo de la herramienta metodológica es desarrollar una forma simplificada, las categorías de análisis se limitarán a la siguiente lista de flujos.

Cuadro 2. Categorías de análisis del metabolismo urbano

ENTRADAS	SALIDAS
Fuentes y consumo de agua	Usos del agua, volumen total de aguas residuales y volumen de aguas residuales tratadas
Fuentes y consumo energético de la ciudad	Uso de la energía y emisiones generadas
Consumo de alimentos y materiales	Generación de residuos sólidos
Infraestructura y manejo de RSU	Reciclaje

Dada la dificultad de recopilar información, la cuantificación del flujo de materiales y el cálculo de producción de materias primas de la ciudad para dar soporte a la economía urbana y del total de alimentos en la ciudad se realizan a partir de medidas indirectas que se aproximen al análisis del flujo de materiales. El volumen y las características de los residuos producidos y la forma de gestión para procesarlos permiten valorar en qué medida el metabolismo de la ciudad es lineal.

Para cuantificar el consumo de alimentos, en ausencia de medida directas, se propone un proxy a partir de tomar el consumo semanal per cápita de alimentos en México y la población total de la ciudad.

El resultado es una estructura más simplificada de análisis del metabolismo urbano que permite el uso directo de datos ya generados por las distintas dependencias gubernamentales y una valoración cuantitativa con rigor científico.

Para calcular la Capacidad de carga

La aproximación a la capacidad de carga se propone a partir de la metodología de Wackernagel (2009); es decir, se cuantifican las superficies de tierra y agua productivas en términos biológicos relacionando las categorías de análisis con la base de datos de INEGI sobre usos de suelo y vegetación. En donde:

- La capacidad local de la ciudad para la absorción de energía fósil (CAE) se relaciona con las superficies de bosque y la superficie reforestada.
- La capacidad local para dar soporte a las infraestructuras urbanas (CSIU) se correlaciona con el total de área construida, es decir, el uso urbano e industrial.
- La capacidad local para la producción de alimentos (CPA) se correlaciona con el área cultivable y agrícola y con los pastos (se incluyen las zonas denominadas pastizal, matorral xerófilo y la superficie de vegetación secundaria).
- La disponibilidad de agua (DA), que en la metodología de Wackernagel se refiere a Mar, se relaciona con los cuerpos de agua.

Balance Ambiental de la Ciudad de México

Aproximación al análisis de los flujos de agua, energía y materiales de la Ciudad de México

Ciclo urbano del agua

Fuentes y Consumo

La Ciudad de México se localiza dentro de la región hidrológica No. 26 Alto Pánuco; en la que se encuentra la Cuenca del Valle de México, así como la Cuenca del Río Tula. Para esta Región, las fuentes subterráneas internas disponen de un caudal de 48.82 m³/s; las aguas superficiales de la propia región contribuyen con un gasto medio de 2.40 m³/s y la aportación de las fuentes externas, Lerma y Cutzamala, es de 19.32 m³/s. Esta característica hace que la disponibilidad natural media del recurso sea extremadamente baja (menor 1000m³/hab/año), lo cual ha conducido a que el 27.4 % del suministro total de agua potable para uso doméstico provenga de cuencas vecinas.

Datos de SEMARNAT indican que en la ciudad se suministran alrededor de 35 mil litros de agua potable por segundo, equivalentes a un consumo per cápita de 364 litros diarios (SEMARNAT, 2009a). Este valor multiplicado por la población total de la línea base del estudio (2010) implica que en ese año se haya tenido un consumo anual de alrededor de 1,174.10 millones de m³. Si a esta cantidad se añade el agua embotellada consumida en México, la cual se aproxima a 234 litros /persona/año, entonces el consumo total de agua en la Ciudad de México para 2009 es de alrededor de 1176.76 millones de m³.

Metabolismo y Salidas (usos del agua y volumen total de aguas residuales y volumen de aguas residuales tratadas)

Del consumo total de esta agua, el 67% se destina al sector doméstico, el 17% en las industrias y el 16% en escuelas, hospitales y oficinas.

La producción media de aguas residuales de la subregión asciende a 1,665.22 millones de m³ anuales; de los cuales, 1,300.94 mil m³ son captados por las redes existentes y 364.28 millones de m³ son descargados directamente a corrientes naturales cercanas.

