

La ciudad modelada como ecosistema: principios y estrategias para la sustentabilidad de los sistemas del metabolismo urbano de la ciudad

The city modeled like ecosystem: principles and strategies for
sustainability of the systems of urban metabolism city.

Fernando Córdova Canela* Alejandra Villagrana Gutiérrez**

Citar este artículo como: Córdova-Canela, F y Villagrana-Gutiérrez, A. (2015). La ciudad modelada como ecosistema: principios y estrategias para la sustentabilidad de los sistemas del metabolismo urbano de la ciudad. Revista NODO Vol. 9 (No. 18): 59-66. Enero - Junio. Bogotá, D.C. Colombia.

Resumen

El concepto de metabolismo urbano fue utilizado por primera vez por Wolman (1965) para cuantificar los flujos de energía y materiales dentro y fuera de una ciudad hipotética, y fue desarrollado por Douglas (1983), que describe las ecuaciones para medir la energía, el agua, y los saldos que lo constituyen. La integración adecuada de los modelos disponibles aún no se ha logrado dar desde una visión integral de la sustentabilidad urbana en apoyo de las prácticas de evaluación de la planificación y el impacto (Zhang, 2013). En general los sistemas que construyen el metabolismo urbano tienen una secuencia lineal de procesamiento, por lo que el funcionamiento de la ciudad depende por completo de la importación de recursos de alta calidad; eso lo hace altamente ineficiente (Leduc y Van Kann, 2012).

Las ciudades como sistemas artificiales pueden ser rediseñadas desde una mejor perspectiva como ecosistemas naturales, pero ¿qué enfoques deben ser considerados para simular un ecosistema natural? Para esto es apropiado analizar las normas de funcionamiento del sistema urbano, basadas en principios y métodos

ecológicos. Cuando una ciudad es comparada como un organismo vivo estudiando su metabolismo urbano, todos los flujos de energía y materiales deberán de ser considerados.

Palabras clave:

Sistemas, Ciudad-Ecosistema, Metabolismo Urbano, Resiliencia, Cosecha Urbana.

Abstract

The concept of urban metabolism was first used by Wolman (1965) to quantify the flows of energy and materials in and out of a hypothetical city and was developed by Douglas (1983), which describes the equations to measure energy, water and balances that constitute the urban metabolism. However, most studies are focused on research rather than practice-oriented and tend to focus on one or more aspects of urban metabolism. The proper integration of available models has not yet managed to give an integral vision of urban sustainability in support of assessment practices of planning and impact (Zhang, 2013).

Fecha de recepción: 10 noviembre 2014 Fecha de aprobación: 16 febrero 2015

* Dr. Fernando Córdova Canela, profesor investigador del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara. Correo electrónico: fernando.cordova@cuaad.udg.mx

** Mtra. Alejandra Villagrana Gutiérrez. Estudiante del Programa de Doctorado en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad de la Universidad de Guadalajara. Correo electrónico: arqalevg@hotmail.com

The urban metabolism is built from systems such as water, energy and materials, and generally these systems have a linear sequence of processing, so that the operation of the city depends entirely on imported resources high quality. So in terms of the linear resource management is highly inefficient metabolism and promotes a high dependence on external resources to the city (Leduc & Van Kann, 2012).

The analysis of urban metabolism can be an important tool for the study of urban ecosystem. Cities like artificial systems can be redesigned from a better perspective

as ecosystems natural, but what approaches should be considered for simulating a natural ecosystem? For this it is appropriate to analyze the performance standards of the urban system based on ecological principles and methods. When a city is compared as a living organism studying its urban metabolism, all flows of energy and materials must be considered.

Keywords:

Systems, City-Ecosystem, Urban Metabolism, Resilience, Urban Harvest.

