

# Índices metabólicos como propuesta para el estudio del metabolismo urbano, el caso de la ZMT, México

## Metabolic indices as a proposal for the study of urban metabolism, the case of the ZMT, Mexico

Dainiz Noray Montoya García<sup>1</sup>, Cristian Julián Díaz Álvarez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico Nacional; Ciudad de México, México; [dmontoyag83@gmail.com](mailto:dmontoyag83@gmail.com)

<sup>2</sup> UNIMETA; Villavicencio, Meta, Colombia; [cristian.diaz@unimeta.edu.co](mailto:cristian.diaz@unimeta.edu.co)

**Resumen:** El metabolismo urbano es una metodología muy utilizada en los estudios de planeación territorial en países desarrollados. Sin embargo, todavía presenta problemas relacionados en la confiabilidad y en la asimetría de los datos, provocando incertidumbres aún no resueltas. De ahí, la necesidad de definir una forma estandarizada de comparar el metabolismo entre ciudades bajo un solo marco de referencia. Este trabajo propone el método de Índices Metabólicos (IM), aplicado en la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), localizada en la parte central de México entre los años 2000 y 2019. Para ello, se determinó su metabolismo urbano a partir del Análisis de Flujo de Materiales y Energía (AFME) sobre los 16 municipios que la comprenden, y con ello, los índices de obtuvieron con el Análisis de Componentes Principales (ACP). Como resultado, se demostró que la ZMT incrementó sus flujos de electricidad, combustible, agua y materiales, y con ello, sus desechos; lo que la hace un área insustentable. Mientras que con los IM se observó que los municipios centrales tienen mayores consumos (metabolismo alto); las periferias orientadas hacia el sureste y noroeste muestran parámetros de crecimiento y urbanismo debido a la cercanía con la Ciudad de México (metabolismo medio) y los municipios al oeste de la centralidad conservan actividades primarias a pesar del crecimiento urbano (metabolismo bajo). Ante esta heterogeneidad, es necesario replantear el desarrollo urbano de la ZMT para gestionar sus flujos metabólicos y con los índices es posible comprender su complejidad urbana.

**Palabras claves:** índices metabólicos, metabolismo Urbano, planeación urbana, sostenibilidad urbana.

**Abstract:** Urban metabolism is a methodology widely used in territorial planning studies in developed countries. However, it still presents problems related to the reliability and asymmetry of the data, causing uncertainties that have not yet been resolved. Hence, the need to define a standardized way to compare the metabolism between cities under a single frame of reference. This work proposes the Metabolic Index (MI) method, applied in the Toluca Metropolitan Area (ZMT), located in the central part of Mexico between 2000 and 2019. For this purpose, its urban metabolism was determined from the Analysis of Flow of Materials and Energy (AFME) on the 16 municipalities that comprise it, and with this, the indexes were obtained with the Principal Component Analysis (PCA). As a result, it was shown that the ZMT increased its flows of electricity, fuel, water and materials, and with it, its waste, which makes it an unsustainable area. The MI showed that the central municipalities have higher consumption (high metabolism); the peripheries oriented towards the southeast and northwest show growth and urbanism parameters due to their proximity to Mexico City (medium metabolism) and the municipalities to the west of the central area conserve primary activities despite urban growth (low metabolism). Given this heterogeneity, it is necessary to rethink the urban development of the ZMT to manage its metabolic flows and with the indexes it is possible to understand its urban complexity.

**Keywords:** metabolic rates, urban metabolism, urban planning, urban sustainability.

**Citación:** Montoya García<sup>1</sup>, D. N., Inicial nombre.; Díaz Álvarez, C. J., Apellido, Inicial nombre.; Índices metabólicos como propuesta para el estudio del metabolismo urbano, el caso de la ZMT, México. *Entrópico* 2023, 1, 1. <https://doi.org/10.33413/eau.2023.230>

**Editor académico:** Heidi De Moya Simó y Gilkauris Rojas Cortoreal

Recibido: 14 diciembre 2022

Aceptado: 21 febrero 2023

Publicado: 01 abril del 2023



**Copyright:** © 2022 por los autores. Enviado para una posible publicación de acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introducción

El metabolismo urbano es una herramienta interdisciplinaria que estudia a las ciudades como sistemas termodinámicos abiertos que, para sobrevivir y crecer en el tiempo, interactúan con su entorno (natural o antropogénico) al abastecerse de energía, materiales e información; mientras disipan formas no útiles de estos flujos (contaminantes) que son una expresión de la entropía. Metáfora organicista que está empezando a ser utilizada en documentos de política pública urbana e incluida en conceptos nuevos como la economía circular (González y Molina, 2011; Montoya, 2022; Perrotti, 2020; Cui et al., 2019).

