

El paradigma del metabolismo urbano desde la perspectiva de los sistemas complejos hacia la sustentabilidad

JORGE ANTONIO MEJÍA RODRÍGUEZ

Resumen

El objetivo del ensayo reside en abordar el paradigma del metabolismo urbano desde la perspectiva metodológica de los sistemas complejos y multidisciplinares, como instrumentos vinculantes para el estudio y gestión de la sustentabilidad. La conclusión preliminar es que el metabolismo urbano representa un ejemplo de la construcción vinculante en ciernes de los modelos complejos y multidisciplinares para el abordaje urgente de la transición energética de las ciudades hacia la mitigación del cambio climático global y el colapso ambiental prevalentes en la sociedad actual.

Palabras clave: metabolismo urbano, sistemas complejos, transdisciplina y prospectiva sustentable en ciudades

THE URBAN METABOLISM PARADIGM FROM THE PERSPECTIVE OF COMPLEX SYSTEMS TOWARDS SUSTAINABILITY

Abstract

The aim of the essay is to approach the urban metabolism paradigm from the methodological perspective of complex and multidisciplinary systems, as binding instruments for the study and management of sustainability. The preliminary conclusion is that urban metabolism represents an example of the binding construction in the making of complex and multidisciplinary models for the urgent approach of the energy transition of cities towards the mitigation of global climate change and environmental collapse prevalent in today's society.

Preámbulo

Como sabemos, en 1989 fue la primera vez que se habló, seriamente, sobre cambio climático. Las democracias parecían florecer en muchas partes del mundo, en Europa del Este, en Europa central, en América Latina. Pero un periodo muy corto demostró lo frágil que son estas cosas. Estados Unidos tiene la ventaja de llevar, en el juego de la democracia constitucional, más de dos siglos. Eso importa. Pero las cosas son frágiles, las instituciones son frágiles, y las publicaciones son frágiles (Remnick, 2020).

También es frágil el planeta que habitamos, por lo que es imprescindible actuar de inmediato en contra de todas las acciones ambientalmente irracionales del modelo lineal capitalista depredador y contaminante que domina el *modus operandi* de nuestra civilización actual.

En ese sentido, el ensayo persigue el objetivo de abordar el paradigma del metabolismo urbano desde la perspectiva teórico-metodológica de los sistemas complejos y multidisciplinarios, como instrumentos vinculantes para el estudio y la gestión de la sustentabilidad urbana. Se parte de una visión sistémica y holística para abordar dicha problemática, en el entendido de que las múltiples soluciones por enfrentar nos presentan el reto de salvar los ecosistemas territoriales en todas sus dimensiones y complejidades, considerando que, como civilización, enfrentamos el mayor desafío que históricamente jamás se había presentado a la humanidad.

En la coyuntura actual, todavía tenemos por delante una crisis que hace que la pandemia se vea como un juego de niños.

No hay una vacuna contra el cambio climático. El grado de transformación —económica, de política pública, de cooperación internacional— que se necesita en el tema del cambio climático, para que grandes partes del mundo no estén pronto en la ruina absoluta, es enorme. ¿Pero cómo puede eso avanzar si el presidente actual de los EUA cree que el tema del cambio climático es una mentira de China? No se puede (Remnick, 2020).

1. El paradigma del metabolismo urbano

Según MacKillop (2014), una forma magistral de definir el metabolismo urbano es considerarlo, de acuerdo con Kennedy, como “La suma total de los procesos técnicos y socioeconómicos que se producen en las ciudades, lo que resulta en el crecimiento, la producción de energía, y la eliminación de residuos” (Kennedy *et al.*, 2007: 44).

Los orígenes del concepto se remontan a Carlos Marx, quien analiza primero el metabolismo urbano en 1883, y utiliza el concepto para describir los intercambios de materia y energía entre la naturaleza y la sociedad en su crítica de la industrialización.

Más tarde, Wolman (1965) relanzó el concepto metabolismo urbano en respuesta al deterioro de las cualidades del aire y del agua en las ciudades estadounidenses. Como se sabe, el concepto surgió del deseo de cuantificar, con el fin de cambiar/mejorar las condiciones imperantes.

