

Tendencias de investigación y aplicación de Metodologías del Metabolismo Urbano, para el sector de la construcción de vivienda

María A. López-Tovar¹, Alberto J. Gordillo-Martínez^{1*}, René B.E. Cabrera-Cruz², Elena M. Otazo¹, Francisco Prieto¹, Cesar A. González¹ y Julio C. Rolón²

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería¹, Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller²
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México¹, Universidad Autónoma de Tamaulipas²
Pachuca, Hidalgo¹, Tampico, Tamaulipas²; México
gordillo@uaeh.edu.mx*

Abstract— The Urban Metabolism (UM), arises with the need to study the inputs and outputs of the flows of energy and matter from an environmental compartment. The objective was to identify the trends of the (UM), in its application inside the construction process used in housing at a national and international level. The trends of the methodologies applied to the (UM), reported in indexed articles of specialized journals, were analyzed to assess the feasibility of its application in a country with the characteristics of Mexico, or that has similar construction processes. In Mexico, there are no public policy management instruments for the administration of construction waste (CW) due to poor management practices, planning, and execution of construction work.

Keyword— *Urban Metabolism, Matter and energy, flows, Constructive Process.*

Resumen— El metabolismo urbano (MU), surge con la necesidad de estudiar las entradas y las salidas de los flujos de energía y materia de un compartimiento ambiental. El objetivo fue identificar las tendencias del (MU), en su aplicación dentro del proceso constructivo de las viviendas a nivel nacional e internacional. Se analizaron de las tendencias de las metodologías aplicadas al (MU), reportadas en artículos indizados de revistas especializadas, para valorar la factibilidad de su aplicación en un país con las características de México, o que tenga procesos constructivos semejantes. En México no existen instrumentos de gestión de la Política Pública, para la administración de los residuos de construcción (RC) por las malas prácticas de manejo, planificación y ejecución de obra.

Palabras claves— *Metabolismo Urbano, Materia y energía, flujos, Proceso Constructivo.*

I. INTRODUCCIÓN

El metabolismo urbano surge como una herramienta de impacto ambiental, para tratar de medir el impacto de la actividad antropogénica dentro de las ciudades, sobre su entorno con el ambiente. Adopta un enfoque afín al análisis de un organismo vivo y visualizar a la ciudad como si ésta lo fuera. Un organismo necesita entradas de insumos, de materia y de energía para poder vivir, desarrollarse, reproducirse y finalmente morir. Por lo tanto, esta analogía nos lleva a otra herramienta de impacto ambiental, que lleva por nombre metabolismo urbano (MU). El metabolismo urbano tiene distintas categorías de insumos que necesitan estar cubiertas, por ser un sistema complejo, como lo es una ciudad Wolman et al. [4]. Existen una serie de requerimientos para que la urbe funcione, por ejemplo, recursos abióticos (aire, agua, suelo) y recursos bióticos (como flora, fauna, entre otros). La demanda social conlleva a construir sistemas artificiales (construcción de vivienda) modificando los entornos naturales, generando una pérdida de los ecosistemas, por lo tanto, existe una tendencia para cubrir la demanda de las necesidades antropogénicas. A lo largo del tiempo se han realizado diversas investigaciones del Metabolismo Urbano (MU) [1-6]. El MU: es un sistema que requiere energía, materia, agua, bienes y servicios, para cubrir la demanda y el desarrollo de sus actividades antropogénicas. Es un modelo lineal,

a la salida del sistema se produce residuos y emisiones, generando un problema de contaminación ambiental, pérdida de los recursos naturales, y del bienestar social, entre otros.

El concepto de la ecología de las ciudades lo ha estudiado Zhang et al. [7], el cual hace un análisis en la revisión de la historia, metodología y la aplicación de la ecología industrial y el metabolismo urbano. Los centros urbanos se estudian y analizan como seres vivientes que crecen, se desarrollan y, en algún momento mueren. Dicha analogía se encuentra basada en el trabajo pionero del concepto de “Metabolismo de la Ciudad”, citado por Wolman et al. [4] y refinado posteriormente por Newman et al. [5]. El MU genera un análisis comparativo entre un sistema biótico, con un sistema abiótico. Está representado por flujos energéticos con entradas y salidas del sistema [8]. La concepción de los flujos de materia y energía, como vías entre un sistema natural y el ambiente económico, se encuentran presentes en las megalópolis, las cuales se han configurado en un “modelo combinado entre los sistemas ecológicos y económicos” [9]. Así mismo se manifiesta que implica el conjunto de procesos en donde la parte antropológica, se encuentra organizada en una sociedad, independientemente de su espacio, formación social y en el tiempo. Este sistema se apropia, circula, consume y excreta materia y/o energía proveniente del mundo natural. El área de estudio está compuesta por la intersección entre la parte biótica, la abiótica y la antropogénica.

La utilidad del estudio consiste en determinar las metodologías aplicables para la cuantificación de los flujos de materiales en un sistema cerrado. Lo cual permite llegar hasta la autorregulación del sistema, siendo capaz de desarrollar mecanismos de eliminación de los residuos de la construcción (RC). Es necesario generar políticas públicas que permitan generar estrategias para desarrollar instrumentos que disminuyan la acumulación de (RC) en espacio físico, en términos de volumen. Posteriormente se genera una transformación de la materia, lo anterior se puede enmarcar globalmente en la afirmación establecida por Brunner et al. [3] en su análisis prospectivo de los modelos de flujo de la energía “es una herramienta para la protección y conservación de los recursos en la antropósfera y en el ambiente”. Genera un marco normativo para la gestión de (RC) los cuales cumplen con los permisos otorgados, se deberán de incluir en detalles de las prácticas in situ del manejo de los (RC), para dar cumplimiento adicional y servir de base para la aplicación de las políticas públicas (PP). Debido a que los ecosistemas naturales son eficaces en el reciclaje eficiente de materiales y energía, da como resultado, que el ecosistema natural, el cual se ha convertido en un modelo para generar mecanismos administrativos regulatorios en la gestión de políticas y directrices administrativas para los residuos de la construcción. En este sentido el (MU), permite determinar los flujos de materia y energía en un sistema económico y social. En donde “cierra las brechas entre las ciencias sociales y las ciencias naturales” [11]. En escala nacional (México) existen pocos trabajos de la implementación de (MU). El (MU), es un término que proporciona un marco conceptual para estudiar la funcionalidad la ciudad, y por lo tanto, una manera de abordar la cuestión de la sostenibilidad de una ciudad, (MU) se interpreta de manera diferente a través de diversas disciplinas mediante la aplicación de herramientas para la cuantificación de los impactos ambientales, se hace necesario generar escenarios de cuantificación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) por la generación de residuos sólidos urbanos [21], así como la modelación de posibles escenarios para la cuantificación de las emisiones que inciden directamente sobre el cambio climático [22], por lo tanto existe la necesidad de generar instrumentos de política pública [36] para su aplicación a través de las ciencias naturales y las ciencias sociales [12]. El (MU) es un método analítico para la comprensión del impacto en el desarrollo urbano [32].