Desde los albores de la concepción dada por Abel Wolman (1965), cuando contabilizó los flujos de materiales y de agua en una ciudad hipotética de un millón de habitantes, pasando por Odum (1971) que describió el metabolismo en términos de energía; Newman (1999) que estableció un marco de referencia para el estudio metabólico considerando aspectos sociales como la calidad de vida; Brunner y Rechberger (2004) y Baccini y Bruner (2012) que propusieron un marco metodológico estandarizado para el Análisis de Flujo de Materiales; y Min *et al.*, (2019) quienes plantearon una aproximación termodinámica del metabolismo para estudiar la eficiencia urbana; el concepto y herramienta se ha mantenido estable en cuanto a la forma cómo los resultados de balances de materia y energía se presentan en un contexto político, social e histórico; toda vez que no son fácilmente comparables entre ciudades en el tiempo, espacio, lugar y contexto; así se generen indicadores per cápita.

Si bien los trabajos anteriormente enunciados han contribuido al diseño de política pública en países miembros de OCDE y G20, para las economías emergentes y países en vías de desarrollo, los trabajos se mantienen en un nivel netamente académico, salvo algunas excepciones como la Estrategia Nacional de Economía Circular en Colombia (Gobierno de la República de Colombia, 2019).

En el caso de América Latina, a partir de 2008 comenzaron los estudios metabólicos con trabajos relevantes de: González y Schandl (2008) con la determinación de los flujos de materiales de la Ciudad de México; Díaz (2011) con una aproximación de la problemática metabólica de la ciudad de Bogotá; Jaramillo (2017) con el análisis del metabolismo de materiales de la Ciudad de Cuenca, Ecuador; Delgado et al., (2015) quienes recabaron información sobre datos poblacionales, de consumo de energía, agua, GEI y residuos sólidos de Buenos Aires, la Ciudad de México, Río de Janeiro y Sao Paulo; y Rosales (2018) con el balance ambiental de la capital de México a partir de su metabolismo y el cálculo de la capacidad carga de los ecosistemas circundantes y finalmente el estudio agregado para América Latina y el Caribe que publicó el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en sus cincuenta años de existencia denominado “El Peso de las Ciudades” (Panel Internacional de Recursos, 2018).

A pesar de la evolución metodológica que ha tenido el concepto en la realización de los cálculos y presentación de resultados, persisten problemas relacionados con la confiabilidad de los datos de consumo, en la asimetría de la información y en la novel analítica, lo que provoca incertidumbre en modelos matemáticos, en los análisis estadísticos, la evaluación de resultados y en la prospectiva (Zhang, 2013; Céspedes y Morales, 2018; Laner et al., 2019), condición que se agudiza en América Latina en el reciclaje de cifras donde muchos trabajos son netamente comparativos con alto riesgo en interpretación (Delgado et al, 2012).

Más allá de los inconvenientes en cifras y de cierta incertidumbre en los resultados, los estudios sobre metabolismo urbano evidencian la paradoja de la felicidad a través del consumo ilimitado contraviniendo a las Leyes de la Termodinámica y la utopía de la sostenibilidad ambiental de las ciudades, al ser altamente ineficientes en la transformación de la materia y la energía y en la linealidad de los flujos (suministro, transformación, desecho).

Por lo tanto, algunos retos de la gestión urbana a través del concepto de metabolismo urbano se establecen en la creación de flujos circulares para reducir la presión sobre los sistemas de abasto y provisión, aumentar la eficiencia en los “procesos metabólicos”, mitigar la carga contaminante al interior y alrededor de las ciudades, comprender y gestionar la entropía al igual de su disipación, y generar conciencia con respecto a los límites biofísicos del planeta y las restricciones termodinámicas al

crecimiento. Cualquier desatención a algunos de estos elementos incrementará la vulnerabilidad urbana y con ello el riesgo de colapso total o parcial (Dimond, 2006; Röckstrom et al., 2009; Díaz, 2014).

