

## Seminario Recurrente: Tendencias Actuales en la Producción del Espacio Urbano

---

Edición 2018

Artículo 2

---

27-05-2019

### Metabolismo urbano: Una herramienta interdisciplinaria para el entendimiento de las dinámicas urbanas hacia el desarrollo de ciudades sustentables

Chiara De Tomassi  
Ciencias de la Tierra  
Facultad de Ciencias de la UNAM

Acceda a los otros ensayos del seminario en la página: <https://tpeurbano.hypotheses.org/>

---

Citación recomendada:

De Tomassi, C. (2019) Metabolismo urbano: Una herramienta interdisciplinaria para el entendimiento de las dinámicas urbanas hacia el desarrollo de ciudades sustentables. *Tendencias Actuales en la Producción del Espacio Urbano*. Edición 2018, Artículo 2. Recuperado de: <https://tpeurbano.hypotheses.org/258>

Este artículo se publica en formato de acceso abierto gracias al apoyo de la plataforma de blogs académicos de investigación [Hypotheses.org](https://hypotheses.org)

# Metabolismo urbano: Una herramienta interdisciplinaria para el entendimiento de las dinámicas urbanas hacia el desarrollo de ciudades sustentables

Chiara de Tomassi  
Ciencias de la Tierra  
Facultad de Ciencias de la UNAM

## *Introducción*

El tema de la modificación del entorno por parte del ser humano se ha vuelto cada día más relevante en el debate científico y sociopolítico mundial, al recalcar la necesidad de una forma de vivir que permita que la permanencia de nuestra especie en el mundo no perjudique la vida de otras, es decir, de una visión de sustentabilidad. A partir de este debate, han surgido metas internacionales que miran a aplicar nuevas políticas para reducir el impacto antropogénico en el medio ambiente; un ejemplo emblemático son los Objetivos de Desarrollo Sostenible, un conjunto de metas globales que los líderes de más de 150 países se comprometen a aplicar para 2030 (Naciones Unidas, 2016); El sexto y el onceavo de estos objetivos son respectivamente “Agua limpia y saneamiento” y “Ciudades y comunidades sostenibles” (Naciones Unidas, 2016).

En este ensayo se presenta, por lo tanto, el tema del Metabolismo Urbano (MU) como estudio del funcionamiento de las ciudades en materia de aprovechamiento de los recursos; en este caso específico, del agua. El MU se basa en el análisis de los flujos de materia y energía que entran, permanecen y salen de una ciudad, evidenciando los límites y las problemáticas del sistema para dirigir la atención de los tomadores de decisiones hacia acciones diferenciadas para alcanzar una política más sustentable (Álvarez-Díaz, 2014; Delgado-Ramos, 2015). Esta necesita derivar del conocimiento de la ciudad específica y que no sea fruto de políticas generales, pensadas y desarrolladas por otros países y aplicadas a contextos diferentes.

Para ejemplificar las argumentaciones expuestas en el presente trabajo, se discutirán dos estudios de caso que aplicaron el MU al consumo de agua, con la finalidad de evidenciar las similitudes tanto en las metodologías, es decir, con el análisis de los inputs, el stock y los outputs de agua a través de la ciudad, como en los resultados de los estudios.

En orden de publicación de las investigaciones, se presentará en primer lugar el caso de Ciudad del Cabo, Sudáfrica (Gasson, 2002), seguido por el de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), México (Delgado, 2015). El primero posee un carácter emblemático en la importancia del MU, pues a través del estudio de los flujos de agua que atraviesan Ciudad del Cabo, Sudáfrica, y sus fuentes, el autor identifica el llamado “Día Cero”, es decir el momento en que las fuentes de abastecimiento llegarán al 13% de su capacidad y no podrán suplir las necesidades de la ciudad (Gasson, 2002). El segundo es una aplicación del MU en la Zona Metropolitana del Valle de México, México, que aporta una amplia visión de cómo se aprovecha el agua en el Valle, así como de los problemas que pueden nacer a partir de este manejo (Delgado, 2015). Los dos estudios son interesantes por su carácter predictivo puesto que, en Ciudad del Cabo las condiciones del Día Cero se llegan a presentar en la actualidad, mientras en la Zona Metropolitana del Valle de México, éstas podrían darse en un futuro cercano.