No obstante, el concepto de metabolismo urbano tiene un aspecto crítico. ¿Por qué necesitamos abordarlo? La mayoría de la población del planeta vive en ciudades

y, por ende, el metabolismo de estas ciudades se está acelerando, lo que lleva a un mayor impacto en el medio ambiente, la calidad de vida y la salud de la población, etc. Esto nos lleva a generar un metabolismo alto, el cual, se debe a que nuestros edificios y ciudades son intensivos en el uso de recursos ineficientes en su operación.

En tal sentido, la comprensión y el metabolismo de regulación están a un paso, por primera vez, de avanzar hacia la sustentabilidad. En algunos aspectos, la ciudad es como una planta natural que extiende más y más sus raíces, hasta que sus necesidades de recursos están satisfechas. Un aspecto de este crecimiento es que las ciudades requieren un mayor gasto de energía para el transporte, puesto que los materiales viajan a distancias cada vez mayores.

Por ende, de acuerdo con el Informe Brundtland de la ONU, 1987, Nuestro Futuro Común, el desarrollo económico de hoy no debe impedir el desarrollo del mañana. Así, en términos del metabolismo urbano, la ciudad cada vez utiliza más recursos y produce más residuos que los que el ambiente puede proporcionar y absorber. Por tanto, dicho concepto nos hace más conscientes de nuestra huella ecológica.

Por su parte, MacKillop (2014) nos resume los beneficios y consideraciones del concepto de metabolismo urbano, en la medida en que:

- Los modelos matemáticos son posibles de construirse.
- La comparación entre ciudades es posible.
- Podemos conocer los efectos del uso de los recursos.
- El concepto y las herramientas del metabolismo hacen posible hacer investigación en los edificios, las ciudades y el medio ambiente, desde un entorno científico y objetivo.
- Esto puede constituir la base para realizar estudios científicos e implementar políticas racionales.
- Las ciudades necesitan insumos y/ recursos materiales para crecer; estos recursos son, por ejemplo, agua, energía, construcción, etcétera.
- Las transformaciones se producen dentro de la ciudad y más allá de ella, debido a los procesos productivos inmersos en su espacio regional.
- Muchas ciudades exportan cada vez más y llegan más lejos, con lo que generan impactos regionales y globales.
- El agua representa, de entrada, el insumo o recurso más utilizado.
- La mayor parte de este flujo de agua se descarga como agua residual, y el resto se pierde por fugas y actividades como el riego de jardines.
- Las ciudades necesitan suministros de energía y también producen energía a través del calor, este es un mecanismo circular con efectos de retroalimentación: la energía más utilizada produce más calor, y esta más necesidad de energía para enfriar, etcétera.
- La energía se importa cada vez de más y más lejos, con el aumento de los impactos globales que eso supone.
- Las ciudades utilizan los recursos que adquieren en formas muy específicas, las cuales están vinculadas a la geografía local, la historia, la cultura y las estructuras de poder político.

- Los recursos se transforman en la ciudad, con lo que generan residuos diversos.
- El entorno de los edificios construidos, calles, etc., es el resultado de estas transformaciones.
- El entorno construido también da forma a transformaciones futuras.
- La gestión de los recursos también influye en la evolución de las dinámicas socio-políticas en la ciudad.
- Las ciudades son espacios proclives a las desigualdades en el uso/acceso de los recursos. Los recursos requeridos por las ciudades no fluyen de manera uniforme hacia todos los ciudadanos, tal flujo refleja las desigualdades existentes, las refuerza y crea otras nuevas.
- Las redes construidas para transportar recursos reflejan también estas relaciones de poder y de discriminación.
- Predominan dinámicas de segregación/fragmentación que están presentes en la esfera laboral.
- La desigualdad también está presente en el acceso a los servicios como agua y electricidad, alcantarillado y transporte.
- Asimismo, se forman redes para eludir ciertas partes de las ciudades (los más pobres, los menos poderosos) a favor de los demás (los más ricos, los más poderosos).

De igual forma, MacKillop (2014) destaca que algunos de los principales estudios sobre metabolismo urbano y sus resultados son:

- *Bruselas*: los ecologistas Duvigneaud y Denaeyer-De Smet (1977) incluyeron la cuantificación de la biomasa urbana e incluso las descargas orgánicas de los gatos y los perros.
- *Hong Kong*: Newcombe y sus colegas (1978) fueron capaces de determinar las entradas y salidas de materiales de construcción y productos terminados. Warren-Rodas y Koenig (2001) realizaron una actualización del estudio de Hong Kong, que mostró que desde 1971 hasta 1997 el consumo de alimentos *per capita*, agua y materiales había aumentado en 20%, 40% y 149%, respectivamente.
- *Sydney*: Newman (1999) introdujo la noción de calidad de vida y bienestar en el análisis del metabolismo.