La definición de (MU), es establecida por Kennedy et al. [6] como “la suma total de los procesos técnicos y socioeconómicos que ocurren en las ciudades, resultando en crecimiento, producción de energía y eliminación de desechos” ha dimensionado las primeras propuestas de Wolman et al. [4] “todos los materiales y materias primas necesarios para mantener los habitantes de una ciudad, en una casa, en el trabajo”. La importancia del metabolismo urbano de acuerdo a Frosch y Gallopoulos et al. [13] es un sistema, “el consumo de energía y materia, el cual se optimiza y generan residuos las ciudades, los cuales

se acumulan, cerrando así el flujo de intercambio de energía” en el (MU). Con base en los mecanismos de las características, físicas y biológicas la regulación de la construcción de vivienda y del análisis de ciclo de vida (ACV), los cuales generan indicadores y categorías de impacto en la esquematización de los sistemas abiertos. Dicha esquematización asume que existen en el ecosistema natural: energía autosuficiente, cuenta con entradas, salidas, conservación de la energía, reciclaje a través del propio sistema en un sistema cerrado. Existe una segunda categoría: el ecosistema urbano, es un sistema lineal o abierto, a través del cual, los flujos de materia y energía, no se reciclan, no se lleva a cabo un reciclaje en la recuperación de la materia y la energía [15].

El objetivo de realizar el presente estudio, es identificar las tendencias actuales de la investigación del (MU) aplicadas en el sector de la construcción de vivienda a nivel nacional e internacional, por medio del análisis de estudios de caso reportados en artículos indizados de revistas especializadas para valorar la factibilidad de su aplicación en un país con las características de México. El (MU) proporciona medidas de eficiencia del recurso, la magnitud de la explotación de los recursos y la acumulación de contaminantes e impactos generados por los equipamientos e infraestructura urbana. Grim et al. [14] establece ciclos metabólicos urbanos abiertos e insostenibles, debido, a las altas tasas de consumo de materiales por los tipos de los residuos de la construcción, aún no se han encontrado tasas de asimilación de recuperación de los residuos de construcción (RC).

En este trabajo, se describe el marco para el MU integrado como una herramienta de gestión sobre la regulación, a través del marco legislativo y/o administrativo, con base a un análisis, que permita a los responsables evaluar los impactos generados por las actividades antropogénicas (explosión demográfica, generación de vivienda, cambios de uso de suelo, consumo de electricidad, agua y recursos naturales) y que les permita cerrar ciclos de los sistemas metabólicos urbanos. Con esta perspectiva, en un horizonte de tiempo, se fundamentarán las estrategias de política pública que desarrolle herramientas para la toma de decisiones en cuanto a planificación urbana y crecimiento estandarizado.

II. METODOLOGÍA

Esta se llevó a cabo, por una revisión de artículos indizados de revistas especializadas de acceso libre y acceso restringido, la información obtenida se sistematizó por medio de motores de búsqueda, se alimentó la base de datos en un manejador de datos empleando el software End Note 7.

Búsqueda de la información: Se realizó una exploración avanzada siguiendo las especificaciones de Hernández *et al.* [16]. Para ello, se inició directamente con el acopio de las referencias en fuentes primarias-vía internet, utilizando bancos de información en revistas científicas con palabras claves o descriptores. Tales palabras dieron resultado a través de las bases de datos de Journals Elsevier, Scopus, springer, Google Académico, entre otros. Revisión de la literatura obtenida: Se amplió la revisión analítica de las referencias obtenidas para discernir los métodos existentes, que proporcionan la respuesta al objetivo [16]. La revisión se centró en estudios que incluyeran todas metodologías existentes sobre el tema del metabolismo urbano tanto en México como internacionalmente. El Análisis comparativo tiene como fin el establecer bases de información a partir de la experiencia de los mecanismos de búsqueda y valor, con base en artículos científicos, que presentan las tendencias en la práctica de metodologías del metabolismo urbano, se hizo el análisis comparativo considerando las principales funciones que han de cumplir los métodos de (MU).

Con esta revisión, se organiza y completa las líneas de investigación reportadas en la literatura sobre (MU) aplicados al sector de la construcción de viviendas a nivel nacional e internacional, la cual contempla diferentes clasificaciones encontradas en la literatura de las diferentes áreas de estudio: Ver Figura 1. Diagrama Metodológico para el análisis de (MU).

