Quivera. Revista de Estudios Territoriales
ISSN: 1405-8626
ISSN: 2594-102X
quivera@uaemex.mx
Universidad Autónoma del Estado de México
México

Montoya-García, Dainiz Noray; Adame-Martínez, Salvador; Cadena-Vargas, Edel G.; Martínez-Miranda, Verónica; Díaz-Álvarez, Cristián Julián
Metabolismo urbano de los municipios de Toluca y Metepec, Estado de México, México
Quivera. Revista de Estudios Territoriales, vol. 25, núm. 2, 2023, Julio-Diciembre, pp. 107-123
Universidad Autónoma del Estado de México
Toluca, México

Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40175430006

Cómo citar el artículo
Número completo
Más información del artículo
Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la academia

AÑO **25**, 2023-2 JULIO-DICIEMBRE ISSN 2594-102X PÁGS. 107-123
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

Metabolismo urbano de los municipios de Toluca y Metepec, Estado de México, México

Urban Metabolism of the municipalities of Toluca and Metepec, State of Mexico, Mexico

Dainiz Noray Montoya-García*
Salvador Adame-Martínez**
Edel G. Cadena-Vargas*
Verónica Martínez-Miranda***
Cristián Julián Díaz-Álvarez****

Recibido: julio 04 de 2022.
Aceptado: diciembre 05 de 2022.
Publicado: junio 28 de 2023.

Resumen

Las ciudades modernas presentan problemas ambientales y sociales debido a su metabolismo lineal, lo cual propicia un colapso inminente. Este trabajo da cuenta del metabolismo urbano de los municipios Toluca y Metepec localizados en la parte central de México. Para ello se empleó el Análisis de Flujos de Materiales y Energía (AFME) de 2000 a 2019 considerando a ambas localidades como sistemas termodinámicos abiertos. Las entradas fueron: consumos de electricidad, de combustible y de agua; y las salidas: emisiones de CO2 (derivados de la electricidad y quema de gasolinas), aguas residuales y generación de residuos sólidos urbanos. El incremento de consumos y desechos es propio de un metabolismo lineal con altas emisiones de entropía (expresada en contingencias ambientales, islas de calor y en altos niveles de contaminación de aire, agua y suelo) como resultado de una obsoleta y deficiente planeación urbana sustentada en paradigmas deterministas y en la lógica crematística del crecimiento ilimitado. Esto ha propiciado una expansión urbana desordenada, dispersa, con problemas de movilidad; con deficiencias en el abastecimiento de agua y con mala distribución de la red de drenaje y de la cobertura de recolección de residuos sólidos; esto amplía la vulnerabilidad urbana de dichos municipios y el riesgo de colapso. Por ello es necesario replantear el paradigma dominante de la planeación urbana sostenida en la termodinámica y en metabolismo circular.

Palabras clave: metabolismo urbano, planeación urbana, termodinámica.

Abstract

Modern cities present social and environmental problems due to their linear metabolism, which is conductive to imminent collapse. This paper reports on the urban metabolism of the municipalities of Toluca and Metepec located in central part of Mexico. For this purpose, the Material and Flow Energy Analysis (AFME) from 2000 to 2019 was used considering both locations as open thermodynamic systems. The inputs were: electricity, fuel and water consumption; and the outputs were: CO2 emissions (derived from electricity and gasoline burning), wastewater and urban solid waste production. The increase in consumption and waste is typical of a linear metabolism with high entropy emissions (expressed in environmental contingencies, heat islands and high levels of air, water, and soil pollution) as a result of an obsolete and deficient urban planning based on deterministic paradigms and the chrematistic logic of limitless growth. This has led to a disorganized, dispersed urban sprawl, with mobility problems, deficiencies in water supply and poor distribution of the drainage network and solid waste collection coverage, and at the same time it has increased the urban vulnerability of these municipalities and the risk of collapse. It is therefore necessary to rethink the dominant paradigm of urban planning based on thermodynamics and circular metabolism.

Keywords: urban metabolism, urban planning, thermodynamics.

*Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Geografía, México. Correos electrónicos: dmontoyag83@gmail.com, edelcadena@yahoo.com.mx. **Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional, México. Correo electrónico: sadamem@uaemex.mx. ***Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, México. Correo electrónico: mmirandav@icloud.com. ****Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA, Parque Metropolitano María Lucía-Centro de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colombia. Correo electrónico: cristian.diaz@unimeta.edu.co

Introducción

Las ciudades son constructos antrópicos altamente dependientes del medio circundante por medio de intercambios de energía, materiales e información que, a lo largo de la historia, les han permitido crecer, evolucionar y sobrevivir. A partir de la Revolución Industrial (1760-1840) y de la lógica del crecimiento ilimitado, creada después de la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), dichos trueques se intensificaron debido a los avances tecnológicos y a la industrialización, lo cual propició ciudades expansionistas con altos consumos.

Por mencionar algunos datos, entre 1900 y 2005 las ciudades han mostrado un consumo de 70 Gt de materias primas, es decir, un incremento del 800%, mientras que el de la energía oscila entre el 67% y el 76% a nivel planetario. Por ello son responsables directos e indirectos de alrededor del 80% del total de los GEI emitidos y, según estimaciones, para el año 2050 serán las responsables de entre el 67% y 171% de la huella ecológica global con expansiones territoriales a tasas de 1.3 millones de km² por año (Krausmann *et al.,* 2018; Castro, 2011; Infante, 2014; IPCC, 2014, 2022; Mohale, 2015).

Ante esto, surgió la necesidad de cuantificar y analizar los consumos de materiales a través de lo que Wolman (1965) denominó como "metabolismo urbano"; estudio que realizó en una ciudad hipotética al contabilizar los flujos de agua, aire y alimentos (Díaz, 2014; Céspedes y Restrepo, 2018; Kennedy *et al.,* 2011).

A partir de ahí surgieron diversos trabajos destacados: Odum (1971) propuso mecanismos de consumo de energía sobre los ecosistemas (citado en Armenteras, *et al.,* 2016); Newman (1999), un marco de referencia para el metabolismo urbano y calidad de vida en ciudades australianas; Bettini (1998), el concepto de ecología urbana; Kennedy *et al.* (2011), una revisión de los cambios que sufre el metabolismo urbano en el tiempo; Min *et al.* (2019), una aproximación termodinámica para el estudio metabólico urbano y su eficiencia, entre otros.