En resumen, MacKillop sostiene que el metabolismo de las ciudades y los edificios es esencialmente lineal y, por lo tanto, ineficiente y con externalidades negativas. Por tanto, tenemos que encontrar la forma de generar ciclos de cierre, para que todos estos ciclos sean completados, lo más posible, en entornos locales. Asimismo, las herramientas de planificación y la ciencia del clima urbano pueden ayudarnos a diseñar mejores edificios y ciudades, pero también tenemos que entender cómo la gente usa los edificios y las ciudades.

¿Reusar o expulsar? Lineal versus circular

La idea central del metabolismo reside en que las ciudades modernas y los edificios tienen metabolismos lineales: es decir, generan recursos y producen residuos y emisiones. Por ello el costo de su existencia se extiende sobre el resto de las ciudades o áreas circundantes, incluso del mundo, por lo que se requieren ciclos de cierre que pueden ayudar a mejorar estos espacios.

¿Cómo cambiar el metabolismo del entorno construido?

Sobre todo, a través de la construcción de edificios más eficientes, mejor diseñados; ciudades más densas, más compactas, que ofrezcan una mezcla de usos, así como la reducción de necesidades de transporte y energía. Por ello se requiere un cambio general en las mentalidades y los estilos de vida, y una redefinición de la ciudad en torno a nuevos principios.

Por otra parte, y desde una perspectiva latinoamericana, Dania González resume dicho modelo teórico, al destacar que las ciudades forman parte del medio ambiente construido y creado por el hombre y, como tal, interactúan con el medio ambiente natural. Por tanto, y según el modelo de desarrollo lineal y “productivista” imperante hasta hoy, el metabolismo lineal de las ciudades las convierte en consumidoras de recursos provenientes del medio natural, a la vez que depositan en este los desechos que en ellas se producen. Esta situación conduce al agotamiento de recursos y la contaminación ambiental que caracterizan la crisis del mundo actual, cuando las necesidades del ecosistema urbano (que se alimenta de otros) sobrepasan las posibilidades de su territorio de influencia para reproducir los recursos y reciclar los desechos (lo que comúnmente se conoce como capacidad de carga).

Por lo tanto, para que una ciudad sea más sustentable es necesario transformar el metabolismo lineal en metabolismo circular, de modo que la mayoría de lo que salga pueda ser reutilizado en el sistema de producción y, con ello, afectar un entorno mucho menor. Así, en la medida en que se encuentren y apliquen soluciones de sistemas circulares para el agua, la basura, la energía y los alimentos, nos acercaremos, cada vez más, a un desarrollo sustentable de las ciudades, con un mejor uso de los abundantes recursos humanos, los preciosos recursos naturales y los escasos recursos financieros.

Otro aspecto importante es la escala y las dimensiones del asentamiento urbano, ya que influyen en la posibilidad de un mayor o menor acercamiento a una solución sustentable. Si se descomponen problemas grandes en varios pequeños, que resulten más “manejables”, será más fácil enfrentar su solución. Por tanto, las ciudades sustentables pudieran estar estructuradas en sistemas de partes con el mayor grado posible de autonomía.

Figura 1
Esquema del ciclo de entrada y salida en las ciudades



Fuente: Tomado de González, 2013.

Un aspecto de la planeación urbana que guarda relación directa con el desarrollo sustentable es el aprovechamiento del suelo como recurso prácticamente no renovable, pues, una vez que se construye sobre él, tardará mucho en ser usado nuevamente, en dependencia de la vida útil de la edificación. Como es conocido, lo más común es que los países que han tenido históricamente una posición destacada en la preocupación por la preservación del medio ambiente, de manera general, se proponen hoy como principio indiscutible para la sustentabilidad urbana, el incremento de la densidad de uso del suelo, aprovechando sobre todo las áreas urbanas ya existentes. El acceso al suelo es hoy un factor decisivo para resolver el problema de la vivienda en los sectores poblacionales de más bajos ingresos en los países en desarrollo. Sin embargo, las tipologías arquitectónicas y urbanas que se corresponden con los sistemas de gestión y las soluciones constructivas empleadas en esos casos generan, en las ciudades del Tercer Mundo, desarrollos urbanos marginales y periféricos de muy bajas densidades.