Asimismo, es necesario definir una forma estandarizada para comparar el metabolismo urbano de las ciudades más allá de tradicional indicador per cápita, de tal forma que sea fácilmente identificable las dinámicas de consumo insostenibles en un mismo marco de referencia, y el análisis del impacto de las ciudades con el conurbano, y para ello, se utilizó como caso la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), en México. Propuesta metodológica que se fundamentó en el Análisis de Flujo de Materias y Energía (MEFA por sus siglas en inglés) en el contexto histórico, político y social del periodo entre 2000 y 2019, desarrollando conjuntamente el concepto nuevo de Índices Metabólicos a partir de la metodología del Análisis de Componentes Principales (ACP).

### 1.1. Subsección-subtema

La ciudad de Toluca, del náhuatl “lugar donde está el dios Tolo o Tolotzin”, si bien fue fundada por los españoles en 1473, tiene un antecedente prehispánico con la presencia de la cultura matlatzinca desde 6500 a.C. (Albores, 1995). Localizada en el Valle del mismo nombre, fue declarada capital del Estado de México en el 1830 (Alanís, 2013)<sup>1</sup>; se caracterizó por una vocación agrícola de abastecimiento de granos y cárnicos para la Ciudad de México junto con sus municipios colindantes hasta la primera mitad del siglo pasado, cuando se presentaron los siguientes hechos históricos que determinaron la configuración de la Zona Metropolitana de Toluca:

1. Una industrialización temprana (a partir de 1940), fomentada por los gobiernos locales para mejorar los niveles de ingreso y empleabilidad de la población, dentro de la política del Modelo de Sustitución de Importaciones que predominó en América Latina; empero, sin una previa planeación territorial y con una intensiva desecación de las ciénegas del Lerma (Gutiérrez, 2009; Iglesias, 2019; Viesca *et al.*, 2011).
2. La consolidación de parques industriales (1950), con el subsecuente incremento del proletariado, el declive de las actividades agrícolas y el inicio de zonas habitacionales obreras, sobre todo en Metepec, Lerma, Ocoyoacac y Toluca (Aranda, 2000).
3. El inicio del consumo masivo a través de grandes almacenes comerciales (1960-1970), dentro de áreas estratégicas que concentraron servicios financieros, médicos, educativos, de infraestructura, entre otros (Liévanos y Villar, 2015).
4. La expansión urbana (1970-2015) hacia la periferia de Toluca y Metepec para suplir la demanda de una creciente población urbana hacia municipios como Zinacantepec, Calimaya, Mexicaltzingo, San Antonio la Isla, Xonacatlán (Mejía *et al.*, 2018).

Producto de todas estas dinámicas, resultó la conformación de la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT) que se formalizó en el 2004 por consensos entre la Secretaría de Desarrollo Social, el Instituto Nacional de Geografía e Informática y el Consejo Nacional de Población, los gobiernos locales y el del Estado de México (SEDATU, 2018). Hasta el 2015 quedó integrada 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 (Figura 1). Actualmente cuenta con una superficie de 2,410.5 km<sup>2</sup>, 2,202,886 habitantes; y es la quinta zona metropolitana más importante de México (Rendón y Godínez, 2016).

Es importante señalar que, al igual que otras zonas metropolitanas de México, la ZMT (1940-2015) ha sido consecuencia de decisiones contravinentes entre las políticas federales y las estatales, guiadas principalmente por las fuerzas del mercado; dejando a un lado formas ancestrales de gestión del territorio (asambleas ejidales o comunitarias, la tradición de milpas), y provocando impactos negativos ambientales y sociales. Aunado a esto, la visión mecanicista que no toma en cuenta las particularidades locales, la falta de continuidad en la política pública y de la ejecución a largo plazo de la

<sup>1</sup> La ciudad de Toluca se localiza en la parte central del Estado de México, en la región central de la República Mexicana.

planeación urbana, con una infraestructura insuficiente y en continuo deterioro han impedido la consolidación del modelo ideal de ciudad, a pesar de la firma de acuerdos como la Agenda 2030 y HABI-TAT, dando como resultado de un área metropolitana con un crecimiento urbano desordenado, horizontal y disperso (Gutiérrez, 2009; Gutiérrez, 2014; Iracheta, 2013; Gutiérrez, 2017).