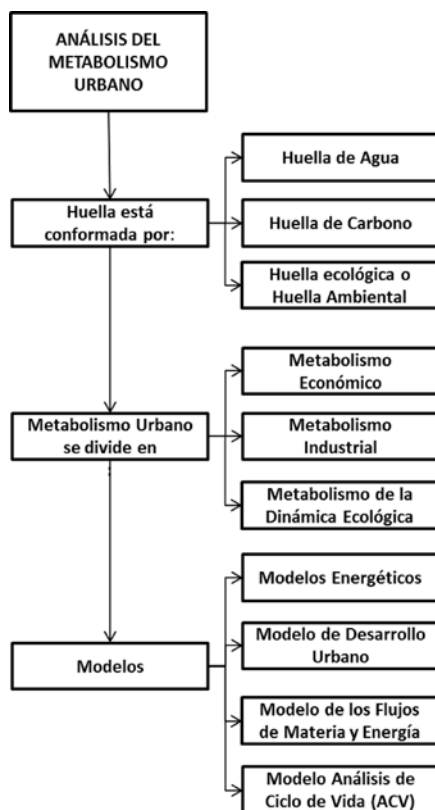


Fig. 1. Diagrama Metodológico Metabolismo Urbano.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los modelos más importantes para el análisis de flujo de materia y energía, necesarios para alimentar y sostener las actividades antropogénicas de una ciudad, los cuales se encuentran basados en un sistema lineal. Estos no pueden ser evaluados a partir de una comparación de un ciclo abierto y de un ciclo cerrado, ya que las urbes no reincorporan todos los desechos de sus procesos, pero aún no se considera el reciclaje dentro del sistema. Por lo tanto, se debe evaluar la autorregulación (alta o baja) para verificar los cambios (aumento o disminución) de transformación del sistema. Se identifica alguna deficiencia importante del análisis del flujo de energía y materia, en una comparación con alternativas pueden ser utilizados para la evaluación y sostenibilidad ecológica de una urbe. Ver (Tabla 1).

En la Tabla 1. Se hace la revisión de los modelos empleados en la aplicación de metabolismo urbano, según metodologías aplicables para el (MU) en las áreas de investigaciones reportadas en la literatura. Contrasta la información sobre datos del caso de estudio, autor de referencia, país de aplicación del estudio, sistema de análisis.

Tabla 1. Revisión de literatura de modelos empleados en la aplicación de un Metabolismo Urbano

Análisis del mu	Sistema	Aplicación	Fuente
Huella de impacto	Huella de Agua	Ciudades de Europa	Behzadian
		China	Tambo
	Huella de Carbono	Liverpool Londres	Girardet
	Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	Ying Chun China	Zhou
		México	Hernández
	Residuos Sólidos Urbanos Electrónicos	México	Cárdenas
	Modelación Espacial (ME)	Beijín China	Zacharias
Huella Ecológica o Huella Ambiental	Liverpool Londres	Kennedy	
Metabolismo urbano	Metabolismo Económico	Estados Unidos	Aryes y Kneese
	Metabolismo Industrial	Alemania	Liwerska
	Metabolismo Dinámica Ecológica (MDE)	Estocolmo	Barrett
	Modelo Dinámico del Metabolismo (DMM)	Oslo, Noruega	Verkantesh
	Metabolismo Urbano (UMAT)	Estados Unidos	Wilson
	Método Metabolismo Energético (MME)	Beijing	Chen
Modelos	Método del Metabolismo Energético Ecológico	Alemania	Jorgensen
	Modelo de Desarrollo Urbano	China	Duan
	Modelo Teórico (MU)	China	Habert
	Modelo de Flujo de Materia y Energía	Taipei	Huang
		Paris	Barles
		Budapest	Pomazi
		México	Espejel
	Evaluación de análisis de ciclo de vida (ACV)	Estambul, Turquía	Heijungs
	Metodologías (ACV)	-----	Ortiz
		Lisboa	Niza
		-----	Ratti
-----		González	
-----		Singh	
-----		Buyle	

La metodología aplicada al componente agua, se llevó a cabo mediante la aplicación de la metodología WaterMet² (UWS, por sus siglas en ingles), cuantifica la cantidad del agua de sistema que fluye a través de flujos de energía y agua, la cual, se puede aplicar en derivar su rendimiento basado en unidades métricas de sostenibilidad. La aplicación de esta metodología fue empleada en ciertas ciudades de Europa y fue desarrollada por el autor Behzadian *et al.* [17].

Tambo *et al.* [18], establece que existen diversos problemas ambientales generados durante la etapa de urbanización por la generación de vivienda, esta problemática (contaminación y escasez de agua) requiere la evaluación sistemática de la eficiencia del agua en las zonas urbanas. Las investigaciones anteriores se han centrado en el metabolismo del agua disponible o agua virtual, por los problemas sistemáticos que surgen durante la urbanización se requiere una evaluación integrada, utilizando un sistema de indicadores basado en los resultados del análisis de flujo de materiales (MFA). Establece las necesidades futuras en el estudio del agua para sostener a una ciudad, durante el desarrollo de esta en la

industria de la construcción de vivienda, la cual está basada en cuatro recomendaciones, 1) Analizar los patrones y flujos de agua disponibles a través de los distritos urbanos en las diferentes etapas de urbanización, en comparación con la estimación de las cantidades de lluvia y sus efectos ambientales, 2) establecer los beneficios a la sociedad, beneficio económico y beneficio ambiental, buscando indicadores para la evaluación del agua en las zonas urbanas con respecto a los flujos de materia y energía, 3) realizar una evaluación de las fuentes de agua disponibles por distrito de consumo con respecto a la urbanización, se requieren estudios de campo para determinar la interacción entre los ciclos naturales y el ciclo de consumo social del agua y 4) realizar un análisis de los mecanismos que afectan los distritos de agua con respecto a la generación de la obra civil en la urbanización.

El Modelo de Desarrollo Urbano en comparación con el modelo para el desarrollo sub-urbano se estructura con la finalidad de generar un modelo que, para establecer una reducción en cuanto al consumo de energía, Girardet *et al.* [19]; se determinó que se podía aliviar la carga de la infraestructura vial, en conjunto con la estructura del tejido urbano, dicho estudio fue realizado en los suburbios de Beijing, China.

La metodología que se aplica para las mediciones de flujos de carbono horizontal y vertical a través de la generación de emisiones de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), está dentro del sistema de un metabolismo urbano. Establece la metodología para realizar mediciones de flujos, sirve para la modelación del ciclo del carbono en la gestión municipal de los residuos sólidos, mediante las entradas y salidas por medio de una categorización RSU. La cuantificación de las emisiones por la quema de combustibles fósiles también se efectúa dentro de dichas mediciones. Los estudios se efectuaron en la localidad Ying Chun, China, por el autor Zhou *et al.* [20]. Se sugiere que la ciudad no es capaz de producir todo lo que se consume, así como tampoco tiene la superficie adecuada para la disposición de sus residuos. Propone una vigilancia del análisis de la distribución de la materia y energía dentro de la ciudad, más allá de sus límites administrativos para darle un manejo integral a la generación de sus residuos sólidos urbanos.