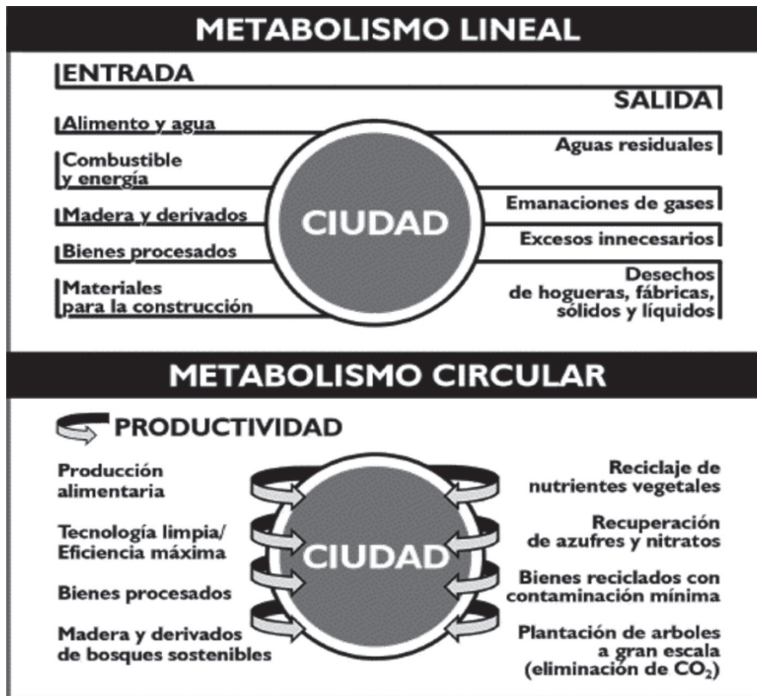
Como sabemos, las áreas verdes urbanas desempeñan múltiples funciones de saneamiento ambiental: producción de oxígeno, filtro para la contaminación, barrera contra ruidos, etc. También en climas cálidos, como el nuestro, el efecto de la “sombra viva” es insuperable y contribuye notablemente a la reducción de la temperatura en espacios exteriores, contrarrestando el efecto de la “isla de calor urbana”.

Otro aspecto relevante en la planeación de las ciudades que también resulta decisivo es la reducción de las necesidades de transportación, tanto de personas como de productos. El crecimiento excesivo de las ciudades, la zonificación de sus funciones y la aparición de “ciudades satélites” o “ciudades dormitorio” han ocasionado consecuencias negativas, como la expansión de las autopistas y líneas de ferrocarril, que constituyen, además, barreras en el paisaje urbano. Otro aspecto importante en la sustentabilidad de las ciudades es, por tanto, garantizar un buen sistema de transporte público, sano, seguro y eficiente, que resulte competitivo con el automóvil como medio de transporte individual. No obstante, las tendencias en este sentido en los países desarrollados se dirigen en la actualidad a incrementar la capacidad de carga de los

medios de transporte disponibles, particularmente los de pasajeros, y buscar otras fuentes de energía para sustituir los combustibles fósiles; tal es el caso del etanol en los autobuses y autos eléctricos, así como combinar estos medios de transporte con el uso extendido de bicicletas en áreas centrales. Otro aspecto para considerar es la seguridad del tráfico urbano, la reducción de velocidades y la construcción de calles, carreteras, vehículos y equipamientos más seguros.

La necesidad de incorporar el diseño bioclimático a escala urbana y arquitectónica constituye otra vía para mejorar las condiciones ambientales y reducir el consumo de energía convencional en los espacios habitables, todo lo cual contribuye al logro del desarrollo sustentable.

Figura 2
Comparación entre el metabolismo lineal y el circular



Fuente: Tomado de González, 2013.