Además, el MU cobra aún más relevancia al asociarlo al Quinto Informe de Evaluación (AR5) del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés), donde se reconoce la importancia del papel de las ciudades en materia de adaptación al cambio climático y mitigación del mismo (IPCC, 2014). Este reconocimiento se debe al aumento generalizado del grado de urbanización (porcentaje de personas que viven en las ciudades) y al aumento de la tasa de urbanización (las variaciones del grado de urbanización a lo largo de los años) que se vive sobre todo en los países en desarrollo (Garza, 2002; Organización de las Naciones Unidas, 2014). En 2017, más de 54.8% de la población mundial vivía en las urbes (Banco Mundial, 2018); este dato incrementará hasta alcanzar un 66% en 2050, con el aumento de 2.2 mil millones más de habitantes en las zonas urbanas (Organización de las Naciones Unidas, 2014) que, ya en la actualidad, llegan a emitir el 76% de emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2014).

En este panorama, el MU representa una herramienta viable para el aporte de información acerca del funcionamiento de las ciudades en el tema de aprovechamiento de los recursos, así como base para la toma de decisión hacia un modelo de ciudad sustentable, es decir que adapte sus necesidades a los límites del medio ambiente. El MU se caracteriza por su carácter interdisciplinario, demostrado en su capacidad de conectar sociedad y ambiente y de cuantificar la materia y la energía que entran, permanecen y salen de los centros urbanos, entendiendo las dinámicas que los rigen. Este tipo de acercamiento multi escalas confiere al MU la capacidad de individuar las debilidades del sistema particular, respondiendo a éstas con soluciones locales y puntuales.

## *El Metabolismo Urbano*

El concepto es desarrollado por Wolman (1965), que define el metabolismo de las ciudades como todos los materiales y commodities que una ciudad necesita para sostener la vida de sus habitantes. Más adelante, Kennedy y sus colegas proponen el MU como “la suma de todos los procesos técnicos y socio ambientales que ocurren en las ciudades, y que resultan en un crecimiento, en la producción de energía y en la eliminación de los desechos” (Kennedy et al., 2007).

El MU nace como rama del Metabolismo social, que estudia los flujos de entrada (inputs), los usos, o permanencia, en la ciudad (stock) y los flujos de salida (outputs) de las sociedades (Toledo, 2013). Además, el MU caracteriza como estos balances pueden cambiar o han cambiado a lo largo del tiempo y cómo el uso del recurso repercute en la cantidad y calidad del mismo. Además, de ser necesario, el MU puede identificar los procesos a mejorar para una mayor eficiencia y sustentabilidad. Bajo esta misma estructura se analizan los casos de estudio de Ciudad del Cabo y de la ZMVM.

En el caso del agua, el MU se enfoca en diferentes cuestiones: en los inputs, se recolecta información acerca de la procedencia del agua y del volumen que entra a la ciudad; en el stock se observa el uso que se le da a ésta (i.e. industrial, doméstico, agrícola, entre otros) y las pérdidas debidas a malfuncionamientos del sistema; finalmente, los outputs aportan información acerca del flujo de agua que sale de la ciudad y de qué forma lo hace, por ejemplo, si las aguas de salida reciben un tratamiento, dónde terminan una vez desechadas y si se les da otro uso después del urbano. Para un estudio de este tipo, es fundamental mantener un enfoque interdisciplinario, dada la necesidad de integrar conocimientos de distintas áreas de estudio: in primis, es necesario conocer temas de tipo científico, para poder calcular los cambios de recarga de los acuíferos (en la sección de los inputs) y desarrollar un manejo adecuado del recurso natural; en segundo lugar, puede ayudar conocer la sociedad que se toma en cuenta, como las posibles tradiciones y actividades que impliquen un uso característico, directo o indirecto, del recurso, o hasta compromisos políticos que lleven a subestimar o resaltar el ahorro y eficiencia en el uso del agua; Además, puede ser útil conocer otras características, como la geología en la que surge cada ciudad, puesto que ésta puede jugar un papel fundamental en la recarga de acuíferos, así como, en el caso de Ciudad de México, tomar en cuenta la dificultad que implica tener un buen sistema de distribución de agua en un área altamente sísmica. Más adelante se hablará más a fondo de otras características como ésta.

La fortaleza del MU, por lo tanto, es que responde a preguntas de diferente índole, proponiendo soluciones en diferentes campos, tanto ingenieril, como social, económico y ambiental, además de caracterizar cada ciudad a través de un estudio particular, que no aplique soluciones globales a contextos locales, como suele pasar.