Con el seguimiento de estos trabajos se ha comprendido que las ciudades se comportan análogamente como un ecosistema y se rigen bajo las Leyes de la Termodinámica; y se ha corroborado que son altamente insustentables y vulnerables ante situaciones inesperadas pues, ante los datos mencionados, ya han rebasado sus límites homeostáticos y de los alrededores. De este modo, ahora los micro colapsos ambientales y sociales son constantes (la reciente pandemia de COVID-19, las crisis hídricas, altas olas de calor, sequías, inundaciones, problemas de movilidad, inseguridad, etcétera). Por ende, el riesgo de un colapso total crece como ha sucedido en el pasado (Dimond, 2006; Krausmann *et al.,* 2018; Steffen e*t al.,* 2015).

Situación de América Latina

En América Latina, el proyecto de industrialización impuesto desde mediados del siglo XX se ejerció con una planificación urbana deficiente, carente de visión a largo plazo y con enfoques mecanicistas y obsoletos cuyos resultados se muestran a través de: a) una alta migración con tasas del orden de hasta 1.1% y de crecimiento poblacional del 1.8%, por lo que el 78% de la población total latinoamericana vive en urbes o mega urbes (Pellegrino, 2003); b) crecimientos desordenados, dispersos y horizontales; c) ascendentes consumos de materiales (entre 12 y 14 toneladas anuales per cápita cuando los niveles sostenibles son de entre 6 y 8 toneladas); d) graves problemas sociales (desigualdad social, inequidad al acceso a servicios básicos, desempleo y violencia), ambientales (contaminación atmosférica, de agua y suelo) y de infraestructura urbana (Delgado *et al*., 2012; Gutiérrez, 2014; Díaz, 2018; PNUMA, 2021).

En esta vertiente, los retos más importantes de la planeación urbana latinoamericana se deben enfocar en la dispersión, la funcionalidad y la densidad de las ciudades; en la gentrificación, en la movilidad, en el acceso a servicios básicos y en la calidad de vida de sus habitantes. Sin embargo, hasta el momento son pocos los países que lo están planteando, entre ellos está Colombia con la Estrategia Nacional de Economía Circular (Gobierno de la República de Colombia, 2019).

De ahí nace la importancia de los estudios metabólicos, incipientes en América Latina desde 2010, que se han enfocado en el conteo de flujos de materiales. Destacan los trabajos de Díaz (2011), Inostroza (2013), Jaramillo (2017) y Rosales (2018). No obstante, existen algunos desafíos: la carencia de especialistas y dificultades e insuficiencia en la recopilación de datos y en su asimetría (Delgado *et al*., 2012); por lo cual se ha optado, en algunos casos, por el reciclaje de cifras y por estudios comparativos. De esta manera se han mantenido en la academia.

Situación de México

México es un país con un patrón de urbanismo creciente, donde el 74.2% de su población habita en alguna ciudad o zona metropolitana con tendencias a aumentar al 88% en 2050 (considerando 145 millones de habitantes), lo cual involucra una expansión territorial de 3,847 km^2 adicionales a los 14,534.73 km^2 ya existentes. Esto acrecentaría la vulnerabilidad climática y urbana sobre todo en los estados de Guerrero, Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Tabasco (Delgado, 2020).

México acumula el segundo *stock* de materiales de Latinoamérica equivalente a 21.1% (1,095 millones de toneladas en 2015), seguido de Brasil y superando 2.3 veces al de Argentina (PNUMA, 2021). Dichos materiales se concentran en la Zona Metropolitana del Valle de México (17.9%), en las zonas metropolitanas de Guadalajara y de Monterrey (4.3%) y en las ciudades de Tijuana, León, Toluca y Juárez (35.1%). En consecuencia, la generación a nivel nacional de residuos sólidos urbanos equivale a 1.16 kg/habitante por día, cuando el promedio latinoamericano es de 0.99 kg/habitante por día (Kaza *et al.*, 2018; Forbes, 2020).

Esto advierte que, si la tendencia de consumo se mantiene como hasta ahora, en 2050 podría ascender al 45.2% equivalente a un volumen de 2,421 millones de toneladas (16.7 toneladas per cápita o seis toneladas per cápita más que en 2015). Las cifras son preocupantes al considerar que el porcentaje de la población, que crecería sólo en un 29.4%, se vería rebasado (Delgado, 2020). En cuanto a emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), en 2016 México superó a América Latina con 3.94 Ton métricas/hab. y 2.92 Ton métricas/hab. respectivamente, lo cual es urgente atender (Banco Mundial, 2022).

Por su parte, el estudio metabólico es aún más escaso; en este ámbito sobresalen los trabajos de Delgado *et al.* (2012) y de Luna (2015) sobre las ciudades de México y Cuautla. Resulta imperante la necesidad de analizar los flujos metabólicos de otras ciudades, incluyendo el consumo energético, para plantear alternativas resilientes dentro de la planeación urbana.

En virtud de lo anterior, este trabajo expone los resultados del comportamiento metabólico de los municipios de Toluca y Metepec, localizados en la parte central del Estado de México, que forman parte de la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT). Se les consideró debido a sus patrones de crecimiento sostenidos desde los años cincuenta. Actualmente representan la quinta zona urbana más grande de México. Además, se determinó un estudio de flujos de energía debido a que son escasos al tiempo que son indispensables para la comprensión de la complejidad urbana.

Revisión histórica de Toluca y Metepec

A partir de la década de los cuarenta, con la implementación del Modelo de Sustitución de Importaciones, el gobierno mexicano comenzó proyectos modernizadores en sus principales ciudades a través de la industrialización. En el Estado de México, con el decreto de la Ley de Protección de las Nuevas Industrias (1941), se inició la transformación de la ciudad de Toluca de vocación agrícola para dinamizar el flujo de mercancías con la ciudad de México y así convertirla en un centro industrial (Iglesias, 2019).

En los años cincuenta, el gobierno estatal decretó una serie de beneficios fiscales para permitir la instalación de empresas sobre espacios agrícolas carentes de servicios básicos y de planificación territorial; esto promovió la creación del parque industrial Toluca-Lerma (Aranda, 2000) y afectó directamente al municipio de Metepec con el cambio de uso de suelo para zonas habitacionales y con la creación de vialidades (1964-1968). Asimismo dio paso a

la conexión entre municipios y a la llegada de consorcios comerciales (1970); de este modo comenzó la conformación de la Zona Metropolitana de Toluca[1] (ZMT) (Aranda, 2000; Mejía *et al*., 2018; Liévanos y Villar, 2015).

Con el incremento de la migración, de las actividades terciarias y la implementación del modelo neoliberal (1970-1990), Metepec se ha configurado como el centro especializado de este sector (Aranda, 2000; Gordillo y Plassot, 2017), mientras que Toluca mantiene su influencia industrial y comercial a pesar de una tendencia a la desindustrialización, por ello estos dos municipios son ejes centrales de la ZMT (Liévanos y Villar 2015; Garrocho y Campos 2007).