Hernández *et al.* [21], concluye que la estimación de las emisiones atmosféricas provenientes de vertederos de residuos sólidos urbanos se basa principalmente en modelos cinéticos, para los cuales, se han desarrollado varias herramientas computacionales para realizar sus cálculos. Este modelo de la estimación de las emisiones gaseosas provenientes de vertederos en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y las diferencias entre modelos Cuautitlán, Tepotzotlán, Milagro y Cañada, donde existen otros modelos, los cuales han sido utilizados principalmente en los años posteriores al cierre de los vertederos. Cárdenas *et al.* [22], estableció desarrollar un método para caracterizar socio-económicamente el comportamiento de consumo y deshecho, en lo referente a equipos electrónicos (se refiere de los usuarios de teléfonos celulares y computadoras portátiles), mediante la modelización de una variable dependiente econométrica limitada (MLP, Logit y Probit). Los resultados obtenidos sugieren que se pueden proponer políticas de gestión sustentable enfocadas a un perfil de usuario ligado a la edad y al nivel de marginación de la población estudiada.

Para el autor Zacharias *et al.* [23], la modelación espacial del metabolismo urbano determina la generación de modelos, en las transferencias de carbono de las regiones urbanas. El caso de estudio empleó un análisis ecológico de la red de identificación de la heterogeneidad (unificación de los criterios), en la estructura metabólica del carbono con relación a sus funciones y vínculos. Constituyó una base teórica para el ajuste de la planeación estructural de la población, en la generación del ciclo del carbono dentro del ecosistema urbano, dicho estudio se efectuó en Beijing, China, dando un aporte significativo a la planeación estratégica poblacional en esa ciudad.

Ayres y Kneese *et al.* [24], ampliaron esta investigación realizando la primera investigación en los Estados Unidos de 1963-1965, analizaron los flujos de material de los sistemas económicos, establecieron que las actividades económicas deberían de estar basadas en recursos ambientales ya que

no tienen precio de mercado y que son cada vez más escasos. Desarrollaron un modelo matemático para trazar el flujo de residuos en la economía donde asignaron los recursos, integraron al reciclaje, incluyeron así mismo la relación entre descarga de residuos y el costo externo de esta descarga.

El componente principal para el modelo de un eco-parque industrial, se emplea para realizar un análisis de los flujos de la materia y energía, indica la diversidad de empresas presentes en un área determinada para la creación de eco-parque industrial. Es un modelo compuesto por cuatro etapas: Primero compara una estructura con un ecosistema, en la etapa dos se realiza una clasificación de las empresas como productores, consumidores y descomponedores para determinar el orden-estructura dentro del eco-parque, la etapa tres requiere de una entrada de los flujos energía y masa, que serán necesarios para la utilización dentro del eco parque industrial, y en la cuarta etapa se requiere conocer los tipos de interacciones que se van a desarrollar dentro del sistema. Dicha clasificación se presenta como parte del análisis de los flujos de la materia y energía, donde se indican las relaciones simbióticas entre las identidades de un parque y otros tipos de ecosistemas industriales, dicho estudio se efectuó en la localidad de Sajonia, Alemania, en 2009 por Liwarska *et al.* [25].

La metodología para la huella ecológica establece la vinculación del consumo de los recursos ejercidos por diversas actividades ambientales, interactuando con las actividades humanas. Se vincula a través de una matriz de consumo para el uso del suelo, dentro del cual se analiza el (MU) en términos de la capacidad de carga para cada área, donde se proveen uno o más recursos y la presión ejercida por las actividades de consumo, uso y aprovechamiento. El estudio se efectuó en Londres, en el año 2001 por Barrett *et al.* [26].

El modelo dinámico del metabolismo (DMM), aplica indicadores de sustentabilidad, el cual trabaja con datos anuales concentrados de los diferentes cuerpos de agua. Dicho estudio fue aplicado en Oslo, Noruega, por el autor Verkantesh *et al.* [27]; es una herramienta valiosa para medir los impactos ambientales, donde establecen el modelo DMM, siendo un sistema amigable, fácil de usar y está basado en un manejador de datos de una hoja de Excel. También realiza los cálculos de los recursos necesarios para el funcionamiento de los subsistemas de agua y de las aguas residuales. Además, puede ser utilizado para toda la ciudad, ríos, arroyos, cuencas y sub-cuencas.

La metodología IUMAT es una herramienta integradora, analítica en un marco de especificaciones para los espacios y edificios con los que se conectan generando indicadores en un área urbana, como lo establece Wilson *et al.* [28]. En otras palabras, la existencia de una construcción o cambio de uso de suelo, en el área de estudio. Esta perspectiva cierra la dicotomía rural-urbana en herramientas y enfoques de planificación urbana. Se Desarrolló un marco de simulación para el metabolismo urbano, dicho análisis no es trivial. El marco debe incluir diferentes escalas de interacción, que dinámicamente encuentre en el sistema urbano los parámetros que están afectados por el proceso de la urbanización.

En Australia, en el año 2001, Chen *et al.* [29] estableció un método metabólico energético, el cual permitió estudiar la modernización de los sistemas socioeconómicos mediante el análisis de indicadores para el flujo de los materiales para la modernización de los sistemas socio-económicos.

El método del metabolismo ecológico energético es un modelo de energía donde se utilizan flujos integrados para analizar el metabolismo de los sistemas socioeconómicos, esto presenta ventajas en la contabilidad de emergencia y energía, y ambos enfoques permiten en la investigación combinar flujos de materiales con diferentes unidades de medida. La metodología de la dinámica ecológica permite analizar las tendencias de operación y evolución de un sistema metabólico urbano en un orden cronológico. La metodología fue aplicada en un estudio de caso en Alemania, realizada por Jorgensern *et al.* [30] en 2012, donde se estableció una problemática cuantitativa porque no existe un método para la contabilidad unificada. Este método presenta deficiencias en los modelos de la dinámica ecológica.