La teoría de sistemas para el estudio de problemas hídrico ambientales

El problema del manejo y gestión del agua en la ciudad podría estudiarse bajo el concepto de complejidad. De uno u otro modo estamos forzados a vernos a vérnoslas en complejidades, con “totalidades” o “sistemas” en todos los campos del conocimiento. Esto implica una fundamental reorientación del pensamiento científico. Dentro de la Teoría de las Organizaciones Formales se acepta la premisa de que el único modo significativo de estudiar la organización es estudiarla como sistema, entiendo al sistema como “organización de sistemas de variables mutuamente dependientes” (Bertalanffy, 1968).

En las ciencias modernas y en las nuevas conceptualizaciones de la vida hacen falta nuevas ideas y categorías las cuales, dentro de una u otra manera, giran en torno a la teoría de sistemas. Es necesario estudiar no solo partes y procesos aislados, sino también resolver los problemas decisivos hallados en la organización y el orden que los unifican, resultante de la interacción dinámica de partes y que hacen el diferente comportamiento de éstas cuando se estudian aisladas o dentro del todo (Bertalanffy, 1968). El entorno está formado por otros sistemas que se relacionan con él, por lo que podríamos denominar que un sistema forma a otro sistema (Quintanilla, 2005).

El pensamiento complejo propone que se avance en integrar y articular todos aquellos elementos que se mantienen artificialmente separados. Básicamente, la complejidad es otra forma de organizar el conocimiento, que no desecha el conocimiento simple, sino que aspira a un marco epistemológico mayor (López, 2013).

El pensamiento complejo según López (2013) considera dentro de sus principios el principio hologramático, desde el cual se entiende que el todo y las partes están ligados entre sí, de tal manera que la parte contiene una gran parte del todo. Así, modificando la parte, se modifica de alguna manera el todo. La idea hologramática trasciende al reduccionismo, el cual no ve más que las partes, y al holismo que no ve más que el todo. El principio hologramático no es determinista respecto a que el todo y las partes son lo mismo, sino que propone que la parte contienen un gran número de elementos esenciales del todo, pero, no todos ellos.

Este sistema promueve el compartir las alternativas micro, porque pueden solucionar las situaciones macro. Este tipo de pensamiento propone también una serie de principios desde los cuales se puede complejizar aquello que la simplicidad mantiene desunido.

Los estudios sobre la problemática ambiental han puesto de manifiesto de manera reiterada la insuficiencia de las metodologías tradicionales (o

más exactamente de lo que tradicionalmente se entiende por metodología) para realizarlos. De allí a elaborar propuestas concretas que constituyan verdaderas alternativas para realizar dichos estudios y que reúnan, además, la indispensable condición de ser operativas, es decir, de traducirse en procedimientos más o menos precisos que orienten las investigaciones, hay un largo camino erizado de dificultades.

Ante esto podríamos deducir que la ciudad actualmente se comporta como un sistema simple, fragmentando y separado en sus componentes. Por lo que es necesario entablar modelos y estrategias que la complejicen para unir aquellas partes que se encuentran separadas y aisladas y no permiten un funcionamiento integral y sustentable.

La ciudad como sistema vivo desde un enfoque metabólico como estrategia sustentable

Los sistemas vivos transforman la materia en ellos mismos. De tal manera que su propio producto es su propia organización (Maturana y Varela, 1998).

Todo organismo viviente es ante todo un sistema abierto, se mantiene en continua eliminación e incorporación de materia, constituyendo y demoliendo componentes. Los sistemas vivos manteniéndose en estado uniforme, logran evitar el aumento de entropía (evolución o transformación) y hasta pueden desarrollarse hacia estados de orden y organización crecientes (Bertalanffy, 1968).

Los sistemas vivos se consideran autónomos, en última instancia impredecibles, de comportamiento intencional similar al nuestro. Entre estos sistemas vivientes, figuran como determinantes la reproducción y la evolución. El ser vivo es un ente sistémico con implicaciones biológicas y un espacio físico definido (Maturana y Varela, 1998).

Giampietro (2014) cita a Schrödinger y a Lotka con el término de metabolismo que fue ampliamente explicado e identificó las características básicas y

las funciones de los sistemas vivos. Siendo la gran habilidad de los sistemas biológicos el poder reunir entradas de energía para estos ingresos convertirlos en crecimiento, reproducción y mantenimiento. Lotka sugirió extender el concepto de metabolismo a las sociedades humanas.