Asimismo, otro importante recurso que se consume en las ciudades es el agua. Las fuentes de agua, su calidad y saneamiento, las formas de abasto y bombeo (aprovechamiento de la gravedad o energías renovables) influyen considerablemente en la calidad de la vida y el consumo de recursos. Por otra parte, el agua es un preciado recurso que se puede reciclar o reusar, tanto a escala de los edificios o de conjuntos,

como a escala de ciudad. El aprovechamiento del agua pluvial es también una forma de ahorrarla, sobre todo en lugares donde la lluvia es abundante y la disponibilidad de agua potable es insuficiente. De ahí que la evacuación y el tratamiento de los residuos urbanos es otro factor de vital importancia en el desarrollo urbano sustentable.

El reciclaje de todos los desechos posibles minimiza la cantidad de residuos que se incorporan al medio ambiente, y con ello su contaminación, así como la cantidad de recursos y materias primas necesarias. Para ello es imprescindible la recolección separada de los desechos sólidos y líquidos, orgánicos e inorgánicos, de forma clasificada. Los residuos sólidos orgánicos pueden ser tratados para producir composta (un abono orgánico de excelente calidad), o en biodigestores para obtener biogás (gas combustible) y abono. Los residuos inorgánicos (vidrio, papel, cartón, metales) pueden ser reciclados como materia prima en la producción de nuevos productos.

Asimismo, la participación social en los procesos de gestión urbana es una condición esencial del desarrollo sustentable. Cualquier proceso sustentable ha de desarrollarse de abajo arriba y de adentro hacia afuera, debe ser específico y descentralizado. Por último, las tecnologías y los materiales de construcción empleados en la ejecución de los edificios que conforman la ciudad también influyen de forma considerable en su sustentabilidad (González, 2013: 18-20, citado en Mejía *et al.* 2019: 108-110). Dichos procesos metabólicos pueden observarse con nitidez en las figuras 3 y 4, elaboradas por Díaz (2014).

Los sistemas complejos

Tanto los constructos y ambientes intervenidos por el hombre como los ecosistemas prístinos, están conformados por partes y eventos que determinan relaciones internas y externas, que en conjunto definen el concepto común de sistema. Ambos se constituyen por “elementos idealmente separables con interacciones entre sí” (Margalef, 2002: 80), base común que es el punto de partida para concebir el entendimiento de estas dos realidades, sugerir similitudes y proponer formas de modelación. Sea un producto de los factores bióticos y abióticos, la fisicoquímica y la evolución —como lo es un sistema natural—, o un producto de la cultura —como un asentamiento humano (cuadro 1)—, el sistema se puede representar de acuerdo con la Teoría General de Sistemas (TGS), y sobre la base de los intercambios de materia, energía e información dentro de sí y con el medio circundante. Esto es posible debido a que el “complejo de sus elementos interactuantes puede ser matemáticamente distinguido conforme a su número, sus especies y las relaciones entre elementos” (Bertalanffy, 1976: 54, citado por Díaz, 2014).

La energía y la materia

La energía posibilita que los sistemas fisicoquímicos puedan sostenerse a sí mismos y aumenten su información potencial (Margalef, 2002: 99). Es el “origen de toda ac-

Figura 3
Mapa mental de los elementos ecosistémicos comunes en los sistemas urbanos y los sistemas naturales