En cuestión de planeación urbana, las correspondientes a ambos municipios se han alineado a los acuerdos firmados por México desde los 70s de HABITAT (I, II y III), así como a los ODS bajo la Agenda 2030 con el objetivo de buscar ciudades más resilientes, sustentables y con mayor calidad de vida de sus habitantes.

Termodinámica y metabolismo urbano

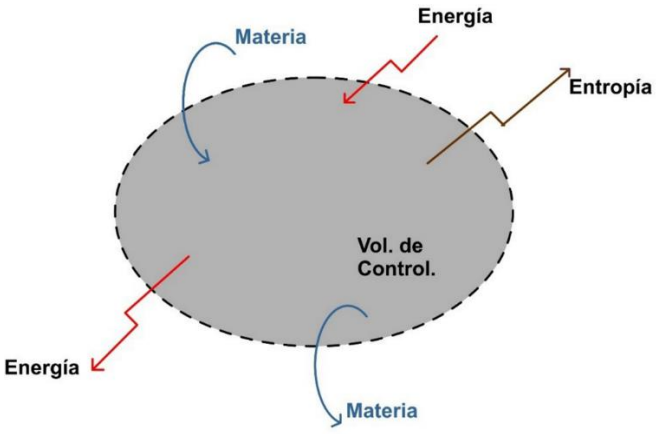
Las ciudades se comportan isomorficamente como ecosistemas, ya que se sustentan a partir de los intercambios con el medio circundante; como resultado transforman la energía y materia recibidas y excretan los desechos al exterior. De igual forma, desde la termodinámica, son sistemas abiertos cuyo comportamiento, organización, estructura y complejidad en el tiempo están relacionados con las fluctuaciones internas y externas de la energía y de los materiales (figura 1).

Sin embargo, los ecosistemas naturales son estructuras cuyo proceso evolutivo es de alrededor de 500 millones de años (Oparin, 2008), lo que los hace altamente eficientes en el proceso de transformación de la energía y la materia por medio de flujos circulares. En cambio, las ciudades tienen alrededor de 10,000 años de antigüedad (Vera, 2009), por lo tanto, su organización de flujos y procesos son lineales debido a que no logran incorporar la energía y los materiales en el medio circundante; como resultado se generan grandes cantidades de entropía, expresada en desechos y calor disipado (Fariña y Ruíz, 2002).

El problema principal de las ciudades radica, por un lado, en que a lo largo de su historia han aumentado el uso de la energía exosomática, proveniente del exterior, que ha formado redes con él cada vez más complejas, lo cual acrecienta su vulnerabilidad; y por el otro, en que la emisión de entropía emitida no es posible convertirla en información útil. De ahí los graves problemas ambientales y sociales que vuelven necesaria su gestión (Prigogine, 1996; Díaz, 2018).

[1] En 2015, la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT) quedó conformada por 16 municipios: Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Tenango del Valle, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec (SEDATU, 2018).

Figura 1. Sistema termodinámico abierto



Fuente: Montoya (2022).

El metabolismo urbano consiste en la suma de las entradas, consumos y salidas de los materiales y de la energía de una ciudad (Kennedy *et al.,* 2011). No obstante, un estudio completo radica en dos cuestiones: la intangible, expresada en las cuestiones sociales, económicas, culturales, históricas y políticas; y la tangible, sustentada en los conteos matemáticos de los flujos de materiales, energía e información que entran al sistema (González y Toledo, 2011; Díaz, 2014).

Gracias a eso, esta herramienta no se limita únicamente al conteo de los flujos metabólicos, sino que, a través de ella, se pueden hacer investigaciones más profundas encaminadas a: a) indicadores de sustentabilidad, porque puede aportar información de eficiencia energética, de ciclos de materiales y manejo de residuos e infraestructura urbana; b) cuantificación de GEI en una ciudad con la posibilidad de ampliarla a la contabilidad indirecta (por ejemplo generación de electricidad); c) el diseño de modelos matemáticos para el análisis de políticas públicas; d) la gestión de la entropía; e) creación de nuevos instrumentos basados en la tras e interdisciplinariedad que permitan nuevos diseños urbanos (Kennedy, *et al*., 2011) y f) y estudiar para implementar la economía circular (Díaz, 2020).

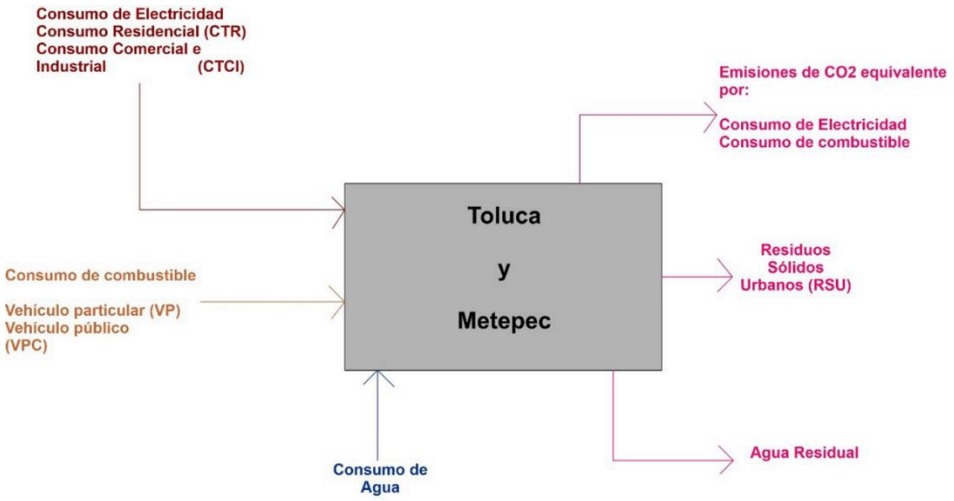
Metodología

Al considerar a los municipios de Toluca y Metepec como sistemas abiertos, su estudio metabólico se llevó a cabo a través del Análisis de Flujos de Materiales y Energía (AFME)[2] durante el periodo de 2000 y 2019. Dicha metodología se sustenta en balances de materia y energía, por lo que los flujos metabólicos se cuantifican a partir de las entradas y salidas.

[2] El Análisis de Flujos de Materiales y Energía (AFME) es una aproximación sistemática de los flujos de materiales y energía en un sistema definido que generalmente se concentra sólo en el componente másico (Naohiro *et al*., 2016), pero, al considerar a la energía, se adquiere una mayor precisión en el estudio del fenómeno en cuestión.