La aplicación del concepto de metabolismo para el estudio de los nexos entre la tierra, agua, alimento, energía, afluencia económica y población representa un radical cambio para el enfoque reduccionista tradicional para contabilizar los recursos, el cual es basado en la adopción de una sencilla escala y dimensión del análisis al tiempo (Giampietro, 2014).

El metabolismo de sistemas complejos auto-organizados, incluyen sistemas socio-económicos y ecosistemas, que operan a través de varias escalas espaciales, organizacionales y temporales. Esto genera un concepto extremadamente adecuado para establecer la relación entre representaciones de la sociedad humana y el ecosistema para explorar los nexos entre la tierra, agua, comida, energía afluencia económica y población en relación al problema de sustentabilidad (Giampietro, 2014).





En general las ciudades tienen un metabolismo lineal, dependen generalmente de las áreas rurales y naturales externas a la ciudad y de otras ciudades para la obtención de agua, bienes y energía, exportando a su vez recursos que son considerados desechos debido a su uso ineficiente y limitado, generalmente en términos de nutrientes incorporados al agua y energía disipada como calor no utilizado (Leduc y Van Kann, 2012).

El metabolismo lineal genera dos problemas significativos tanto para la ciudad como para los ecosistemas con los que interactúa, el primero un alto grado de consumo de recursos que pone en riesgo la disponibilidad de los recursos por su agotamiento, el segundo, se promueve la producción masiva de desechos, los cuales a su vez generan problemas de contaminación ambiental (Leduc y Van Kann, 2012).

El metabolismo urbano se construye a partir de componentes tales como el agua la energía y los materiales, y en general dichos componentes tienen una secuencia lineal de procesamiento, por

lo que el funcionamiento de la ciudad depende por completo de la importación de recursos de alta calidad. En el proceso de transformación del agua, la energía y de los materiales no se considera por lo tanto su obtención a nivel local, ya sea por la inclusión de procesos de retroalimentación o bien por su cosecha local, porque en términos de manejo de recursos el metabolismo lineal es altamente ineficiente y fomenta una alta dependencia de los recursos externos a la ciudad (Leduc y Van Kann, 2012).

Considerando el concepto de ciudad como ecosistema encontramos dentro de los Principios de Melbourne de Ciudades Sustentables¹ uno de los

..
1 Principios propuestos en el Taller Internacional organizado en abril de 2002 en Melbourne, evento que fue convocado y organizado por el Centro Internacional de Tecnología Ambiental del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente en conjunto con la Autoridad de Protección Ambiental de la Provincia de Victoria, Australia, en dicha reunión se dieron cita más de 40 expertos y tuvo como antecedente el Taller de Ciudades como Ecosistemas Sustentables realizado en Toronto en marzo del mismo año.

temas más significativos y prometedores que es el modelado de la ciudad como ecosistema, en ese sentido una alternativa teórica parte de los Sistemas de Modelado Sustentable propuesto por Bossel, el cual define a cualquier sistema auto-organizado como sustentable, añadiendo algunas características humanas derivadas de la antropología de culturas tradicionales y asentamientos humanos.

Para Bossel, citado por Newmann y Jennings (2008), los ecosistemas sustentables mantienen su estructura y función bajo condiciones de variabilidad normal y muestran una capacidad homeostática. Otro aspecto es que se consideran que todos los ecosistemas están anidados dentro de ecosistemas más amplios, hasta llegar a la escala de biosfera, por lo tanto la sustentabilidad de un ecosistema es una función no solo de su capacidad interna, sino de la capacidad de ecosistemas más amplios de sostenerlo. Un ejemplo de esto lo representa un ecosistema acuático, el cual dependerá de la cuenca para su sobrevivencia.