De las cifras expuestas se deduce que, si del total de aguas residuales generadas el 78% es captado por redes, el 22% de las aguas residuales son descargadas directamente a corrientes naturales generando externalidades negativas en forma de contaminación a otras regiones. Por lo tanto, la Ciudad de México desplaza el riesgo ambiental y la vulnerabilidad a zonas rurales como el Valle del Mezquital (Rosales, 2013).

La capacidad instalada de tratamiento de aguas urbanas es de 9,952 l/s en la subregión Valle de México y de 10 l/s en Tula, las cuales procesan 5,204 l/s y 1.9 l/s, respectivamente. En este contexto metropolitano, la aportación de aguas residuales de la Ciudad de México se estima en 43 m³/s durante la temporada de estiaje y 340 m³ /s en la temporada de lluvia. De este volumen, sólo 6.5 m³/s son utilizados como aguas residuales tratadas; de las cuales: el 83% se destina a la irrigación de áreas verdes y a actividades

recreativas; el 10% se utiliza en industrias; el 5% para el riego agrícola y el 2% para usos comerciales (INEGI, 2010). Es decir, sólo el 4% de las aguas residuales totales generadas en la Zona Metropolitana del Valle de México llega a plantas de tratamiento.

La disponibilidad y la forma en cómo se metaboliza este recurso nos permiten comprender que el volumen total de agua extraído con respecto a la disponibilidad natural media de agua es de 120%, por consiguiente, es una de las regiones del país con mayor estrés hídrico (SEMARNAT, 2009b). Es decir, cada vez es más recurrente que el suministro de agua tenga que ser traído de más lejos, y que la distancia para la transferencia se extienda a alrededor de 130 kilómetros.

Además, la Ciudad de México se ubica en un altiplano, por lo cual el agua debe ser bombeada a miles de metros, que se calcula como el equivalente a la quema de 3.4 millones de barriles de petróleo al año (Tudela, 1991); por lo tanto, los niveles de impacto ambiental no se restringen a un solo recurso o tipo de contaminación. La información acerca del flujo metabólico del agua no sólo confirma la fuerte dependencia de fuentes externas de abastecimiento y la marcada vulnerabilidad en relación con la disponibilidad, sino que también plantea interrogantes sobre cómo minimizar el impacto de la ciudad en su contexto local y metropolitano y cómo hacer la gestión hídrica más eficiente en términos de captación, uso e incremento del porcentaje de agua tratadas, sobre todo considerando los escenarios de escasez actuales que se exacerbarán en los próximos años por los efectos del cambio climático.

Ciclo urbano de la energía

Fuentes y consumo energético de la ciudad

La Ciudad de México está ubicada en una cuenca donde no hay procesos intensivos de generación de electricidad ni actividades petroleras. Sólo se genera un 20% de electricidad dentro del área, mientras que el resto proviene del Sistema Nacional Interconectado (SENER, 2009). Esto implica un consumo energético del 7% del total del país, dada la concentración poblacional, las actividades urbanas y los patrones de movilidad en su contexto metropolitano.

A la ZMVM la abastecen principalmente los petrolíferos y el gas natural, con una tendencia a un mayor empleo del fluido eléctrico. Según el Inventario de Emisiones 2008, su consumo energético se contabilizó en 576 PJ, con un consumo promedio diario de 314 mil barriles equivalentes de gasolina, es decir, 50 millones de litros equivalentes por día. De este consumo total, la demanda energética de la Ciudad de México se satisface esencialmente con gasolina, la cual cubre alrededor del 44% de la demanda, siguiéndole en segundo lugar el gas natural, el cual participó con poco más del 21% (Secretaría de Medio Ambiente, 2008a). De acuerdo con datos de la SENER (2011), en 2008 cada habitante en el territorio nacional consumió, en promedio, 76.7 Gigajoules durante todo el año.

La demanda energética de la Ciudad de México representó el 55% del total de la ZMVM; es decir, durante el 2008 consumió un total de 343 PJ de energía aproximadamente, lo que se traduce en 12,182.5 millones de barriles y 13,551 Giga watt-hora per cápita.