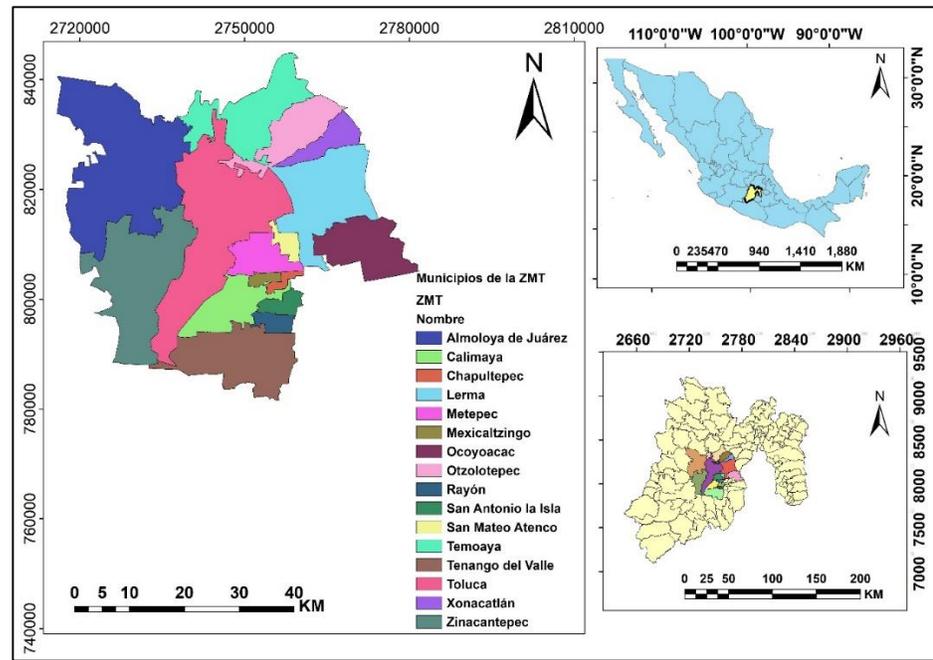


Figura 1. Ubicación Geográfica y Conformación de la ZMT. Fuente: Montoya (2022).

## 2. Métodos

La metodología empleada para este trabajo abarcó dos aspectos: el primero, la determinación del metabolismo urbano de la ZMT y, el segundo, su semaforización a través del Análisis de Componentes principales como propuesta para el estudio urbano, durante el periodo comprendido entre los años 2000 y 2019.

Para la primera parte, se empleó el Análisis de Flujos de Materias y Energía (MEFA por sus siglas en inglés) considerando a la ZMT como un sistema abierto con flujos constantes de energía y materiales, conformado de 16 subcomponentes (los municipios), con dinámicas y características propias, interconectados e interdependientes entre sí. De acuerdo con la disponibilidad de la información se determinaron como indicadores metabólicos (Tabla 1):

Tabla 1. Cálculo de los indicadores para el análisis metabólico de la ZMT

Variable	Fórmula	Consideraciones
Distancia Recorrida por vehículo por año (km/año) (Fórmula propuesta por el autor)	$DRVA = DMT * 2 \text{ vueltas} * 7 \text{ días} * 4 \text{ sem} * 12 \text{ meses}$	DMT = Distancia entre la cabecera municipal al centro Toluca (km/ vuelta) Para VP se consideraron 2 vueltas Para VPC se consideraron 10 vueltas