La modelación de la ciudad como ecosistema, conceptualizada como un sistema de modelado sustentable (Bossel), tendría atributos tales como:

1. Capacidad de autorregulación, en donde los bucles de retroalimentación permiten al ecosistema regularse a sí mismos, manteniendo su funcionamiento normal, facilitando su reorganización después de un disturbio, facilitando su proceso evolutivo, y promoviendo el apareamiento funcional y la conectividad.
2. Resiliencia y autorrenovación, manteniendo su estructura y funciones bajo condiciones de variabilidad normal y al enfrentar disturbios internos o externos que interrumpa su funcionamiento, la estructura del ecosistema puede cambiar restaurando su funcionalidad mediante estrategias de diversidad, panarquía, memoria ecológica y bucles de retroalimentación positivos.
3. Flexibilidad, mediante una estructura de red cuya conectividad promueve su funciona-

miento descentralizado, facilitando el flujo de información necesaria para la operación de una retroalimentación positiva y respuestas flexibles.

4. Ética, basada en conexiones emocionales sólidas, promoviendo una conexión espacio-material profunda y sin interacciones que medien con un lugar, así como de expresiones culturales a que permitan la vinculación con dichas conexiones.
5. Plenitud psicológica, que incluya arreglos de cooperación social y actividades variadas para la creatividad y la estimulación, con un sentido de significado y pertenencia a través de la tradición.
6. Coexistencia cooperativa, mediante la promoción de comunidades autorreguladas por el lugar, y que faciliten el aprendizaje adaptativo y la retroalimentación ambiental.

En ese sentido, el modelado de la ciudad como ecosistema tiene como principal característica la diversidad, su capacidad de adaptación, la resiliencia, flexibilidad, la capacidad de generar procesos simbióticos con ecosistemas mayores, y aspectos sociales basados en un compromiso ético que promueve la coexistencia cooperativa y la plenitud psicológica. De estos atributos, quizá uno de los enfoques más prometedores podría partir del modelado de la ciudad como ecosistema a partir un manejo que promueva la resiliencia de su planeación, desarrollo y diseño urbano, y que anide a los demás atributos.

A partir del modelo de Bossel (Newmann y Jennings, 2008) pueden plantearse nueve estrategias que promoverían el modelado de la ciudad como ecosistema sustentable:

1. Prácticas de conectividad entre personas que viven en lugares comunes, que promuevan y sostengan una ética de solidaridad, especialmente actividades y programas culturales que faciliten las interacciones entre grupos sociales, mediante el diseño de los espacios públicos y la