Metabolismo y salidas (uso de la energía y emisiones generadas)

En cuanto al uso de energía y el consumo por sectores, en la Ciudad de México, al igual que en la ZMVM, el transporte es el mayor consumidor de energía al utilizar 59.8 PJ, la industria con 23.9 PJ, el sector residencial con 13.3 PJ y, finalmente, el sector servicios con 3PJ (Secretaría de Medio Ambiente, 2008b).

La producción y el consumo energético (gasolinas, diésel, gas natural y gas licuado de petróleo) están íntimamente ligados a la emisión de diversos contaminantes a la atmósfera, tanto a nivel local (bióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y partículas suspendidas) como de impacto regional/global; es decir, de los llamados gases de efecto invernadero (bióxido de carbono, metano y óxido nitroso), así como de las fuentes naturales que contribuyen también a la generación de emisiones biogénicas (COV de la vegetación-NOx del suelo y la descomposición de la basura en los rellenos sanitarios) (Secretaría de Medio Ambiente, 2007).

Las emisiones de gases de efecto invernadero y de carbón negro de la ZMVM en 2008 se registraron en 52.2 millones de toneladas equivalentes de CO₂. Asimismo, se generaron 43.7 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂), 291 mil toneladas de metano (CH₄) y 1,500 toneladas de óxido nitroso (N₂O) (Secretaría de Medio Ambiente, 2008b). De este total, de acuerdo con datos del Programa de Acción Climática de la Ciudad de México (PACCM), la ciudad contribuye con un 61% del total de las emisiones producidas en la ZMVM (Gobierno de la Ciudad de México, 2014).

Desglosando las emisiones por tipo de fuente, la mayor cantidad de gases de efecto invernadero en la ciudad se genera por el sector transporte con 22.7 millones de toneladas, equivalentes de CO₂, lo que representa el 51% de las emisiones de la ZMVM. La industria contribuye con 14.8 millones, es decir, el 34 %; y el sector habitacional y comercial aportan en conjunto el 13% de las emisiones equivalentes de CO₂ (Gobierno de la Ciudad de México, 2014).

En 2012, la tendencia en el consumo energético en la ciudad registró un pequeño incremento. La ciudad produjo 31.842 millones de toneladas de emisiones equivalentes de CO₂; el 80% se deriva del consumo de energía en forma de combustibles fósiles y electricidad, principalmente del sector transporte (Molina, *et al.*, 2013). Por lo tanto, la tendencia en la cantidad de CO₂ no ha disminuido, y la fuente de emisiones que más contribuye (el sector transporte) ha aumentado en una gran proporción. Según los escenarios de modelación, en 2020 el CO₂e aumentará a 34.5 millones de toneladas y en 2025 a 37 millones de toneladas, mientras que el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014-2020 sólo contribuirá a la reducción de 8 millones de toneladas de CO₂e y a 2 millones de toneladas (Gobierno de la Ciudad de México, 2014).

Los datos presentados en materia de fuentes energéticas, consumo y generación de emisiones sugieren tres aspectos importantes sobre los flujos metabólicos de la ciudad:

diseñar una estrategia para posibles crisis de sustentabilidad, como la escasez de energía, debido a su poca capacidad interna para generarla; mover la ciudad hacia alternativas de respaldo energético y hacia la diversificación de fuentes de suministro; y transitar hacia patrones de movilidad no motorizados y transportes bajos en carbono que permitan desacoplar el consumo energético de las emisiones.

Flujo de materiales y residuos

Consumo y producción de alimentos

El consumo semanal per cápita de alimentos en México se estima entre 28 y 36 kilos, dependiendo de los ingresos familiares. El flujo anual de alimentos se ubica entre 1.4 y 1.9 toneladas de alimentos al año por persona (FAO, 2010). Considerando la población total de la Ciudad de México, en 2010, el consumo anual de alimentos sería de alrededor de 14'581,078.1 toneladas. Por su parte, el volumen y las características de los residuos producidos y la forma de gestión para procesarlos permiten valorar en forma sintética en qué medida el metabolismo de la ciudad es lineal o circular.