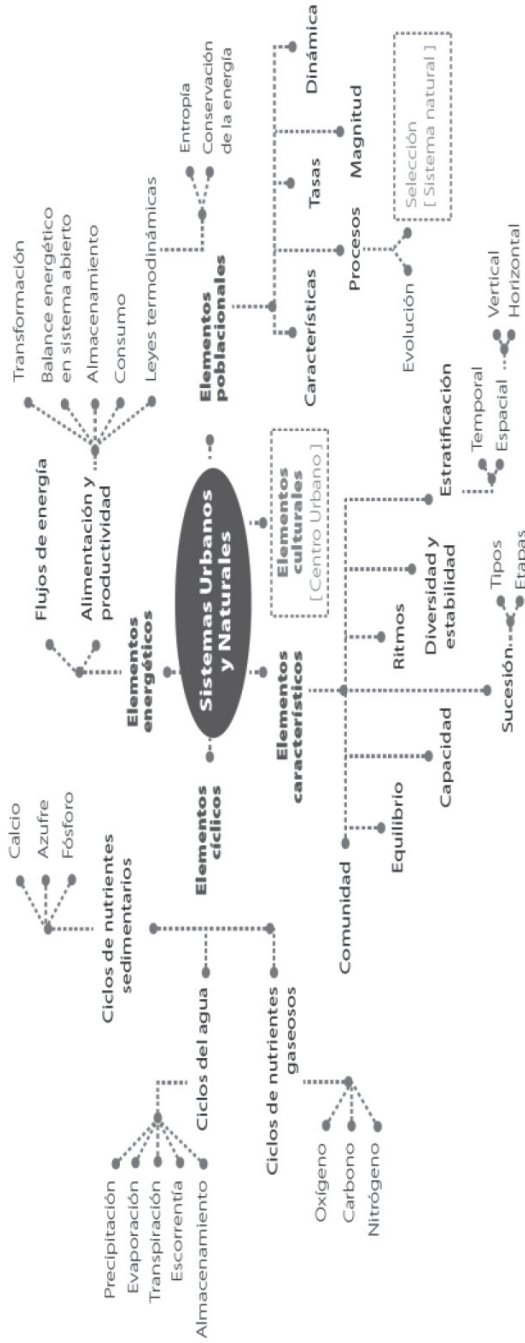
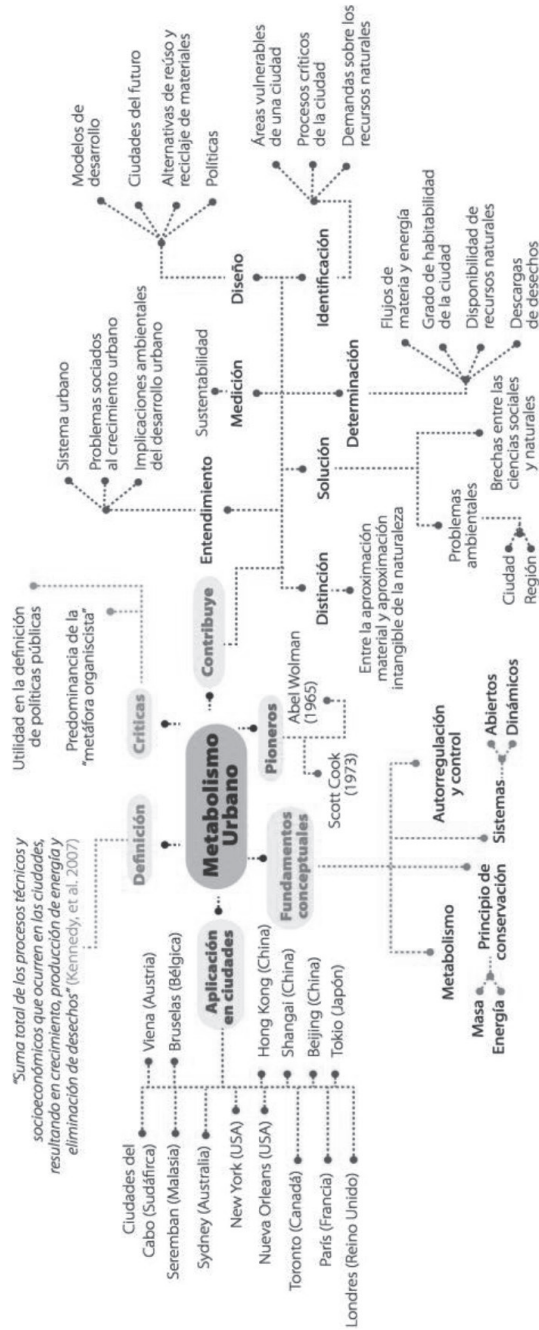


Figura 4
 Mapa mental de los elementos básicos involucrados en el tema del metabolismo urbano



tividad, transforma la materia (...) la vida misma existe solo porque obtiene y pierde energía” (Sutton y Harmon 1976, 29).

La energía que fluye y se transforma pierde capacidad No en bibliografía de recuperar su magnitud y forma inicial. Esta condición natural, expresada por la Segunda Ley de la Termodinámica, indica que “la entropía siempre aumenta en cualquier proceso irreversible que ocurra espontáneamente” (Margalef, 2002: 94). Por tal motivo, todas las transformaciones fisicoquímicas que se verifiquen en un sistema avanzarán en una dirección tal que el cambio de entropía total asociado con ellas sea positivo (Smith, Van Ness y Abbott 1997: 191), lo que aumenta su nivel de desorden. Por ende, en un sistema altamente complejo, como la ciudad, se requerirá una mayor cantidad de energía para mejorar su organización y mantener sus funciones políticas, sociales, económicas y ecológicas (Carrizosa 2009: 85). Infaustamente, esta realidad conlleva una paradoja termodinámica, puesto que “por cada estructura ordenada producida por el ser humano en el mundo se produce también una cantidad aún mayor de caos” (Brown, Lemay y Burtens, 1991: 755).