En lo concerniente a las entradas se tuvieron en cuenta: 1) los consumos de electricidad en cuestión residencial (CTR) y de las actividades comerciales e industriales (CTCI) cuya suma es el consumo eléctrico total (CTE); 2) la quema de combustibles para vehículos particulares (VP) y para transporte público (VPC) y 3) el consumo de agua. Como salidas se determinaron: 1) las emisiones de CO_2-eq del consumo de electricidad; 2) las emisiones de CO_2-eq por la quema de combustibles; 3) el volumen de agua residual y 4) la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) (figura 2).

Figura 2. Entradas y salidas de los sistemas abiertos Toluca y Metepec



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la disponibilidad de la información, los datos de consumo de electricidad, agua y residuos sólidos se obtuvieron directamente de los Anuarios Estadísticos del Estado de México[3] (INEGI, 2001; 2003; 2011; 2014 y 2017). Mientras que el consumo de combustible, sus emisiones, así como las del consumo de electricidad, se calcularon.

Los primeros se determinaron a partir de datos del parque automotor de ambos municipios tomados de los Anuarios Estadísticos del Estado de México (INEGI, 2001; 2020). Para los cálculos se consideró la distancia de sus límites territoriales hacia su cabecera municipal y se hizo un viaje por automóvil (ida y vuelta) para obtener la distancia recorrida por vehículos por año (DVRA) que, junto con el factor de consumo estimado (FCCA) se obtuvo el consumo de combustible (VPC). Las emisiones en este sector junto con las generadas por el consumo de electricidad se obtuvieron a través de factores de emisión (INECC, 2014; SEMARNAT, 2010; 2016) (tabla 1).

[3] Censos anuales del Estado de México.

Finalmente, debido a asimetría en la información, a desfases en algunos datos y la interdependencia de los flujos a cuestiones sociales que intervienen en el metabolismo urbano, se presentan resultados en diferentes rangos, siendo entre el año 2000 y los años 2016 y 2019.

Tabla 1. Cálculos para la estimación de combustible y emisiones de CO2-eq de la ZMT

Variable	Fórmula	Consideraciones	Fuente
Distancia recorrida por vehículo por año (DRVA) (km/año)	$DRVA = DMT * 2\ vueltas * 7días * 4\ sem * 12\ meses$	*DMT* = distancia entre la cabecera municipal al centro Toluca (km/ vuelta) Para VP se consideraron 2 vueltas Para VPC se consideraron 10 vueltas	Fórmula propuesta por los autores
*Factor de consumo estimado de combustible anual FCCA (l/año)	$FCCA = \frac{[\%\ ciudad] * DRVA\ \left(\frac{km}{año}\right)}{Rendimiento\ en\ cd\ \left(\frac{km}{l}\right)}$	*% ciudad* = porcentaje de uso del automóvil en ciudad. Para este caso se consideró un 100% **Rendimiento en ciudad* = rendimiento de combustible promedio que tiene un automóvil en la ciudad (10 km/l)	*CONUEE (2015)
*Consumo de combustible VP y VPC (l/año)	$CCVP = FCCA * TVP$ $CCVPC = FCCA * TVPC$	**TVP: total vehículos que circulan en ZMT **TVPC: total de vehículos que circulan en ZMT	*CONUEE (2015). **INEGI (2001; 2019)
**CO_2 equivalente por electricidad ($tonCO_2eq$/año)	$** tonCO_2eq = factor\ \left(\frac{tonCO2eq}{MWh}\right) * CTE\left(\frac{MWh}{año}\right)$	*CTR y CTCI **Factor para 2000: 0.6043 $tonCO_2eq$/MWh, ***Factor para 2015: 0.458 ton CO_2eq/MWh	*INEGI (2000; 2017) **SEMARNAT (2010) **SEMARNAT (2016)
*CO_2 equivalente por consumo de combustible ($tonCO_2eq$/año)	$* tonCO_2eq = CCVP\ \left(\frac{l}{año}\right) * factor\ de\ emisión\left(\frac{KgCO_{2eq}}{l}\right) * \frac{ton}{1000\ kg}$	*Factor de emisión: Gasolina premium: 2.229kgCO2eq/l Diesel: 2.599 kgCO2eq/l *Factores de emisión para convertir unidades: Gasolina premium: 77,473.46 kgCO2eq/TJ Diesel: 73,385.6 kgCO2eq/TJ Poder calorífico: Gasolina premium: 44.5MJ/kg Diesel: 45MJ/kg	*INECC (2014)

Fuente: elaboración propia.
Nota al lector: se hicieron conversiones de MWH/año a J/año.

Resultados y análisis

El acrecentamiento en el consumo de electricidad en los municipios de Toluca y Metepec es innegable (tabla 2). Destaca que el gasto de electricidad para el sector comercial e industrial (CTCI) aumentó significativamente en Metepec: de 0.28 PJ/año en 2000 pasó a 0.48 PJ/año en 2016 equivalente al 41%, y en Toluca pasó de 3.96 PJ/año a 5.39 PJ/año igual al 24%.

El crecimiento en las cifras es resultado del proceso de terciarización, lo que ha consolidado a ese municipio como "Pueblo Mágico" (Reynoso, 2018)[4] y ha provocado la concentración de plazas comerciales, restaurantes y bares; en cambio, la capital mexiquense mantiene su especialización industrial a pesar de la terciarización que está sufriendo (Rendón y Godínez, 2016).

En contraste, el consumo de electricidad en el sector residencial (CTR) fue más significativo en Toluca, sobre todo en la cabecera municipal, pues de 0.58 PJ/año pasó a 0.86 PJ/año; mientras que en Metepec ascendió de 0.52 PJ/año a 0.79 PJ/año; leve diferencia en las cantidades debido a que se concentra un sector social de altos ingresos, por ello el costo de la vivienda es elevado en relación con la capital mexiquense.

Destaca también que el consumo per cápita en Toluca decreció de 1,892 KWh/año hab. a 1,718 KWh/año hab., mientras que en Metepec ascendió de 737 KWh/año hab. a 839 KWh/año hab. debido a problemas relacionados con el acceso y costos del servicio (Ortiz, *et al.,* 2017), al hacinamiento y al crecimiento irregular presente en las periferias de la ciudad.

Las emisiones indirectas de CO_2 equivalente generadas por el consumo de electricidad no presentaron alzas significativas en el periodo de estudio, aunque la tasa per cápita en ambos municipios presentó una disminución: en Toluca de 1,143 TonCO_2-eq/año a 787 TonCO_2-eq/año y en Metepec de 445 TonCO_2-eq/año a 384 TonCO_2-eq/año.

Esta situación no refleja un consumo eficiente, ya que éste se ha acrecentado y su suministro depende de la quema de carbón[5]; debido a ello, las cifras exponen problemas sociales, por ejemplo: México ocupa el noveno puesto nacional en hacinamiento donde un 30.5% de las viviendas presenta esa dificultad (Huerta, 2017).