Los productos se generan mediante la transformación de materias primas, en una última etapa del proceso se generan residuos, los cuales a su vez pueden ser procesados y recibir un tratamiento para su disposición final, o reciclaje. Este estudio de caso se aplicó en China 2005 por Duan *et al.* [31].

Habert *et al.* [32] propuso los conceptos de distintos metabolismos de productos y desechos basados en el reconocimiento de que los productos y residuos siguen diferentes vías de flujo dentro del sistema urbano: los productos son generados a partir de vías de recursos y los residuos son procesados por vías de tratamiento y reciclaje.

Huang *et al.* [33], realizó un análisis del metabolismo socioeconómico por la cuantificación de los flujos de material. El concepto de emergencia para integrar los flujos de energía y materiales para el estudio del metabolismo socioeconómico del área de Taipei. Utiliza imágenes satelitales SPOT de 1992 y 2002 para interpretar de manera más profunda todo el sistema urbano. Los indicadores muestran densidades del uso por área (áreas subdesarrolladas y agrícolas) mientras que la densidad en las áreas urbanas ha aumentado, lo que señala una convergencia de los flujos de recursos hacia las áreas urbanas. Este aumento de la densidad de poder se debe principalmente al uso de combustibles fósiles y se traduce en una mayor carga ambiental y una menor sostenibilidad. Siguiere un análisis de la relación entre la urbanización y el metabolismo socioeconómico, los cuales indican cambios en el uso de la tierra, los cuales afectan al metabolismo socioeconómico.

Barles *et al.* [34], estableció el modelo teórico del Metabolismo Urbano (MU) establece las teorías bases del control del MU y caracteriza sus relaciones con los materiales. Dichos procesos están asociados con el fin de proporcionar una base científica para la optimización y la regulación del metabolismo urbano del material. Se propuso el concepto de distintos metabolismos, los cuales están basados en el reconocimiento de los productos y residuos que se metabolizan a través de las diferentes vías dentro de un sistema urbano. Incluye los procesos metabólicos asociados, a fin de proporcionar una base científica para la optimización y la regulación del metabolismo de los materiales.

Pomazi *et al.* [35], destacó la importancia de considerar la ecología dentro de la sustentabilidad, así como incorporar elementos en la planeación urbana de una ciudad, incluyendo la infraestructura urbana. Busca la minimización a los problemas ecológicos y los peligros, que se originan por el consumo desmedido del agua dulce, los combustibles fósiles, así como su fuerte dependencia de recursos no renovables, entre otros. Se necesitan generar esfuerzos urgentes para rediseñar las ciudades, de una manera que tenga en cuenta la sustentabilidad, esta estrategia para el diseño debe ir a la vanguardia en el crecimiento y desarrollo social. La infraestructura urbana como base de la sustentabilidad, para construir vecindarios seguros, equilibrados y amigables con el ambiente.

Espejel *et al.* [36], el objetivo del documento plantea que primero se requiere revisar la gobernabilidad y después la gobernanza de esta. Establece que mientras no se dote a una institución de legalidad, legitimidad y de los recursos políticos, administrativos y económicos que agreguen los actores colectivos e individuales y les ofrezcan respuestas a través de políticas públicas adecuadas sobre territorios específicos, existirá una problemática entre los gobiernos a nivel nacional y local. Después se debe asegurar la capacidad requerida con arreglos formales para demostrar una legitimidad, eficacia, capacidad y coherencia.

Heijungs *et al.* [37], reporta otra metodología: El análisis del ciclo de vida (LCA), mide el desempeño ambiental, en otras palabras, el consumo de insumos naturales y emisiones a la naturaleza por procesos de producción. Después de realizar una caracterización de los aspectos ambientales y físicos de los procesos de construcción, los investigadores resaltan la necesidad de combinar el desempeño ambiental con los datos económicos necesarios para la gestión del diseño, ejecución y el desarrollo de las actividades constructivas. El ejecutor tiene el desafío de establecer un equilibrio, los principios de la construcción sustentable, la necesidad social, así como la selección una técnica

constructiva, son importantes para dimensionar los costos económicos y ambientales. El costo del ciclo de vida (CCV) es una herramienta que permite generar una evaluación del costo total de propiedad, “de la cuna a la tumba” y se ha utilizado con frecuencia en los procesos de toma de decisiones en la construcción.

Ortiz *et al.* [38]. Realiza una investigación sobre la evaluación del ciclo de vida (ACV) aplicada al sector de la construcción. En la actualidad la industria de la construcción, está buscando generar indicadores sociales, económicos y ambientales de sostenibilidad. Con la aplicación de LCA es posible optimizar desde la extracción de materias primas hasta la eliminación final de los materiales de construcción de desecho. En primer lugar, se centra en la metodología y las herramientas de LCA empleadas en el sitio construido. En segundo lugar, describe los materiales de construcción y las combinaciones de componentes frente al ACV del ciclo de vida completo de la vivienda, un periodo de 7 años (2000 hasta 2007) para sector de la construcción. Las actividades industriales buscan productos ecológicos debido a la aceptación internacional para mejorar los bienes, servicios y productos ambientales, previniendo los impactos adversos, mejorando la calidad de vida y conservando la calidad de un ambiente saludable.

Un modelo, debe equilibrar la precisión, analizando el rango de variables que caracterizan un área urbana. Los límites del sistema deben estar bien definidos y las estadísticas deben generar cruces en las variables necesarias para un seguimiento meticuloso, minimizando las posibilidades de correlaciones que se interpretan como patrones de causalidad. En los sistemas de auto organización, la dinámica conducirá automáticamente el sistema hacia un estado de equilibrio. En ciudades que son grandes sistemas desordenados, algunas propiedades pueden describirse de manera confiable promediando sobre una población suficientemente grande que puede representar un sistema completo, establece las restricciones y las peculiaridades para obtener datos estadísticos, se requieren métodos innovadores para cuantificar los materiales que entran y salen de los límites de la ciudad. Se caracterizaron cuatro variables y se vincularon a los flujos de materiales asociados con la ciudad: consumo absoluto de materiales / productos por categoría/ rendimiento de materiales en el sistema urbano por categoría de material/ intensidad de material de las actividades económicas y flujos de residuos por tecnología de tratamiento. Niza *et al.* [39].