En la Ciudad de México se generan diariamente alrededor de 12,513 toneladas de residuos urbanos, es decir, 1.41 kg/día/persona. En el cuadro 3 se desglosan los residuos sólidos generados en 2009 de acuerdo con su tipología.

Cuadro 3. Residuos sólidos generados en la Ciudad de México

Desglose anual de residuos sólidos manifestados en los planes de manejo	
Tipo de residuo	Generación de residuos manifestados en los planes de manejo (ton)
Residuos sólidos	
Residuos de alimentos	36,030
Cartón	1,227
Vidrio	5,998
Residuos de manejo especial	
Residuos de la construcción	1'388,473
Residuos de excavación	6'386,443
Lodos de tratamiento	25
Otros	470,160
Total	8'288,356

Fuente: elaboración propia con datos de Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal, Inventario de RSU (2009).

Infraestructura y manejo de residuos sólidos urbanos

En cuanto a la infraestructura y a los residuos sólidos urbanos, en la ciudad existen: 16 estaciones de transferencia, 17 centros de composta –uno por cada delegación– y la planta de composta “Bordo oriente”, seis plantas de selección y dos rellenos sanitarios. La disposición final se sustenta fundamentalmente en la técnica de relleno sanitario. Para ello, existen dos sitios ubicados en el poniente y el oriente de la ciudad, que contienen cerca del 90% de los residuos sólidos del total generado. El relleno sanitario “Bordo Poniente”, ubicado en la zona federal del lago de Texcoco, en el Estado de México, recibe 50% de los residuos que se generan en la zona metropolitana, en tanto el sitio “Santa Catarina” en el oriente de la delegación Iztapalapa recibe el restante (40%) (Secretaría de Medio Ambiente, 2009).

Reciclaje

Del total anual de residuos sólidos que ingresaron en las plantas de selección en 2009, el cual ascendió a 1’773,433 ton/año, se recuperaron únicamente 179,216 ton/año.

Cuadro 4. Ingreso, recuperación y salida de residuos de las plantas de selección

Total (ton/año)		Porcentaje
Generación total de residuos	4’567,245	
Ingreso	1’773,433	100
Recuperación	179,216	10
Egreso	1’594,217	90

Fuente: elaboración propia con datos de Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal, Inventario de RSU (2009).

Por consiguiente, del total de residuos generados, únicamente el 28% ingresó a las plantas de selección, y de éste sólo se recuperó el 10%. Si a estos datos agregamos que los flujos de materiales –como los residuos sólidos– también contribuyen a las emisiones y que en la Ciudad de México corresponden al segundo factor después del transporte que genera CO₂ (Molina, *et al.*, 2013) , comprenderemos que cualquier estrategia de sustentabilidad urbana para la ciudad requiere establecer objetivos de desmaterialización (consumo de menos materiales) y realizar ajustes incrementales para avanzar hacia un metabolismo circular. En este sentido, resalta también el impacto que el sector construcción tiene en estos flujos metabólicos, ya que los residuos de la construcción representan el principal factor de los residuos sólidos urbanos. Esto nos indica el impacto directo que el sector construcción tiene en el consumo de materiales, pieza clave para comprender el impacto medioambiental de las ciudades.

Cálculo de la capacidad de carga local de la Ciudad de México

Como se ha señalado en la parte introductoria del artículo, transitar hacia un desarrollo sustentable implica un equilibrio, en el que las prácticas de consumo de los seres humanos se ajusten al umbral biológico establecido para la biocapacidad de la tierra (Lin *et al.*, 2015b). Por lo tanto, en el ámbito del urbanismo, para avanzar hacia modelos de ciudades sustentables, los flujos metabólicos requeridos para suministran los bienes y servicios que se consumen en la ciudad deben ajustarse con las superficies de tierra y agua productivas en términos biológicos.

Para ello, es necesario el uso de herramientas analíticas que permitan una aproximación cuantitativa de cuál es la demanda de la población urbana a la naturaleza, y si ésta se encuentra dentro de los umbrales biológicos. En el siguiente cuadro se ejemplifica el cálculo de la biocapacidad local de la Ciudad de México.