A su vez, ante el desarrollo del parque vehicular privado en ambos municipios, el ascenso en el consumo combustible fue considerable en el periodo de estudio. En Toluca pasó de 3.91 PJ/año a 11.15 PJ/año, y en Metepec de 1 PJ/año a 3.52 PJ/año en comparación al sector público (tabla 2). Las cifras evidencian la preferencia de los habitantes por el vehículo en comparación con el transporte democrático debido al traslape de rutas que oscila en el 25% (Centro Mario Molina, 2014), a los altos tiempos de traslado, a la inseguridad y, sobre todo, al imaginario estatus y confort (Jiménez *et al.,* 2015, de la Cruz, 2018).

Ambos municipios concentran las principales actividades económicas de la ZMT, por lo tanto, la movilidad en sus calles no sólo proviene de sus habitantes, sino de los foráneos al acudir a sus centros de trabajo, escuelas o áreas de esparcimiento. Esto fomenta problemas de saturación de vialidades donde el 50% es por vehículos privados y el 35 % por transporte público (de la Cruz, 2018).

[4] El PBT de las actividades terciarias de Metepec se incrementó de 11,481 millones de pesos en 2004 a 57,216.77 millones de pesos en 2018. En el caso de Toluca, el PBT en el mismo sector y periodo pasó de 43,223.29 millones de pesos a 59,877.23 millones de pesos (Montoya, 2022).

[5] La generación de electricidad para Toluca y Metepec provienen de una carboeléctrica ubicada en Michoacán, con eficiencias del 35 al 40% (SENER, 2019).

Por esa razón, las emisiones de CO_2 equivalente por la quema de combustibles se incrementaron considerablemente. Metepec pasó de 124,136 TonCO_2-eq/año a 356,920 TonCO_2-eq/año y Toluca de 620,130 TonCO_2-eq/año a 1,293,150 TonCO_2-eq/año en el periodo de estudio. Cifras que evidencian un micro colapso y una expresión de la entropía manifestada en islas de calor y en las frecuentes contingencias ambientales desde 1994 hasta la fecha.

De acuerdo con mediciones de contaminantes criterio, Toluca y Metepec presentan altas incidencias en partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ en verano e invierno (Espinoza, 2020). En 2018, Toluca ocupó el noveno lugar entre las ciudades latinoamericanas más contaminadas por $PM_{2.5}$ con concentraciones de 26.4 $\mu g/m^3$, y con el 65% de los días de 2019 con "mala" calidad del aire" (World Air Quality Report, 2018; Toluca Capital, 2019). Metepec obtuvo el mismo lugar en 2021 con concentraciones del orden de 28.4 $\mu g/m^3$ (World Air Quiality Report, 2021).

En lo correspondiente al consumo de agua, Metepec pasó de 23 hm^3 en 2000 a 32 hm^3 en 2010; Toluca de 64 hm^3/año a 97 hm^3/año. Es importante destacar que ambas localidades dependen del Sistema Cutzamala y de pozos, lo cual representa los siguientes problemas: 1) un "mercado negro" en las concesiones de éstos para industrias y grandes consorcios comerciales por una estimación de 3 hm^3 al año a pesar del decreto de veda de 1965 (Bastida, 2016); 2) subsidencia en Toluca de 50 m entre 1968 y 2011 y en Metepec de aproximadamente 8 m (Esquivel *et al.*, 2015) y 3) la creciente dependencia al Sistema Cutzamala al suministrar en el 2000 de 177.26 hm^3 y en 2016 de 194.55 hm^3 (GEM, 2018).

Aunado a ello, la ciudad de Toluca presenta problemas de abastecimiento de agua debido al crecimiento irregular en las periferias y en las zonas residenciales. Massé *et al.* (2018) sostienen que el 21.6% de la población dispone de agua tres días a la semana; el 10.5%, una o dos veces a la semana y el 3.73%, ocasionalmente. Situación que las autoridades no han podido resolver; además no hay mantenimiento a la red de suministro, de la que se reporta un 40% de pérdidas por fugas (Velásquez, 2021; GEM, 2018).

La situación de las aguas residuales presenta dos problemas: 1) la mayoría de éstas no pasan por un tratamiento antes de ser vertidas a cuerpos superficiales y originan contaminación y 2) tanto Toluca como Metepec no tienen una cobertura del 100% en el servicio de drenaje (GEM, 2018). De esa manera, la capital mexiquense disminuyó su cuantificación de 61 hm^3 a 46 hm^3 y su vecino de 20 hm^3 a 20 hm^3 entre los años 2000 y 2010 (tabla 2). Tesitura que no es posible ante el principio de balance de materia; por lo tanto, las aguas residuales se vierten en la clandestinidad y conforman un problema de planeación urbana.

La realidad es similar con los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), pues Metepec redujo sus vertidos en rellenos sanitarios de 109,500 ton. a 91,000 ton. y Toluca pasó 292,000 ton. a 270,000 ton. entre los años 2000 y 2015. Del mismo modo, las tasas per cápita de ambos disminuyeron pasando en la capital mexiquense de 1.20 kg/día. hab. a 0.73 kg/día hab. y en su vecino de 1.54 kg/día. hab. a 0.95 kg/día. hab (tabla 2).

Sin embargo, destaca que la tasa latinoamericana es de 0.99 kg/día. hab. (Kaza *et al.*, 2018; Forbes, 2020) y en conjunto, la tasa de estos municipios ascendió en 2015 a 1.68 kg/día. hab. Eso evidencia, por un lado, que los habitantes tienen una predilección por el consumo de materiales de un solo uso y, por el otro, que el servicio de recolección es ineficiente y que existen vertederos irregulares.

Asimismo, ambos municipios no cuentan con rellenos sanitarios propios, por lo que Metepec envía sus residuos a San Antonio la Isla; y Toluca, a Zinacantepec, San Antonio la Isla, Xonacatlán y Tlalnepantla (Gómez, 2021). Situación que acarrea problemas técnicos en la gestión, en el transporte, en el traslado y causa irregularidades en las concesiones a particulares para estas actividades (Reporte Índigo, 2021). En México no hay una política que promueva la separación, la reutilización y el reciclaje de materiales, únicamente el 5% pasa por este proceso (Rodríguez y Montesillo, 2017).