### *El ejemplo de Ciudad del Cabo*

Ciudad del Cabo es la sede del Poder Legislativo de la República de Sudáfrica. Su población alcanza en 2014 un estimado de aproximadamente 4 millones de habitantes (Stats SA, 2014). Su área administrativa incluye 2461 km<sup>2</sup> (City of Cape Town, 2016), y se encuentra ubicada en la Península del Cabo, delimitada por el océano al oeste y por las montañas al sur (Currie et al, 2017).

A partir de 2014, Ciudad del Cabo enfrenta un fuerte estrés hídrico; los años desde 2015 hasta 2017 han sido de los más secos desde 1933, que corresponde al año de inicio del monitoreo de precipitación en la región (System Analysys Group), éste evento se reflejó en una disminución de la recarga de presas y acuíferos de los que la ciudad se abastece. Asimismo, a la situación de sequía se suma otro gran agente de presión: el crecimiento demográfico; Desde 1996, la población se ha visto casi duplicada, pasando de aproximadamente 2 a más de 4 millones de personas (STATS SA, 2014), y tan solo en las últimas décadas, la demanda de agua se ha visto duplicada, llegando a un promedio per cápita diario de 250-350 litros, antes de la crisis (Instituto Future Water).

B. Gasson, en 2002, publica un estudio de MU aplicado a Ciudad del Cabo, en el que analiza los flujos de agua que atraviesan la ciudad. En el año de publicación, en Ciudad del Cabo entra aproximadamente 1 millón de toneladas al día de agua (input), procedente de seis presas (CSAG, 2018); alrededor de 37% de ésta es destinada al uso doméstico y el 21% al riego de jardines de las casas privadas; eso suma un total de 57% del agua designada al uso residencial (stock). Las clases sociales de más altos recursos destacan por consumir más que las clases de bajos insumos, puesto que alrededor del 59% del agua en 1990 se destina a éstas primeras (Gasson, 2002). En la red de distribución, se registra un 9.3% de agua desperdiciada en fugas. Los flujos de salida, u outputs, son tratados por 23 plantas de las cuales pasan anualmente 191 millones de toneladas de aguas residuales (el 52% del agua de input anual). Además, alrededor del 61% del agua que entra a la ciudad es utilizada para transportar las aguas residuales fuera de ésta, con un 56% de la misma que es vertida al ambiente sin tratar. La casi totalidad del flujo que sale de la ciudad (86%) termina su viaje en las costas False Bay y Table Bay, zonas de recreo para la población aledaña (Gasson, 2002), causando

repercusiones tanto en la calidad del medio ambiente como, de consecuencia, en la salud de las personas que entran directa o indirectamente en contacto con el agua no tratada.

En el mismo estudio se menciona que, por causas de crecimientos demográficos se estima que esta demanda incrementará de un 3% anual y que, en 2025, las fuentes de abastecimiento no podrán suplir las necesidades de la ciudad (Gasson, 2002).

Como los cálculos de B. Gasson habían previsto, el crecimiento demográfico de la ciudad, entre otros factores, ha generado un estrés hídrico que, en conjunto con la larga sequía, ha dado lugar a la situación de escasez de agua que actualmente se vive en Ciudad del Cabo, puesto que, en 2016, las presas que abastecen la misma han alcanzado sus mínimos históricos desde 2004, llevando consigo una serie de restricciones y limitaciones en el uso de agua con el fin de evitar el “Día Cero”.

Puesto que los eventos naturales no pueden ser controlados y que las fechas, por lo tanto, pueden llegar a tener un alto grado de incertidumbre, esta investigación demuestra cómo, a través del estudio del MU, se pueden identificar estas tendencias para el desarrollo y aplicación de políticas públicas que miren a evitar o reducir la problemática. En este caso, B. Gasson logró cuantificar el uso del agua en la Ciudad y como éste uso pudiera generar una crisis hídrica; además, pudo identificar determinados procesos que facilitaron la escasez del recurso, como por ejemplo los excesivos consumos para uso doméstico y de jardinería, así como la falta de un plan adecuado de tratamiento de las aguas residuales, que hubiera podido facilitar el uso circular y reutilizo del recurso.