Cuadro 5. Calculo de capacidad de carga local de la Ciudad de México

CATEGORÍA DE ANÁLISIS		
BIOCAPACIDAD LOCAL	CATEGORÍAS DE USO DEL SUELO	Hectáreas
Capacidad para la absorción Energía fósil	(Bosques y superficie reforestada)	17,622
Capacidad para dar soporte a infraestructuras urbanas	(Área construida/sin productividad)	59,192
Capacidad para producción de alimentos	(Área agrícola, pastizal, matorral xerófilo, y vegetación secundaria)	37,184
	Pastos	34,527
	Bosques	17,222
Disponibilidad de agua	(Cuerpos de agua)	284
TOTAL		166,031

Fuente: elaboración propia utilizando la base de datos de INEGI, Usos de suelo y vegetación del Distrito Federal (2005).

Como se estableció en la metodología, para el cálculo del Balance Ambiental, se propone la siguiente fórmula:

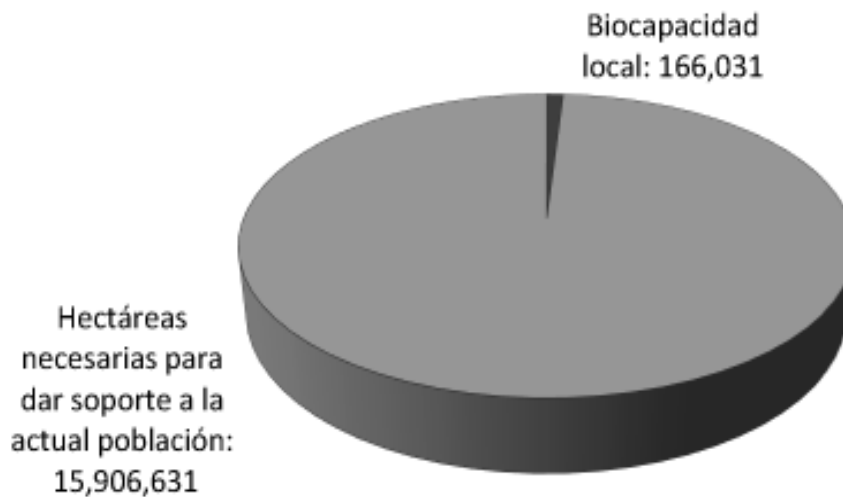
Balance Ambiental = Biocapacidad Local - Demanda de superficie bio productiva de la población de la ciudad

Biocapacidad Local = Capacidad para la Absorción de Energía Fósil (CAE) + Capacidad para dar soporte a infraestructuras urbanas (CSIU)+ Capacidad para producción de alimentos (CPA) + Disponibilidad de Agua (DA)

Demanda = (Hectáreas Globales x Persona de superficie bioproductiva) x Población Total de la Ciudad

Para estimar la demanda, se toma el dato generado por World Watch Found (WWF), pues establece que la Biocapacidad de la Tierra es de 1.8 hectáreas globales por persona (World Watch Found, 2010). Considerando este indicador y que el censo de población de la Ciudad de México en 2010 registró 8'837,017 habitantes, se puede contabilizar que la demanda de superficie bio productiva para dar soporte a esta población es de 15'906,631 ha. Si la Capacidad de Carga Local, es sólo de 166,031 ha, existe un déficit ecológico de 15'740,600 ha. Es decir, la ciudad excede sus límites ecológicos y geográficos en un 90%, ya que según su capacidad biológica sólo puede sostener a 92,239 personas.

Gráfica 1. Aproximación a los límites ambientales de la Ciudad de México



Fuente: elaboración propia utilizando la base de datos de INEGI, Usos de suelo y vegetación (2005).

Balance Ambiental de la Ciudad de México

Los límites ambientales, junto con una visión metabólica de la ciudad, ofrecen un diagnóstico global del balance ambiental, ya que ayudan a visualizar cómo los flujos metabólicos exceden o no los umbrales biológicos de la ciudad. Esto permite también la valoración de los niveles de autosuficiencia y la explotación y apropiación de recursos, materia y energía provenientes de ecosistemas productivos extra-urbanos.

De esta manera, tras el análisis de estos aspectos, en el caso de estudio de la Ciudad de México, se evidencia que las condiciones y el equilibrio ambientales de la ciudad continúan siendo perturbados por la sobreexplotación de los entornos bióticos y abióticos.