Tabla 2. Metabolismo urbano de Toluca y Metepec

	Entradas							**Salidas**			
Municipio /año	**Electricidad**	Población (hab.)		Consumo (PJ/año)		Consumo per cápita (KWh/año hab.)		Emisiones (TonCO_2eq/año)		Tasa (TonCO_2eq/año hab.)	
		2000	2016	2000	2016	2000	2016	2000	2016	2000	2016
Metepec		194,463	262,603								
	CTR			0.24	0.32			39,820,349	40,736,352		
	CTCI			0.28	0.47			46,804,244	60,169,750		
	CTE			0.52	0.79	737	839	86,624,592	100,906,102	445	384
Toluca		666,596	1,011,149								
	CTR			0.58	0.86			97,033,660	109,778,936		
	CTCI			3.96	5.39			665,006,769	685,829,810		
	CTE			4.54	6.25	1,892	1,718	762,040,429	795,608,746	1,143	787
	Combustible	Número de autos		Consumo PJ/año				Emisiones (TonCO_2eq/año)		Tasa (TonCO_2eq/año hab.)	
		2000	2019	2000	2019			2000	2019	2000	2019
Metepec	VP	45,137	159,792	1.00	3.52			68,344	241,948	0.35	0.92
	VPC	6,348	12,854	0.80	1.62			55,792	112,972	0.29	0.43
	VP+VPC	51,485	172,646	1.79	5.14			124,136	354,920	0.64	1.35
Toluca	VP	178,995	510,910	3.91	11.15			268,341	765,931	0.40	0.76
	VPC	40,427	60,587	5.04	7.55			351,789	527,218	0.53	0.52
	VP+VPC	219,422	571,497	8.94	18.70			620,130	1,293,150	0.93	1.28
	Agua			Consumo (hm^3/año)		Tasa per cápita (m^3/año hab.)		Vol. Agua residual (hm^3/año)		Tasa per cápita (m^3/año hab.)	
				2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010
Metepec				23	32	120	120	22	20	111	76
Toluca				64	97	96	96	61	46	92	45
								Vol. RSU en rellenos sanitarios (Ton/año)		Tasa RSU per cápita (kg/día hab.)	
	RSU							2000	2015	2000	2015
Metepec								109,500	91,000	1.54	0.95
Toluca								292,000	270,000	1.20	0.73

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Las deficiencias en la planeación urbana de los municipios de Toluca y Metepec han configurado municipios urbanos con flujos metabólicos lineales al aumentar sus consumos y por presentar un patrón de crecimiento horizontal, disperso y desordenado. Las políticas de ambos municipios se han enfocado en diseños urbanos en función del automóvil, razón del aumento del parque vehicular privado y consecuentemente, del consumo de combustible.

Existen deficiencias de planeación urbana en cuanto al suministro de agua y desechos de aguas residuales, lo cual da cuenta de vertederos ilegales, de altos niveles de contaminación y de pérdidas de red de cobertura. Realidad similar persiste en la recolección de residuos sólidos urbanos donde las irregularidades en la planeación, ejecución y gestión del servicio han exacerbado la contaminación de suelos y la clandestinidad. Por ello la aparente reducción en el volumen de residuos en rellenos sanitarios; no obstante, persiste un aumento en el consumo de materiales de un solo uso.

La realidad termodinámica de los sistemas Toluca y Metepec señalan que son altamente ineficientes al generar grandes cantidades de entropía. Éstas son expresadas en micro colapsos de las vialidades en las frecuentes contingencias ambientales, en las altas concentraciones de contaminantes criterio ($PM_{2.5}$) que han ubicado a ambos municipios dentro de las ciudades más contaminadas de América Latina; en la sobreexplotación de pozos y en la alta vulnerabilidad ante la incapacidad del suministro de agua y en la contaminación de cuerpos superficiales y de suelos. Esto afecta a los alrededores de ambos sistemas y da cuenta que sus límites homeostáticos se están rebasando; lo cual incrementa su vulnerabilidad urbana y el riesgo de colapso.

Bajo el actual modelo metabólico lineal e insostenible de Toluca y Metepec, se está lejos de alcanzar los objetivos ODS 6, 7, 9, 11, 12 y 13y los acuerdos del Protocolo de Kioto, lo que indica que la calidad de vida de sus habitantes y de sus ecosistemas están en detrimento.

Ante el no reconocimiento de la vulnerabilidad urbana actual por parte de las autoridades, y la falta de acciones contundentes para disminuirla el riesgo de colapso en ambos municipios, se requiere imperiosamente un profundo replanteamiento de la planeación urbana de Toluca y Metepec donde los gobiernos reconozcan: a) que sus municipios son máquinas térmicas complejas sujetas a las Leyes de la Termodinámica; b) la innegable relación y dependencia de dichos territorios con sus entornos; c) sus límites homeostáticos; d) la necesidad de gestión de la entropía a través de programas, políticas y un cambio de paradigma dominante, es decir, del crecimiento ilimitado y de la lógica crematística; e) la indispensabilidad de los análisis metabólicos para la planeación territorial y g) la reconfiguración urbana a un metabolismo circular.

Referencias

Armenteras, D., González, T. M., Vergara, L. K., Luque, F. J., Rodríguez, N., y Bonilla, M. A. (2016). Revisión del concepto de ecosistema como "unidad de la naturaleza" 80 años después de su formulación. *Ecosistemas*, 25(1), 83-89. https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-1.12

Aranda, J. M. (2000). *Conformación de la Zona Metropolitana de Toluca, 1960-1990*. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.

Bastida, M. C. (2016). *Más allá del Sistema Lerma. La disputa por el agua en el Valle de Toluca.* México: CONACYT. Recuperado de: https://patrimoniobiocultural.com/producto/mas-alla-del-sistema-lerma/

Banco Mundial. (2022). *Consumo de energía eléctrica (kWh/per cápita)* Datos de 2014. Recuperado de: https://datos.bancomundial.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC

Bettini, V. (1998). *Elementos de la ecología urbana*. Madrid: Editorial Trotta.

Castro, J. (2011). Perspectivas energéticas de la demanda energética global. Instituto de Planeamiento Estratégico (IPE). *Petrotecnia*, 1(11), 54-70 Recuperado de: https://www.petrotecnia.com.ar/febrero2011/sin/Demanda.pdf

Centro Mario Molina (2014). *Estudio del Sistema Integral de Movilidad Sustentable para el Valle de Toluca.* SEMARNAT, GEM. Recuperado de: http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2015/01/Documento-de-difusi%C3%B3n-Movilidad-Sustentable-Toluca.pdf

Céspedes, J. D. y Morales, T. (2018). Urban metabolism and sustainability: Precedents, genesis and research perspectives. *Resources, Conservation and Recycling*. ()131,

Delgado. G. C. (2020). El peso de las ciudades mexicanas en un contexto de cambio climático: consumo de energía y materiales del Sistema Nacional Urbano. *Pluraridad y Concenso*. 10(46): 44-55.

Delgado, G. C.; Campos, C. y Rentería, P. (2012). Cambio Climático y el Metabolismo Urbano de las Megaurbes Latinoamericanas. *Hábitat Sustentable*. 2 (1), 2-25. Recuperado de: http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/409

De la Cruz Rosas, J. A. (2018). *Los problemas de la movilidad urbana en Toluca: crisis de un modelo agotado* (Tesis de licenciatura). Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.