### *El Valle de México y el aprovechamiento del agua*

El caso del Valle de México es importante porque, aunque desde 1979 se ha registrado un aumento de 7% en la precipitación (Delgado, 2015), la disponibilidad del agua es extremadamente baja, debido a una tasa de extracción del recurso del doble de la de recarga (Guerrero et al., 2009). La sobre explotación del agua se suma a otros problemas, como la deforestación, la expansión urbana y el desperdicio de agua pluvial (Guerrero et al., 2009).

Viendo más a detalle, en la ZMVM la entrada de agua se aproxima a 900 millones de toneladas anuales, de las que el 73% (59 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) es extraída por 600 pozos que se abastecen de los acuíferos del Valle, mientras el 27% (22 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) es transportada a la ciudad a través del sistema Lerma Cutzamala y de ríos urbanos y

manantiales (Delgado, 2015). De esta cantidad (inputs), 37% es utilizado por uso residencial, 5% por la industria, 15% por la agricultura, entre otros usos. Sin embargo, de los 318 litros diarios per cápita que se estiman de consumo de agua, entre 35-40% se desperdicia en fugas (stock) (Delgado, 2015).

En el flujo de salida el 95% del agua residual sale de la ciudad sin ningún tipo de tratamiento; el 5% restante, es utilizado principalmente para el riego de zonas verdes urbanas, en la ciudad, y para actividades de agricultura, en el Estado de México (outputs). El agua que sale del Valle sin tratamiento es desviada hacia el Valle de Mezquital en el adyacente Estado de Hidalgo, donde alrededor de 85 mil hectáreas de terrenos son regados con las aguas residuales, aportando enormes problemas de salud para las poblaciones aledañas y los consumidores de tales productos (Delgado, 2015).

La ZMVM está recibiendo una cantidad mayor de agua en los últimos años, debido a precipitaciones más intensas; sin embargo, la cantidad de agua no es ni será suficiente para satisfacer la demanda de agua creciente del Valle (Delgado, 2015).

Monitoreando de forma más continua el consumo de agua en la ZMVM, se pueden observar los cambios de inputs y outputs, y calcular las pérdidas de agua que derivan del mal funcionamiento de las tuberías, obteniendo estudios de base para el desarrollo de políticas de aprovechamiento sustentable del recurso.

### *Discusión*

En los dos estudios de caso se observan diferentes formas de abastecimiento, así como de uso y desecho. La mayoría del agua que entra a Ciudad del Cabo es destinada al uso residencial, mientras en la ZMVM el mayor porcentaje de agua se desperdicia en fugas, esto debido a una diferencia de calidad y antigüedad de tuberías, pero también de la dificultad de esta última ciudad de generar un sistema más eficiente, dado su ubicación altamente sísmica. Además, la ZMVM se abastece en su mayoría de acuíferos, lo que dificulta el monitoreo de la tasa de recarga de agua al manto y, por lo tanto, las estimaciones a futuro.

Sin embargo, resaltan algunas similitudes, como en el caso de las aguas residuales que, en las dos ciudades, se desechan sin un sistema adecuado de tratamiento, por lo que ingresan a los ecosistemas contaminadas. La linealidad del sistema implica in primis que el agua contaminada tenga repercusiones al regresar al ambiente, y en segundo lugar que ésta no pueda tener un segundo uso en la misma ciudad de forma segura, uso que se traduciría en un manejo más eficiente

del recurso. Además, las fuentes de abastecimiento en ambas ciudades son muy poco diversificadas; este sistema genera una fuerte dependencia que, en casos de disminución de la tasa de recarga, podría más fácilmente desembocar en una crisis hídrica. Este fenómeno se podría limitar a través de la aplicación de otros sistemas de abastecimiento de agua, como pueden ser la captación de agua de lluvia o, como ya se mencionó, el tratamiento de aguas residuales para posteriores usos.

Hay que mencionar que las limitaciones que el MU encuentra son diferentes; entre ellas destaca la dificultad en encontrar datos de entrada, de almacenamiento y de salida de los flujos. En el caso del Valle de México, por ejemplo, es muy complicado averiguar con exactitud a qué tasa se están regenerando los acuíferos, y la única forma que tenemos de saber qué tanto la extracción está afectando es el hundimiento de la ciudad. Otras veces, en cambio, los datos existen, pero no son públicos o su obtención se ve obstaculizada.

Además de los problemas en el desarrollo de estudios de MU, también se pueden encontrar dificultades en la implementación de las políticas públicas adecuadas que deriven de estos estudios, puesto que no necesariamente las decisiones políticas se generan con base en conocimientos académicos, siendo éstas fruto de intereses económicos y privados en la mayoría de las veces.