Este gran desequilibrio, ilustrado a través del análisis de los flujos metabólicos, permite comprender las crisis urbanas y la degradación ambiental que la ciudad

experimenta. Sirvan de ejemplo los niveles de sobre explotación hídrica relacionados con la baja disponibilidad del recurso y el carácter lineal del flujo del agua urbana.

Este desequilibrio implica que el 22% de aguas residuales generadas en la ciudad se transfiere a otras regiones, aspecto que ha derivado en el desplazamiento del riesgo ambiental y en la vulnerabilidad a otras zonas rurales, como el Valle del Mezquital.

A partir de la valoración global del balance realizado se asevera que el actual desarrollo urbano se basa en un sistema de explotación, subsidios ecológicos y de transferencia de los efectos negativos del acelerado proceso de urbanización hacia áreas vecinas y a otros ecosistemas, los cuales hacen que la ciudad tenga un déficit ecológico del 90% y una amplia huella ecológica.

Particularmente, si bien los datos poblacionales permiten dar una aproximación de los flujos metabólicos, esta población no es la única que detona procesos de entrada y salida en la urbe. La Ciudad de México se caracteriza por una muy importante población flotante proveniente de la zona conurbada, lo cual incrementa la complejidad del problema de insustentabilidad ambiental.

En este sentido, si al análisis de los factores que inciden en la autosuficiencia y el equilibrio ambiental se aúna una reflexión más amplia sobre las dinámicas sociales y los costos (socio-ambientales) de este crecimiento desmedido que rebasa los umbrales biológicos, es posible comprender que los procesos de desigualdad socio espacial, surgidos a partir de la forma en que la ciudad metaboliza la naturaleza, no sólo generan vulnerabilidad en las áreas cercanas y más distantes, sino también refuerzan una distribución desigual de los flujos metabólicos intra urbanos; es decir, cómo la disponibilidad y la canalización de recursos a través de la infraestructura favorece o no la equidad social a su acceso o la distribución equitativa del impacto de las externalidades negativas.

Esto, sin duda, permite profundizar la comprensión de por qué las personas y los lugares se ven afectados de manera diferente y cómo las crecientes desigualdades en las ciudades restringen, desencadenan o agudizan estas condiciones de riesgo y vulnerabilidad en el espacio urbano y entre las regiones.

De acuerdo con Rosales (2013), la ciudad tiene escasez de agua; sin embargo, la padece más la población de las Delegaciones Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco, caracterizadas por sus bajos niveles de bienestar, aspecto que aumenta la condición de vulnerabilidad de esta población de bajos recursos.

Esta inequidad en el acceso a los recursos e infraestructura, presente en la ciudad, se refleja en el consumo diferenciado del agua; en algunos asentamientos irregulares, es de 28 litros por habitante aproximadamente, mientras que el consumo promedio en las zonas de sectores medios oscila entre 275 y 410 litros por habitante al día, y entre 800 y 1,000 litros por habitante al día en los sectores de máximos ingresos.

Reflexiones finales en torno a la utilidad del análisis presentado

De acuerdo con Harvey (2014), “la cuestión de qué tipo de ciudad queremos no puede divorciarse de qué tipo de personas queremos ser, qué tipo de relaciones sociales buscamos, qué relaciones con la naturaleza mantenemos, qué estilo de vida deseamos o qué valores estéticos tenemos”. Así, reconvertir la actual situación de desequilibrio ecológico supone retos inéditos que, por su magnitud y complejidad, requieren de profundos cambios en la estructura y configuración de las ciudades, en los patrones de consumo y modos de vida urbanos, y en las formas y métodos de planeación y gestión urbana que hasta ahora han persistido.

La premisa de partida del presente estudio se fundamenta en que es imperante hacer una valoración del balance ambiental de las ciudades, pues sirve para tener una nueva interpretación de la realidad urbana que permita incorporar consideraciones de sustentabilidad ambiental en los instrumentos con los que se regula el desarrollo urbano. Por lo tanto, la lógica que subyace al diseño de la propuesta para realizar el balance ambiental de la ciudad va más allá de proveer una valoración cuantitativa exacta, mostrar el potencial que un estudio ecológico de la ciudad tiene en la exploración de relaciones causales y la importancia que variables y categorías de análisis, como el metabolismo urbano, la capacidad de carga y el déficit ambiental, tienen para promover una visión crítica y reflexiva frente a los actuales modelos de urbanización.