Díaz, C. (2020). Metabolismo urbano y la generación de entropia bajo escenarios coyunturales de confinamiento y desaceleración económica. En: Delgado, G. y López, D (2020). *Las ciudades ante el COVID-19: nuevas direcciones para la investigación urbana y las políticas públicas. Plataforma de Conocimiento para la transformación urbana.* https://doi.org/10.5281/zenodo.3894075

Díaz, C. (2018). Complejidad, Gestión y Disipación en la ciudad. Una aproximación desde la entropía. *Questionar Investigación Científica*, 6, 1: 25-36. https://doi.org/10.29097/23461098.246

Díaz, C. (2014). Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades. *Interdisciplina*. 2 (2), 51-70. http://dx.doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2014.2.46524

Díaz, C. (2011). *Metabolismo de la ciudad de Bogotá: una herramienta para el análisis de la sostenibilidad ambiental urbana*. Tesis. (Magister en Medio Ambiente y Desarrollo) Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales.

Dimond, J. (2006). *Colapso: por qué unas sociedades perduran y otra desaparecen*. Editorial Artes. Venezuela.

Espinoza Rivera, I. (2020). Toluca, noveno lugar en contaminación en América Latina. *Universitaria*, 3(20), 28-29. Recuperado de: https://revistauniversitaria.uaemex.mx/article/view/13875

Esquivel, J., López, S., Expósito, J., Esteller, M. (2015). Sobreexplotación del acuífero del Valle de Toluca y su incidencia en el medio ambiente. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias.* 6 (12).

Fariña, J. y Ruíz, J. (2002) Orden, desorden y entropía en la construcción de la ciudad. *Urban. Revista del Departamento de Urbanística y Ordenamiento Territorial*. 2, 8-15.

Forbes (2020). *México es líder en generación de residuos en América Latina: ANIPAC.* Recuperado de: https://www.forbes.com.mx/mexico-es-lider-en-generacion-de-residuos-en-america-latina-anipac/

Garrocho, C. y Campos, J. (2007). Dinámica de la estructura policéntrica del empleo terciario en el área metropolitana de Toluca, 1994 – 2004. *Papeles de Población*. 13(52), 109-152. Recuperado de: https://rppoblacion.uaemex.mx/article/view/8630

GEM (2018). *Plan de Desarrollo Estatal 2017-2023.* Gobierno del Estado de México

Gobierno de la República de Colombia (2019). *Estrategia nacional de economía circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio*. Bogotá D.C. Colombia. Presidencia de la República, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

Gómez, M. (2021). *Manejo integral de residuos sólidos urbanos a través de basura cero en la Zona Metropolitana de Toluca* (Tesis de licenciatura). Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.

González, M y Toledo, V. M. (2011). *Metabolismos, naturaleza e historia. Hacia una teoría de las transformaciones socioecológicas*. España: Icaria.

Gordillo, G. y Plassot, T. (2017). Migraciones internas: un análisis espacio-temporal del periodo 1970-2015. *Economía UNAM.* 14 (40). https://doi.org/10.1016/j.eunam.2017.01.003

Gutiérrez, J. (2014). Balance del modelo de la planeación urbana en México: orientaciones teóricas para evaluar experiencias de intervención de América Latina. *Cuadernos de Cendes.* 31 (86), pp.27-48.

Huerta, V. (2017). Edo Mex: de los 10 con mayores problemas de hacinamiento en hogares. Recuperado de: https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/edomex-de-los-10-con-mayores-problemas-de-hacinamiento-en-hogares-287169.html

Iglesias, D. (2019). De la concentración a la descentralización de los parques industriales en el Estado de México, ¿alternativa de desarrollo regional? *Revista Científica EcoCiencia*, 6(5), 1-25. https://doi.org/10.21855/ecociencia.65.280

Infante, J. (2014). El consumo de recursos en el siglo XX. *Una revisión. Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) Revista De La Solcha*, 4(1), 5–32. Recuperado de: https://www.halacsolcha.org/index.php/halac/article/view/194

Inostroza L. (2013). El metabolismo urbano: Un sistema de apropiación de excedentes ecológicos, la transformación de la estepa patagónica en arquitectura burguesa. En: *Espacio Urbano, reconstrucción y reconfiguración territorial. México*. Universidad Autónoma del Estado de México y Universidad Autónoma Nuevo León.

INEGI (2020). *Registro de Vehículos con motor en circulación. Base de datos.* Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculosmotor/#Datos_abiertos

INEGI (2019). *Marco Geoestadístico de México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#Descargas

INEGI (2017). *Anuario Estadístico del Estado de México. Gobierno del Estado de México.* Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825094706

INEGI (2014). *PIB, cuentas nacionales. México.* Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/tabulados.aspx

INEGI (2011). *Anuario Estadístico del Estado de México. Gobierno del Estado de México.* Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825002445

INEGI (2003). *Anuario Estadístico del Estado de México. Gobierno del Estado de México.* Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825158538

INEGI (2001). *Anuario Estadístico del Estado de México. Gobierno del Estado de México.* Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825157357

INECC (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México*. SEMARNAT, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Recuperado de: https://www.gob.mx/inecc/documentos/factores-de-emision-para-los-diferentes-tipos-de-combustible-fosiles-que-se-consumen-en-mexico

Jaramillo, C. (2017). *Trabajo experimental: Estudio de metabolismo urbano en la ciudad de Cuenca.* Tesis de la carrera de ingeniería ambiental. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.

Jiménez, P., Calderón, J., Campos, H. (2015). *Desarrollo Habitacional fragmentado y movilidad urbana en la Zona Metropolitana de Toluca*. 20° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México. Cuernavaca: AMECIDER-CRIM, UNAM.