En síntesis, las ciudades, concebidas sea como súper organismos urbanos (Zhang *et al.*, 2009, 1960), organismos cibernéticos —mitad natural, mitad artificial— (Swynedouw 2006), sistemas complejos y dinámicos (Newman 1999, 220), áreas metropolitanas vivientes (Moore, 2007: 30) o sistemas vivos, indiscutiblemente exhiben procesos metabólicos que para ser analizados deben expresarse matemáticamente a través de balances de materia y energía. Tarea apremiante, ya que la estructura de la civilización urbana sufre un proceso irreversible de expansión, cada vez menos gobernable o programable (Cacciari, 2010) que devora áreas cultivables, de amortiguamiento y reserva, y que presiona los sistemas de abasto y provisión. Es un fenómeno urbanístico que, sumado a la variabilidad y el cambio climático, exacerban la crisis ambiental urbana, lo cual en última instancia puede poner en riesgo la sostenibilidad de la ciudad y, en el peor de los casos, su existencia (Díaz, 2014: 65).

Conclusiones

De acuerdo con Díaz, el metabolismo urbano se constituye en un concepto útil, flexible, certificado y reconocido por la academia, la industria, la sociedad y el gobierno, que ayuda en el entendimiento de las ciudades y su dinámica, y en la búsqueda de su permanencia en el espacio y el tiempo. Esto se debe a la polivalencia de su noción desde las perspectivas técnica, multidisciplinaria, ecológica y económica.

Además, en aras de coadyuvar a la sustentabilidad y la competitividad de la ciudad, el estudio del metabolismo urbano se constituye en un esfuerzo técnico, político y económico que facilita el entendimiento de sus redes de abastecimiento de materiales y energía, que busca la eficiencia y la eficacia de sus procesos de transformación, así como la minimización del daño ambiental de sus desechos, y permite a los gestores de política anticiparse a eventos no deseados basados en las señales del presente (Díaz, 2014).

El metabolismo urbano, por lo tanto, representa un ejemplo de la construcción vinculante en ciernes de los modelos complejos y multidisciplinares para el abordaje urgente de la transición energética de las ciudades hacia la mitigación del cambio climático global y el colapso ambiental prevalecientes en la sociedad actual.

Bibliografía

- Brown, T; Lemay, H. y B. Bursten (1991). *Química: la ciencia central*. Traducción de M. Hidalgo. México, DF: Prentice Hall Hispanoamericana.
- Díaz Álvarez, Cristian Julián (2014). “Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades”. *Interdisciplina*, 2, núm. 2: p. 51–70. Colombia.
- MacKillop, F. (2014) “El metabolismo urbano” Presentación en Power Point.
- Margalef, R. (2002). *Teoría de los sistemas ecológicos*. Barcelona: Alfaomega.
- Mejía Rodríguez J. A. et al. (2019). “La dimensión energética en el metabolismo urbano...”. En D. Barkin et al. *Ecological Economics & Social-Ecological Movements*. UAM-Xochimilco.
- Remnick, D. (2020). Disponible en: <https://elpais.com/internacional/elecciones-usa/2020-10-05/david-remnick-estados-unidos-ha-sido-una-democracia-imperfecta-desde-que-se-fundo.html>. Consultado: 24 de octubre de 2020.
- Sutton, D. y N. Harmon (1972). *Fundamentos de Ecología*. México, DF: Limusa.
- Smith, J.; Ness, H. van y M. Abbott (1997). *Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química*. Traducción de E. Urbina y M. Hidalgo. México, DF: McGraw-Hill.
- Zhang, Y.; Yang, Z. y X. Yu (2009a). “Ecological Network and Energy Analysis of Urban Metabolic Systems: Model Development and Case Study of Four Chinese Cities”. *Ecological Modelling* (Elsevier): 220.