- apreciación del paisaje presente en el territorio, privilegiando la peatonalización y la movilidad no motorizada, de tal forma que se fortalezca el sentido de lugar.
2. Revaloración de lo natural, reconociendo los flujos de recursos y ciclos de nutrientes en los ecosistemas mayores en los cuales esta anidada la ciudad, con el fin de reducir sus huellas ecológicas, energéticas e hídricas.
 3. Protección de la diversidad cultural, económica y ecológica, de tal forma que se revaloren los servicios ambientales prestados por los ecosistemas internos y externos interrelacionados con la ciudad, promoviendo por un lado la diversidad económica que posibilita diferentes alternativas de sostenimiento, y por otro la diversidad cultural que remite a sentido histórico y de lugar de sus habitantes.
 4. Economías de sustento a nivel local y biorregional, las ciudades en este momento se vinculan a nivel global tanto para obtener recursos y servicios como para brindarlos, sin embargo el reconocimiento y aprovechamiento de los flujos de recursos y servicios a nivel local y biorregional les permitiría orientarse a la autosuficiencia, y sobre todo hacia un enfoque metabólico de retroalimentación negativa, lo cual reduciría su dependencia e incertidumbre respecto a los recursos externos, lo cuales se verán cada vez más comprometidos tanto por la competencia global, como por fenómenos tales como el cambio climático.
 5. Arquitectura sustentable, promoviendo el diseño arquitectónico para la sustentabilidad, con un enfoque de aprovechamiento de recursos que elimine el concepto de desecho, aprovechando preferentemente fuentes de energía renovables, que reconozca el flujo de recursos y de los ciclos de nutrientes, que incorpore valores y productividades de largo plazo pero que reconozca los alcances temporales del diseño y su potencial de reciclaje, tratando los aspectos ambientales mas como temas conductores en lugar de limitaciones que deben ser superadas, que sea social y económicamente incluyente, y que fomente la transferencia de conocimiento mediante la comunicación y medición de su desempeño ambiental, social y económico.
 6. Infraestructuras urbanas diseñadas con un enfoque sustentable, basados en enfoques de retroalimentación negativa que minimicen la huella ecológica, hídrica y energética de las ciudades, en los cuales por una parte los desechos se aprovechen al máximo y por otra se minimicen los impactos ambientales generados por la impermeabilización y por el consumo energético de la ciudad, promoviendo su articulación y desempeño a servicios ambientales asociados a unidades territoriales, locales y de biorregión, tales como las cuencas, de tal modo que existan metas claras de desempeño y de entradas y salidas mediante balances confiables y comprobables de energía, agua y nutrientes asociados con estimaciones de la demanda y de los ahorros deseables en la ciudad.
 7. Instituciones policéntricas y gestión urbano ambiental orientada a la adaptación, que faciliten la toma de decisiones descentralizada y a diferentes niveles, de tal manera que se promueva la inclusión y la participación ciudadana mediante su empoderamiento efectivo, así como mecanismos e instrumentos de gestión urbano ambiental que reconozcan a la incertidumbre como componente significativo en su planeación y operación cotidiana, favoreciendo procesos de retroalimentación positiva que faciliten el aprendizaje y el cambio social e institucional.
 8. Renovación urbana y de comunidades, de tal forma que se posibilite la interacción social en el equipamiento urbano y la diversidad en la vivienda, la mejora de la conectividad y accesibilidad, la renovación y regeneración de los espacios públicos y el reconocimiento de los recursos del territorio a través de la recuperación del paisaje natural y la imagen urbana.

9. Fomento de procesos de cooperación entre grupos y actores socioeconómicos, de tal manera que se favorezca la interacción de diferentes grupos y actores sociales y económicos en diferentes niveles espaciales y políticos, tomando los mecanismos de cooperación como instrumento heurístico para negociar y enfrentar los conflictos potenciales o presentes, desde un enfoque de retroalimentación positiva.

Conclusiones

Las estrategias expuestas hacen necesarios diferentes instrumentos que permitan modelar efectivamente a la ciudad como ecosistema, pero además que brinden alternativas para enfoques novedosos de planeación urbana. En ese sentido, se proponen dos alternativas que pueden vincularse tanto a nivel de planeación urbana como de modelado local de los flujos de recursos asociado con la gestión de su demanda, en este caso podrían explorarse la planeación de ciudades resilientes y la cosecha urbana respectivamente.

La planeación de ciudades resilientes propuesta por Ahern (2010), cuyo método puede ser descrito a través de siete temas, y que podrían replantear la forma en que las aplicaciones tecnológicas interactuarían a favor de un proyecto alternativo de ciudad. Los temas se referirían en los siguientes términos:

1. Orientación de metas de desempeño urbano-ambiental hacia servicios ambientales, respecto a los servicios de aprovisionamiento, regulación y culturales (actividades de ocio y recreación) que brindan los ecosistemas y a través de los cuales los seres humanos satisfacen sus necesidades, dichos servicios permiten vincular la forma urbana con los procesos urbano-ambientales, de tal modo que se asocian los requerimientos espaciales y consecuencias.
2. Desarrollo de estrategias espacio-materiales de resiliencia urbano ambiental, en términos de la valoración de las condiciones sociales,

ambientales y económicas particulares de cada contexto urbano, reconociendo sus vínculos entre diferentes escalas y estructuras urbano-ambientales, las cuales dependen y son sensibles al estado actual en que se encuentran.