Kaza, S.; Yao, L.C.; Bhada-Tata, P.; Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.Urban Development;.Washington, DC:* World Bank. Recuperado de: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317

Kennedy, C.; Pincelt, S. y Bunje, P. (2011). The study of urban metabolism and its applications to urban plannning and design. *Environmental Pollution,* 159(8-9), 1965-1973. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.022

Krausmann, F.; Lauk, C.; Haas, W. y Wiedenhofer, D. (2018). From resource extraction to outflows of wastes and emission: The socioeconomic metabolism of the global economy, 1900-2015. *Global Environmental Change*. () 52, 131-140. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.07.003

Liévanos, J. E. y Villar, A. J. (2015). *Transformación histórica de la Centralidad de Toluca: De la ciudad monocéntrica al espacio metropolitano policéntrico.* AMECIDER, UNAM. Recuperado de: http://ru.iiec.unam.mx/id/eprint/3050

Luna J. (2015). El metabolismo urbano-rural del agua, actores sociales y gestión de los recursos hídricos público urbano de la ciudad de Cautla Morelos (2006–2013). *Revista de Geografía Espacios*, 5(10), 43-62. https://doi.org/10.25074/07197209.10.695

Massé, C., López, S., Argüello, F., Segura, G., Vilchis, I. (2018). La defensa del agua en el municipio de Toluca. *La Jornada Ecológica.* Recuperado de: https://ecologica.jornada.com.mx/2018/07/28/la-defensa-del-agua-en-el-municipio-de-toluca-5509.html

Mejía, A., Sosa, M., Sandoval, E. (2018). El impacto de la migración en el crecimiento poblacional del Estado de México. *Papeles de Población*. 24(97), 113-144. Recuperado de: https://rppoblacion.uaemex.mx/article/view/8858

Min Tan, L., Arbabi, H., Brockway, P., Densley Tingley, D., Mayfield, M. (2019). An ecological-thermodynamic approach to urban metabolism: Measuring resource utilization with open system network effectiveness analysis. *Applied Energy* 254. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113618

Mohale, B. (2015). *There is no silver bullet to meet Africa´s Energy Challenges. World Energy Focus. Insights from and for the conucil´s global leadership community.* Annual 2015. Recuperado de: http://worldenergyfocus.org/wp-content/uploads/2015/11/Annual-2015-Web-Full-01.pdf

Montoya, D. (2022). *Metabolismo urbano de la Zona Metropolitana de Toluca, México.* Tesis Doctoral. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.

Naohiro, G., Ulhasanah, N., Kamahara, H., Hasanudin, U., Tachibana, R., y Fujie, K. (2016). Material and Energy Flow Analysis. En: Dewulf, J., De Meester, S., y Alvarenga, R. (2016). *Sustainability Assessment of Renewable-Based Products: Methods and Case Studies*. Wiley Online Library. https://doi.org/10.1002/9781118933916.ch9

Newman, P. (1999). Sustainability and cities: extending the metabolism model. *Landscape and Urban Planning*. 44(4), 21-226. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(99)00009-2

Oparin, A. I. (2008). *El Origen de la Vida*. México: Grupo Editorial Tomo

Ortiz, J., Bueno, G., Arana, J. (2017). Análisis de la demanda residencial de electricidad en el Estado de México. *Economía, Sociedad y Territorio*. 17 (53): 199-223. https://doi.org/10.22136/est002017644

IPCC (2022). *Sixth Assessment Report.* Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/

IPCC (2014). *Fifth Assessment Report (AR5).* Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/

Pellegrino, A. (2003). *La migración en América Latina y el Caribe: tendencias y perfiles de los migrantes*. Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía. Santiago de Chile.

Prigogine, I. (1996). *El fin de las certidumbres*. Chile: Editorial Andres Bello.

PNUMA (2021). *El Peso de las Ciudades en América Latina y el Caribe: Requerimientos Futuros de Recursos y Potenciales Rutas de Acción. Resumen para tomadores de decisiones*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Recuperado de: https://www.unep.org/es/resources/informe/el-peso-de-las-ciudades-en-america-latina-y-el-caribe-requerimientos-futuros-de

Reporte Índigo (2021). *Esto huele a negocio: Fernando Flores por concesión del servicio de basura en Metepec*. Recuperado de: https://www.reporteindigo.com/reporte/eso-huele-a-negocio-fernando-flores-por-concesion-del-servicio-de-basura-en-metepec/

Reynoso, C. (2018). *Metepec, Pueblo Mágico. Tierra de tradición y ensueño artesanal. Colección Mosaicos Regionales.* Toluca: Fondo Editorial del Estado de México. Gobierno del Estado de México.

Rendón, L. y Godínez, J. (2016). Evolución y cambio industrial en las Zonas Metropolitanas del Valle de México y de Toluca, 1993-2008. *Análisis Económico,* 31 (77), 115-146. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41345703006

Rodríguez, E. y Montesillo, J. (2017). Propuesta para la gestión sustentable de los residuos sólidos urbanos en la zona central conurbada de Toluca. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño* 12 (21). Recuperado de: https://legadodearquitecturaydiseno.uaemex.mx/article/view/9375

Rosales, N. (2018). Balance ambiental: una herramienta metodológica para un urbanismo más sustentable. *Qivera. Revista de Estudios Territoriales*. 20 (1). Recuperado de: https://quivera.uaemex.mx/article/view/10927

SEDATU (2018). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México, 2015*. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825006792.pdf

SENER (2019). *V. Infraestructura del Sistema Eléctrico Nacional.* PRODESEN 2019-2023. Secretaría de Energía.

SEMARNAT (2010). *Factor de Emisión Eléctrico 2013*. Programa GEI México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: https://www.geimexico.org/factor.html

SEMARNAT (2016). *Factor de Emisión Eléctrico 2015*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: https://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/cicc/aviso_factor_de_emision_electrico_2015.pdf

Steffen, W.; Richardson, K.; Rockström, J.; Cornell, S.; Fetzer, I.; Bennett, E.; Biggs, R.; Carpenter, S.; De Vries, W.; De Witt, C.; Folke, C.; Gerten, D.; Heinke, J.; Mace, G.; Persson, L; Ramanathan, V.; Reyers, B. y Sörlin, S. (2015). Planetary Boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science.* 347. (6223). https://doi.org/10.1126/science.1259855

Toluca Capital (2019). *Foro internacional Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca*. Recuperado de: https://www2.toluca.gob.mx/wp-content/uploads/2019/09/TOL-PDF-FIA2019-EJE.pdf

Velásquez, L. (2021). Pierden municipios del Valle de México 40% del agua potable en fugas. *Heraldo del Estado de México.* Recuperado de: https://hgrupoeditorial.com/pierden-municipios-del-valle-de-mexico-40-del-agua%E2%80%AFpotable-en-fugas/

Vera, A (2009). *Breve historia de las ciudades del mundo antiguo*. Madrid: Ediciones Nowtilus.

Wolman, A. (1965). The metabolismo of Cities. *Scientific American*, 213, 179-190. http://irows.ucr.edu/cd/courses/10/wolman.pdf

World Air Quality Report (2018). *IQAir AirVisual 2018 World Air Quality Report.* Recuperado de: https://www.iqair.com/us/blog/press-releases/IQAir-AirVisual-2018-World-Air-Quality-Report-Reveals-Worlds-Most-Polluted-Cities

World Air Quality Report (2021). *Region and City $PM_{2.5}$ Ranking. IQAir Air Visual.* Recuperado de: https://www.iqair.com/world-air-quality-report