Ratti *et al.* [40]. Plantea las inquietudes sobre la capacidad de cumplir los objetivos en cuanto a las herramientas existentes para el desarrollo de la implementación de los métodos del ACV encontrando dificultades en las diferencias de las técnicas LLC, ACV, CCV buscando la implementación de las herramientas en la evaluación del impacto ambiental. González *et al.* [41]. Describe una forma de integrar los límites disciplinarios entre el análisis urbano, planificación y política, va en función del conocimiento que se ha generado ante la necesidad de cuantificar cualquier tipo de construcción, de acuerdo a la ubicación, el proceso constructivo va a determinar el impacto generado dentro la una ciudad. El uso del metabolismo urbano en la planificación de los desarrollos urbanos tiene el potencial de avanzar en la armonización de las procesos constructivos para la evaluación de la sostenibilidad urbanas Kennedy *et al.* [42].

Singh *et al.* [43]. La evaluación del ciclo de vida (ACV) se ha utilizado para evaluar los procesos de desarrollo de productos "desde la cuna hasta la tumba" durante muchos años. Con el impulso actual hacia la construcción sostenible, LCA ha ganado importancia como un método para evaluar el impacto ambiental de las prácticas de construcción. Se discuten los desafíos actuales para usar LCA en la construcción y se destacan las áreas potenciales para revisiones posteriores que puedan proporcionar a la ingeniería civil, los elementos necesarios para la toma de decisiones.

Buyle *et al.* [44]. Establece el enfoque para reducir el consumo de energía y el uso de materiales ecológicos, incorporando el concepto del ciclo de vida. En la actualidad el análisis de la evaluación del ciclo de vida (ACV) ha generado en la industria de la construcción, desarrollo de herramientas

normativas y académicas. Existen algunas limitaciones al LCA como herramienta analítica y las diferencias fundamentales entre los casos individuales. Existen diversos problemas en la obtención de la información, calidad de los datos, problemas económicos, por mencionar algunos.

De acuerdo con la problemática documentada en México, por el Programa Nacional de Desarrollo Urbano (PNDU 2013-2018) [SEDTU 45], las mega ciudades son probablemente un fenómeno geoespacial-social, de mayor predominancia en la actualidad. Este análisis de escenario refleja la Proyección del Sistema Urbano Nacional (SUN) para el periodo del año 2010 al año 2030. En donde se encuentra la Zona Metropolitana del Estado de México contenida dentro de la categoría Mega Ciudad con más de 10 millones de habitantes en donde se presenta la explosión demográfica dentro del periodo señalado. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Proyección del Sistema Urbano Nacional (SUN) del 2010_2030 [CONAPO 46]

Proyección de la ciudad		2010			2030		
		Núm.	Población	%	Núm.	Población	%
Mega ciudad (ZMCM)	10 millones o más	1	20,116,842	24.76	1	23,247,131	20.33
Grandes Ciudades	1 millón a 5 millones	10	21,252,198	26.16	17	34,967,804	30.58
Ciudades Intermedias	500 mil a 1 millón	22	16,462,922	20.27	18	13,582,338	11.88
Ciudades Medias	100 mil a 500 mil	62	13,963,129	17.19	76	16,706,850	14.61
Pequeñas Ciudades	50 mil a 100 mil	40	2,810,145	3.46	102	6,650,557	5.82
Centros Urbanos	15 mil a 50 mil	249	6,626,045	8.16	747	19,202,867	16.79
Total		384	81,231,281	100%	961	114,357,547	100%

Se engloban seis grupos de jerarquización de la proyección de la ciudad de México, para los periodos 2010 y 2030 respectivamente. Las categorías de mayor énfasis corresponden a las mega ciudades como es el caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), ya que esta categoría se contiene un porcentaje poblacional del 24.76% de la población total del país; se generó la prospectiva del crecimiento de la población hacia el año 2030 sería un total de 3,130, 289 habitantes para esta categoría, sin embargo, en cuanto al porcentaje correspondiente disminuyó un 4.43% en dicha proyección. Se puede interpretar el análisis del aumento poblacional, de cada categoría dando un total de 33,126, 266 habitantes en el país, lo cual representa un 100% del total del aumento de la población en un lapso de 20 años. Donde se aprecia con mayor crecimiento es la categoría Centros Urbanos con 498, siendo la principal fuente crecimiento poblacional la cual alberga alrededor 15 mil a 50 mil habitantes.

Por lo tanto, el aumento población en el lapso de 20 años va a generar un impacto global de las tendencias de urbanización en México, las cuales son cambiantes y dinámicas, enfrentan riesgos ambientales, sociales, económicos y de salud pública, ya que la explotación de los recursos naturales sobrepasa los límites generando un déficit y demanda excesiva sin recuperación de los recursos no renovables siendo insostenible dicha demanda. Deben generarse políticas públicas adecuadas, para la conservación, mitigación y preservación de la oferta del uso de suelo con un giro habitacional, bien enfocadas hacia la problemática social, para las familias más pobres en México. Es necesario replantear la Política de Vivienda [Programa Nacional de Desarrollo Urbano 47], con respecto a la construcción de vivienda digna, y así como aplicarse alguna metodología basada en la cuantificación de los flujos de materia y energía, que desacelerarían los procesos de afectación por desbalance del sistema lineal, por el aumento en la generación de los residuos de construcción Baniás *et al.* [48].