3. Multifuncionalidad práctica, que asocian la integración vertical de varias funciones en una localización, o varias funciones asignadas a un sistema o dispositivo, lo cual genera aplicaciones con atributos que podría describirse como “hibridaciones” y que son multifuncionales.
4. Redundancia y modulación, la redundancia aplicada en términos de sistemas y componentes múltiples que provén funciones similares o que son de respaldo; la modulación entendida como la utilización de unidades estandarizadas que permiten configuraciones flexibles y variadas, así como de subsistemas de diseño discreto y descentralizado, lo cual implica indirectamente el desarrollo de “metasistemas” o sistemas modulares distribuidos.
5. Diversidad, en términos de la diversidad funcional que colectivamente definen y opera un ecosistema o un sistema socio-económico, así como de la diversidad de respuesta, referida a la diversidad de especies en un grupo funcional que colectivamente tienen diferentes respuestas a las perturbaciones y estrés, lo que implica que a mayor diversidad mayores funciones y mayor capacidad de respuesta ante las perturbaciones.
6. Redes multiescalares y conectividad, las redes son sistemas que funcionan mediante la conectividad de sus nodos, y la conectividad es el grado en que se facilita o dificulta el flujo de energía, materiales, nutrientes, especies y personas a través del territorio, por lo que se puede afirmar que la conectividad es el medio a través del cual los nodos funcionales operan simultáneamente en escalas múltiples, e inversamente, la falta de conectividad es la causa de la falla de un nodo funcional.

7. Capacidad de adaptación, referida a que la planeación tenga un enfoque de adaptación, esto es, que las políticas y planes puedan ser desarrollados en un entorno de incertidumbre y de conocimiento incompleto, en términos prácticos implicaría que la planeación urbana y los proyectos arquitectónicos estén basados en el mejor conocimiento disponible, que sean estructurados como experimentos que puedan ser monitoreados para aprender como las acciones generan un efecto específico que sea vinculable a servicios ambientales en términos bióticos, abióticos y culturales.

El concepto de cosecha urbana (urban harvest) propuesto por Leduc y Van Kann, (2012); propone la ampliación de fuentes de recursos mediante la optimización de su demanda aunada al aprovechamiento de recursos locales, de tal modo que puedan generarse vínculos múltiples entre diferentes funciones, resultando en redes flexibles que disminuyen el riesgo de fallas en el abastecimiento de alguno de los recursos. Por lo que al producir sus propios recursos, las áreas urbanas disminuyen su dependencia de los recursos externos, volviéndose menos vulnerable a los cambios externos, facilitando su adaptación a entornos cambiantes e inestables.

Referencias

- Bertalanffy, L. v. (1968). *Teoría General de los Sistemas. Fundamentos, desarrollos, aplicaciones*. Nueva York.
- Córdova, F. (2012). *Agua, energía y vivienda: retos y alternativas proyectuales en México*. Guadalajara, Jalisco, México.
- García, R. (s.f.) *Interdisciplinariedad y sistemas complejos*.
- Giampietro, M. (2014). The scientific basis of the narrative of societal and ecosystem metabolism. En M. Giampietro, R. Aspinall, J. Ramos, & B. Sandra, *Resource accounting for sustainability*. (págs. 22-23). Nueva York: Routledge.
- Leduc, W.R.W.A., Van Kann, F.M.G. (2012). Spatial planning based on urban energy harvesting toward productive urban regions. *Journal of Cleaner Production* (pp. 1-11). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.014>
- López, M. (2013.). *Gestión compleja del agua*. Guadalajara, Jalisco, México.
- Maturana R., H., & Varela, G. F. (1998). *De Máquinas y Seres Vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo*. Santiago de Chile.: Editorial Univeristaria.
- Newman, P. Jennings, I. (2008). *Cities as sustainable ecosystems, principles and practices*. Island Press: Washington D.C.
- Pauleit, S., & Friedrich., D. (2000). *Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning*. Munich, Alemania: Technische Universität München.
- Quintanilla, M. Á. (2005.). *Tecnología: un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Zhang, Y. (2013). *Urban metabolism: A review of research methodologies*. Beijing, China: State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University.