Toda investigación abre paso a nuevas formulaciones e implicaciones para subsecuentes trabajos, por lo que propuesta para utilizar el concepto de Balance Ambiental como una herramienta analítica es sólo el punto de partida para re-pensar la planeación de la ciudad desde nuevos paradigmas.

La complejidad y la diversidad de las temáticas que involucran el análisis del balance ambiental de la Ciudad de México han llevado a planteamientos en torno a los posibles alcances de una investigación de este tipo a desarrollarse bajo un corte general. Por ello, se reconocen inexorablemente las limitaciones del estudio para desarrollar todos los argumentos del potencial de la herramienta para identificar umbrales ecológicos, evaluar la capacidad de adaptación para responder ante amenazas y crisis de recursos, y redefinir vocaciones en el uso del territorio.

Aun así, en el trabajo se ha remarcado la importancia y la utilidad de una herramienta metodológica sintética que permita establecer criterios de sustentabilidad ambiental. La propuesta presentada es una forma de superar las limitaciones conceptuales y metodológicas del urbanismo imperante, pues genera información enfocada a valorar aspectos fundamentales para el balance ecológico de la ciudad; en primer término, la aproximación cuantitativa de cuáles son los límites ambientales del ecosistema urbano para soportar a una determinada población; en segundo, las exigencias regulares de los flujos metabólicos (agua, alimentos, materias primas y combustible); y, en tercero, visualizar cuál

es la relación de la demanda de la población urbana a la naturaleza, lo cual permite un acercamiento a los niveles de sustentabilidad y a su impacto ambiental.

Estas consideraciones son un punto de partida para reformular y plantear estrategias urbanas que abran posibilidades de transitar hacia formas de habitar el hábitat que sean más sustentables, y nos ayuden a restablecer la desequilibrada relación que tenemos en la ciudad con la naturaleza.

Referencias

- Allmendinger, Philip, 2001: *Planning in postmodern times*, Londres: Routledge.
- Atkinson, Adrian, 1994: "The Role of Cities in a Sustainable World", en *Regenerating Cities*, No.7, Network Association of European Researchers on Urbanization in the south.
- Baynes, Timothy M. y Wiedmann, Thomas, 2012: "General approaches for assessing urban environmental sustainability", en *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 4(4): 458-464.
- FAO, 2010: *Perfiles nutricionales por países*, Roma: FAO.
- Friedmann, Jonh, y Wolff, Goetz, 1982: "World city formation: an agenda for research and action", en *International journal of urban and regional research*, vol. 6, no 3: 309-344.
- Hackmann, Heide y Moser, Susan, 2013: "Social sciences in a changing global environment: General introduction", en International Social Science Council, *World Social Science Report, Changing global environments*, France: International Social Science Council.
- Harvey, David, 2014: *Seventeen contradictions and the end of capitalism*, Oxford: Oxford University Press.
- INEGI, 2010: Plantas de Tratamiento en uso, capacidad instalada y volumen tratado de aguas residuales por delegación o municipio según tipo de servicio en Cuaderno Estadístico de la Zona Metropolitana del Valle de México. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem07/estatal/DF/m001/index.htm>. Fecha de consulta: 3 de octubre de 2007.
- Jefatura de Gobierno de la Ciudad de México, 2016: Proyecto de Programa General de Desarrollo Urbano de la Ciudad de México 2016-2030, México: Secretaria de Desarrollo Urbano y Vivienda. Versión electrónica, disponible en: http://plancd.mx/assets/pdfs/PGDUCDMX_22nov2016.pdf
- Jefatura de Gobierno de la Ciudad de México, 2016: "Proyecto de Programa General de Desarrollo Urbano de la Ciudad de México 2016-2030" versión electrónica, disponible en: http://plancd.mx/assets/pdfs/PGDUCDMX_22nov2016.pdf. Fecha de acceso: 22 de noviembre de 2017
- Jordán Ricardo y Simioni Daniela, 2003: *Gestión urbana para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe*, Santiago de Chile: CEPAL
- Khanna, P., Ram Babu, P., Suju George, M. 1999: Carrying-capacity as a basis for sustainable development. A case study of National Capital Region in India. *Progress in Planning* 52 (1999) 101-166.
- Kennedy, Chris, 2012: "A Mathematical Model of Urban Metabolism", en: Weinstein, Michael P. y Turner Eugene, (eds), *Sustainability Science: The Emerging Paradigm and the Urban Environment*, New York: Springer.
- Lin, David; Galli, Allesandro *et al.* 2015: "Tracking supply and demand of biocapacity through ecological footprint accounting" en: Dewulf, Jo., De Meester, Steven. y Alvarenga, Rodrigo (Eds.). *Sustainability assessment of renewables-based products: methods and case studies*, New Jersey: Wiley.
- McDonnell, M. J., Hahs, A. K., and Breuste, J. H., 2009: *Ecology of cities and towns: A comparative approach*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.