Por último, las dificultades pueden nacer de la incertidumbre que aportan los cambios climáticos, con fenómenos atmosféricos cada vez más intensos. Como se explicó en el caso de Ciudad del Cabo, los estudios de 2002 no tomaban en cuenta la fuerte sequía que afectó desde 2013 el territorio, lo que conllevó una subestimación de la cercanía de la crisis hídrica.

Sin embargo, las problemáticas antes mencionadas afectan de la misma forma cualquier estudio que se valga de una herramienta que, como en el caso de metabolismo urbano, abarca el tema ambiental bajo un enfoque interdisciplinario.

### *Conclusión*

Los casos de Ciudad del Cabo y de la ZMVM demuestran cómo cada ciudad necesite un análisis particular de su funcionamiento para poder mejorar la eficiencia de sus procesos. El metabolismo urbano puede ser una válida herramienta para este análisis, dado su carácter interdisciplinario y específico.

Tomando en cuenta las limitaciones que éste enfrenta y que, parcialmente, podrán ser superadas con el desarrollo de tecnologías más aptas, el metabolismo urbano permanece una herramienta completa, capaz de relacionar la sociedad con



la naturaleza para imaginar una forma de vivir que no se base en la explotación sin frenos de los recursos y que promueva soluciones particulares y locales para un manejo de recursos que genere nuevos modelos de ciudades perdurables a lo largo del tiempo.

### *Referencias*

- Álvarez-Díaz, C.J. (2014). Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades. *Interdisciplina*, núm. 2: p. 51–70.
- Banco Mundial (2018). Naciones Unidas, Perspectivas de la urbanización mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/sp.urb.totl.in.zs> Accessed January 9, 2019.
- City of Cape Town (2016). City statistics and population census. “Censo estadístico y poblacional” <https://www.capetown.gov.za/en/stats/Pages/default.aspx>. Accessed January 9, 2019.
- CSAG (2018). Climate Information Panel. <http://www.csag.uct.ac.za/climate-services/cip/> Accessed May 22, 2019
- Currie, P.K. & Musango J.K. (2017). Urban metabolism: A review with reference to Cape Town. “Metabolismo urbano: una reseña en referencia a Ciudad del Cabo” *Cities* 70: 91–110.
- Delgado, G.C. (2015). Water and the political ecology of urban metabolism: the case of Mexico City. “Agua y ecología política del metabolismo urbano: el caso de Ciudad de México” *Journal of Political Ecology* Vol. 22: 89-114
- Garza, G. (2002). Evolución de las ciudades mexicanas en el siglo XX. *Revista de información y análisis* núm. 19
- Gasson, B. (2002). The ecological footprint of cape town: unsustainable resource use and planning implications. “Huella ecológica de Ciudad del Cabo: implicaciones del uso del recurso y planeación insustentables” National Conference of the South African Planning Institution, 18-20 September 2002, Durban.
- Guerrero, Tanni y et.al. (2009). El agua en la Ciudad de México. *Ciencias*, 94, abril-junio, 16-23.
- Institute of Future Water (s.f.). University of Cape Town, Sudáfrica. <http://www.futurewater.uct.ac.za/> Accessed May 22, 2019
- IPCC (2014). Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning. “Asentamientos humanos, infraestructuras y planeación espacial”. Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx. Climate change 2014: mitigation of climate change. Contribution of working group III

- to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press
- Kennedy, C.A. (2007). Applying industrial ecology to design a sustainable built environment: the Toronto Port Lands challenge. “Aplicación de la ecología industrial al diseño de un ambiente sustentable: el reto de Toronto Port Lands” Engineering Sustainability Conference, Pittsburgh, USA.
- Organización de las Naciones Unidas (2014). World urbanization prospects, the 2014 revision. “Prospectos de la urbanización mundial, revision de 2014”. The Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations New York, USA.
- Organización de las Naciones Unidas (2016). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Stats SA. (2014). South African National Census: Western Cape Municipal Report. Pretoria: Stats SA. [http://www.statssa.gov.za/?page\\_id=3955](http://www.statssa.gov.za/?page_id=3955). Accessed January 9, 2019.
- Toledo, V. M. (2013). El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica. Relaciones 136. Autor: CIECO-UNAM.
- Wolman, A. (1965). The metabolism of cities. *Scientific American*, 213 (3), 154-160. Estados Unidos.