La planificación metabólica integral permitirá ajustar la planificación y las herramientas de políticas a cambios globales y un futuro sustentable, dando lugar a desarrollos habitables dignos, seguros y amigables con el ambiente. No existe una metodología estandarizada debido a la falta de información, soporte técnico, económico, capital humano, etc., las bases de datos son aplicadas en función de un solo

componente, tales como (agua, aire, suelo, residuos sólidos urbanos, residuos de construcción), consecuentemente no corresponden a una generalización de un sistema ambiental y no pueden ser aplicados en los distintos metabolismos urbanos. Las ciudades son sistemas complejos y abiertos que requieren una simulación a gran escala por la interacción con el medio ambiente, siendo necesario utilizar herramientas para cuantificar, analizar y predecir impactos ambientales.

Es pertinente generar perspectivas para la recolección de datos (modelos estadísticos) que permitan ejecutar procedimientos de probabilidad sobre los datos basados en la función a las diferentes variables aplicadas en la urbe, Tarr *et al.* [49] Se recomienda generar estrategias de gestión política pública que desarrolle herramientas para la toma de decisiones en cuanto a planificación urbana y un crecimiento estandarizado. En particular para estudiar el metabolismo del ciclo del carbono, en el contexto del cambio climático global. Los problemas de gran rendimiento metabólico, la baja eficiencia metabólica así como los procesos metabólicos desordenados, son una causa importante de la poca adaptación de los sistemas urbanos, Sáez *et al.* [50] en donde se está generando gran cantidad de residuos de construcción debido a la rápida urbanización en las ciudades de todo el mundo, es prioritario crear conciencia sobre este flujo de desechos de construcción, estimando la generación de residuos de construcción entre los organismos gubernamentales, políticos e investigadores para emitir estimaciones confiables de residuos de construcción en los países en vías de desarrollo, los cuales enfrentan limitantes por disponibilidad de datos.

IV. CONCLUSIONES

Se cumplió el objetivo planteado, ya que se identificaron las tendencias actuales de la investigación del Metabolismo Urbano a nivel nacional e internacional, se realizaron análisis de estudios de casos reportados en el sector de la construcción de vivienda por medio de los artículos indizados en revistas especializadas para valorar la factibilidad de su aplicación en un país con características similares a México. Dichas tendencias establecen las limitantes respecto a las bases de datos, no se encuentran disponibles ya que no se han desarrollado, se carece de una metodología estandarizada, debido a la falta de información, bases de datos homogéneas, soporte técnico, económico, capital humano capacitado, etc. Las existentes han sido aplicadas en función de un solo componente, siendo tal (agua, aire, suelo, residuos sólidos urbanos, residuos de construcción), consecuentemente no corresponden a una generalización de un sistema ambiental y no pueden ser replicados en los distintos metabolismos urbanos.

Las perspectivas de esta revisión sistemática del tema en estudio, son las tendencias actuales en el mundo para el manejo de los residuos de construcción. Se incorporaron al estudio casos realizados a nivel nacional, que no están publicados en revistas especializadas para conocer la dinámica del país y poder hacer un contraste con los estudios internacionales. Por otra parte, se están generando más residuos de construcción en los países en vías de desarrollo, los cuales carecen de una planificación en el manejo. En México no existen instrumentos de gestión de la política pública para la administración de tales residuos, siguen generándose bajo malas prácticas de manejo, planeación, y ejecución de obra, agudizadas por malas prácticas de ingeniería, mano de obra no calificada, entre otros.

RECONOCIMIENTOS

Los autores del presente trabajo, reconocen el apoyo otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca doctoral No. CVU: 203069.

REFERENCIAS

- [1] Decker, E. H. Energy and material flow through the urban ecosystem. *Annu. Rev. Energy Environment*, 25 (2000), 685–740.
- [2] Kalmykova, Y., Rosado, L., Patrício, J. Urban economies resource productivity and decoupling: metabolism trends from 1996-2011 in Sweden, Stockholm, and Gothenburg . *Reinar. Sci. Technol.* 49-14 (2015b), 8815-8823.
- [3] Brunner, P. H. Reshaping Urban Metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, 11 (2007) 11-13.
- [4] Wolman, A. The metabolism of cities. *Scientific American*, 213 (1965), 179-190.
- [5] Newman, P. W. G. Sustainability and cities: Extending the metabolism model. *Landscape and Urban Planning*, 44-4(1999), 219-226.
- [6] Kennedy CA, et al. Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities. *Energy Policy* 37-9(2010) 4828–4837.
- [7] Zhang, Y., Liu, H., Chen, B., (2013). Comprehensive evaluation of the structural characteristics of an urban metabolic system: model development and a case study of Beijing. *Ecol. Model.* 252, 106-113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecol-model.2012.08.017>. *Ecological Modelling for Global Change and Coupled Human and Natural Systems*.
- [8] Kennedy, C., Pincetl, P., Bunje, P., 2011. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environ Pollut.* 159 (2011), 1965-1973.
- [9] Zhang, Y., Yang, Z.F., Liu, G.Y., Yu, X.Y. Energy analysis of the urban metabolism of Beijing. *Ecological Modelling* 222 (2011c), 2377-2384.
- [10] Haberl, H. Human appropriation of net primary production as an environmental indicator: Implications for sustainable development. *Ambio*, 26-3 (1997), 143-146.
- [11] Kennedy, C., Cuddihy, J., Engel-Yan, J. The change of metabolism of cities . *J. Ind. Ecol.* 11-2 (2007), 43-59.
- [12] Dinarès, M. Urban Metabolism: A review of recent literature on the subject. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 60(2007) 551_571.
- [13] Frosh and Gallopoulos N.E (1989) Strategies for Manufacturing. *Scientific American*, 261, 144-152.
- [14] Grimm, NB, Faeth, SH, Golubiewski, NE, Redman, CL, Wu, J., Bai, X., et al. El cambio global y la ecología de las ciudades. *Science*, 319 (2008) 756-760.
- [15] Zhang, J.Y., Zhang, Y., Zhang, Z.F., Fath, B.D., Li, S.S. Estimation of energy related carbon emissions in Beijing and factor decomposition analysis. *Ecological Modelling* 252 (2013a), 258- 265.
- [16] Hernández S. R., Fernández, C. C. y Baptista, L. M. P. (2010), *Metodología de la investigación*. 5ta ed., McGraw-Hill, México, D.F. 2010.
- [17] Behzadian, K., & Kapelan, Z. Modelling metabolism based performance of an urban water system using WaterMet2. *Resources, Conservation and Recycling*, 99 (2015) 84-99.
- [18] Tambo, N., 2002. Hydrological cycle and urban metabolic system of water. *Water and Wastewater Engineering* 28, 1e5 (in Chinese). *Journal Science of the total environment*. 452-453 (2013) Pages 19-27.
- [19] Girardet, H. *Gaia Atlas of Cities*. New directions for sustainable urban living. Gaia books limited. (1996).
- [20] Zhou, C., Huang, H., Cao, A., & Xu, W. Modeling the carbon cycle of the municipal solid waste management system for urban metabolism. *Ecological Modelling*. (2014)
- [21] Hernández M. Adolfo, Dávila G. José y Múgica A. Violeta 4-2 (2017). Estimación de emisiones atmosféricas provenientes de vertederos de residuos sólidos urbanos (2017) *Revista Iberoamericana de Ciencias*. ISSN 2334-2501
- [22] Cárdenas Aragón Berenice Ciltalli, Figueroa Elenes Jorge Rafael, Fernández González Eduardo René 3-6 (2016). Método para la caracterización socio-económica de la generación de residuos electrónicos. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. ISSN 2334-2501
- [23] Zacharias, J., Sun, Z., Chuang, L., & Lee, F. The Hutong urban development model compared with contemporary suburban development in Beijing. *Habitat International*, 49 (2015), 260-265.