- Molina, Mario., Belausteguigoitia, José *et al.* 2013: *Propuestas estratégicas para el desarrollo sustentable de la Megalópolis del centro de México*, México D.F: Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente A.C. Disponible en <http://centromariomolina.org/ciudades-sustentables/propuestas-estrategicas-para-el-desarrollo-sustentable-de-la-megalopolis-del-centro-de-mexico/>. Fecha de acceso: 3 de octubre de 2016.
- Rees, William, 1992: "Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out", en *Environment and Urbanization* Vol 4, No 2: 121 -130.
- Rees, William., 1996: "Indicadores Territoriales de Sustentabilidad" en *Ecología Política* No. 12: 27-41.
- Secretaría de Medio Ambiente, 2007. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero y carbón. Disponible en www.sma.df.gob.mx/inventario_emisiones/index. Fecha de consulta: 22 de enero de 2010.
- Secretaría de Medio Ambiente, 2008a. Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la ZMVM 2008. Disponible en www.sma.df.gob.mx/inventario_emisiones/index. Fecha de acceso: 18 de marzo de 2010.
- Secretaría del Medio Ambiente, 2008b. Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012, México, Gobierno del Distrito Federal, 2008, Disponible en www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/.../paccm_documento.pdf. Fecha de consulta: 3 de octubre de 2014.
- Secretaría de Medio Ambiente, 2009. Inventario de Residuos sólidos del Distrito Federal, Disponible en: <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/inventario-residuos-solidos-2013/IRS-2013-Final-24-10-14-optimizado.pdf> Fecha de consulta: 9 de agosto de 2013.
- SEMARNAT, 2009b: Estadísticas del Agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México, México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Disponible en http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/estadisticas/Estadisticas_2014-2018/Publicaciones.
- SENER, 2009: Sistema de Información Energética, Prospectiva del Consumo energético 2009, México: Secretaría de Energía, Disponible en <http://sie.energia.gob.mx/>
- SENER-Secretaría de Energía. 2011. Calentador de agua. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía Website [accessed May 25 2014]: www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/calentadores_de_agua
- Rosales, Natalie, 2013: *Nuevos desafíos de la planificación urbana: pautas para la instrumentación de los principios de sostenibilidad y su aplicación al caso de la Ciudad de México*, Madrid: Instituto Universitario de Ciencias Ambientales, Universidad Complutense de Madrid.
- Tudela, Fernando. 1991: "El laberinto de la complejidad. Hacia un enfoque sistémico del ambiente y la gestión de los servicios en América Latina" en: Schteingart, Marta, Andrea, Luciano D. (comps). *Servicios urbanos, gestión local y medio ambiente*, Ciudad de México: El Colegio de México.
- Wackernagel, M., 2009: Methodological advances in footprint analysis. *Ecological Economics* Vol. 68, núm. 7, 1925-1927
- Wackernagel, M. y Rees, W.E., 1999: *Nuestra Huella Ecológica: reduciendo el Impacto Humano sobre la Tierra*. Santiago de Chile: Colección Ecológica & Medio Ambiente, Lom Ediciones.
- World Watch Found, 2010: Informe planeta vivo 2010, Suiza: World Watch Found, Disponible en <http://www.wwfca.org/?196074/Informe-Planeta-Vivo-2010>