- [24] Ayres, R.U., 1994. Industrial metabolism: theory and policy. In: Ayres, R.U., Simonis, U.K. (Eds.), *Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable*.
- [25] Liwarska- Bizukojc, E., Bizukojc, M., Marcinkowski, A., & Doniec, A. The conceptual model of an eco-industrial park based upon ecological relationships. *Journal of Cleaner Production*, 17-8 (2009), 732-741.
- [26] Barrett, J., Vallack, H., Jones, A., Haq, G. Un Materials flow analysis and York Ecological Footprint. Technical report. Environment of Stockholm Institute, Stockholm, Sweden. (2002).
- [27] Venkatesh, G., Ugarelli, R., Sægrov, S., & Brattebo, H. Dynamic Metabolism Modeling as a Decision-Support Tool for Urban Water Utilities Applied to the Upstream of the Water System in Oslo, Norway. *Procedia Engineering*, 89, (2014) 1374-1381.
- [28] Wilson AG. *Complex spatial systems: the Modelling foundations of urban and regional analysis*. Harlow, Essex, England: Pearson Education Ltd; (2000). p. 77
- [29] Chen. Energy consumption of the Earth. *Ecological Modelling* 184 (2005), 363- 184,
- [30] Jorgensen, S.E. *Integration of Ecosystem Theories: A Pattern*. Kluwer Academic Press, Dordrecht, Germany, 3(2002) 428pp.
- [31] Duan, N. Go the Way of Recycling Economy Development of Industry Parks Carefully. 24 (2005).
- [32] Habert. The energetic metabolism of societies: part I: accounting concepts. *Journal of Industrial Ecology* 5 (2001 a) 11-33.
- [33] Huang, S.L., Chen, C.W., 2009. Urbanization and socioeconomic metabolism in Taipei: an emergy synthesis. *Journal of Industrial Ecology* 13, 75-93.
- [34] Barles, S., 2009. Urban metabolism of Paris and its region. *Journal of Industrial Ecology* 13, 898-913.
- [35] Pomazi, I., Szabo, E., 2009. Urban metabolism: the case of Budapest. In: Presented at the account 2008-Urban Metabolism: Measuring the Ecological City, Charles University Environment Center, Prague, pp. 352-375
- [36] Espejel Mena Jaime 1-1 (2014). Gobernabilidad, gobernanza y urbanización en México, *Revista Iberoamericana de Ciencias*. ISSN 2334-2501.
- [37] Heijungs, R H., Settanni, E. & Guinee, J. (2013). Toward a computational structure for life cycle sustainability analysis: unifying LCA and LC C. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18, 1722 - 1733.
- [38] Ortiz O, Castells F, Sonnemann G. Sustainability in the construction industry: a review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials* 2009; 1:28–39.
- [39] Niza S, Rosado L, Ferrao P. Urban metabolism: methodological advances in urban material flow accounting based on the Lisbon case study. *Journal of Industrial Ecology* (2009); 13(3):384-405.
- [40] Ratti C, Baker N, Steemers K. Energy consumption and urban texture. *Energy Build* 2005; 37 (7):762-776.
- [41] Gonzalez A, Donnelly A. Jones M. Chrysoulakis N. Lopes M.A decision-support system for sustainable urban metabolism in Europe. *Environ Impact Assess Rev* (2013); 38:109-119.
- [42] Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel-Yan, J. The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology*, 11-2 (2007), 43-59.
- [43] Singh A, Berghorn G, Joshi S, Syal M. Review of life-cycle assessment applications in building construction. *Journal of Architectural Engineering* 2011; 1:15–23.
- [44] Buyle M, Braet J, Audenaert A. Life cycle assessment in the construction sector: a review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 2013; 26:379–88.
- [45] SEDATU, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2013). Programa Nacional de Desarrollo Urbano y Ordenamiento del Territorio. México
- [46] CONAPO, http://conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/hogares_viviendas/hogares.pdf Consultado 12/Septiembre/2017.
- [47] Programa Nacional de Desarrollo Urbano (PNDU).

- [48] Banias G, Achillas C, Vlachokostas C, et al. (2011) A web-based decision support system for the optimal management of construction and demolition waste. *Waste Management* 31: 2497–2502.
- [49] Tarr, J.A., 2002. The metabolism of the industrial city: a case of Pittsburgh. *Journal of Urban History* 28, 511-545.
- [50] Sáez PV, Merino MR and Porras-Amores C (2011) Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain. *Journal of Waste Management & Research* 30: 137–146.