Factor de consumo estimado de combustible anual FCCA (l/año) (CONUEE, 2015)	$FCCA = \frac{[\% \text{ ciudad}] * DRVA \left( \frac{km}{año} \right)}{Rendimiento \text{ en cd} \left( \frac{km}{l} \right)}$	% 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)
Consumo de combustible VP y VPC (l/año) (CONUEE, 2015)	$CCVP = FCCA * TVP$ $CCVPC = FCCA * TVPC$	VP: total vehículos que circulan en ZMT VPC: total de vehículos que circulan en ZMT, (INEGI 2001; 2019)
CO <sub>2</sub> equivalente por electricidad (tonCO <sub>2</sub> eq/año).	$tonCO_2eq = factor \left( \frac{tonCO_2eq}{MWh} \right) * CTE \left( \frac{MWh}{año} \right)$	CTE (INEGI, 2000;2017) Factor para 2000 (SEMARNAT, 2010): 0.6043 tonCO <sub>2</sub> eq/MWh Factor para 2015 (SEMARNAT, 2016): 0.458 ton CO <sub>2</sub> eq/MWh
CO <sub>2</sub> equivalente por consumo de combustible (tonCO <sub>2</sub> eq/año)	$tonCO_2eq = CCVP \left( \frac{l}{año} \right) * factor \text{ de emisión} \left( \frac{KgCO_2eq}{l} \right) * \frac{ton}{1000 \text{ kg}}$	Factor de emisión (INECC, 2014): Gasolina premium: 2.229 kgCO <sub>2</sub> eq/l Diesel: 2.599 kgCO <sub>2</sub> eq/l  Factores de emisión para convertir unidades: Gasolina premium: 77,473.46 kgCO <sub>2</sub> eq/TJ Diesel: 73,385.6 kgCO <sub>2</sub> eq/TJ  Poder calorífico: Gasolina premium: 44.5MJ/kg Diesel: 45MJ/kg
Distancia Recorrida por vehículo por año DRVA (km/año)	$DRVA = DMT * 2 \text{ vueltas} * 7 \text{ días} * 4 \text{ sem} * 12 \text{ meses}$	DMT = Distancia entre la cabecera municipal al centro Toluca (km/ vuelta) Para VP se consideraron 2 vueltas Para VPC se consideraron 10 vueltas
Factor de consumo estimado de combustible anual FCCA (l/año) (CONUEE, 2015)	$FCCA = \frac{[\% \text{ ciudad}] * DRVA \left( \frac{km}{año} \right)}{Rendimiento \text{ en cd} \left( \frac{km}{l} \right)}$	% 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)

Es importante señalar que, para la recopilación de la data de este trabajo, se presentaron dificultades en la asimetría de la información, por lo que se hicieron ajustes estadísticos y se estableció que el periodo de estudio es de 2000 a 2019.

Para la segunda parte del estudio, se calcularon los Índices Metabólicos (IM) de cada municipio a través del Análisis de Componentes Principales (ACP), usando el programa SPSS, Versión 25, tomando como criterios de validez del índice metabólico: a) el intervalo de entre el 50 y 70% del segundo componente de la tabla de varianza y b) el valor próximo a 1 en la matriz de componentes.

La semaforización se hizo acorde a lo establecido por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2013) considerando cuatro rangos (Tabla 2): Verde, para los municipios con un metabolismo bajo, con un valor del IM de 1; Amarillo, para aquellos con consumos medio bajos, con valor del IM de 2; Naranja, cuando el metabolismo es medio alto con IM de 3; y Rojo, para los municipios con altos o críticos consumos con un IM de 4.

**Tabla 2.** Semáforo de Índices Metabólicos

Semáforo	Ranking	Valor del IM	Nombre	Interpretación
	0-4	1	Metabolismo bajo	Existe un consumo de recursos aparentemente bajo, y sus niveles de contaminación también son bajos
	4.1-8	2	Metabolismo bajo-medio	Existe un consumo moderado de recursos y sus niveles de contaminación se consideran bajos todavía
	8.1-12	3	Metabolismo medio	Los patrones de consumo son altos, pero no drásticos
	12.1-16	4	Metabolismo alto	Existe un metabolismo muy alto que indica altos niveles de consumo y contaminación.

### 3. Resultados y Discusión

Los flujos metabólicos de la ZMT se incrementaron en el periodo de estudio (2000-2019), reflejado en los consumos de agua, que pasaron de 140.19 hm<sup>3</sup>/año a 229.86 m<sup>3</sup>/año<sup>2</sup>, de electricidad que saltó de 8.9 PJ/año a 12.4 PJ/año y de combustible principalmente para los vehículos particulares – VP- que se elevó de 4.75 GJ/año a 10.89 GJ/año. Dichos consumos han sido impulsados por el crecimiento poblacional, que pasó de 1,605,571 hab. a 2,705,593 hab., por la expansión horizontal que presenta la ZMT y por las actividades económicas secundarias que generaron a 464,333 millones de pesos en 2019 en contraste con los 269,541 millones del año 2000, y terciarias cuyo valor pasó de 65,894 millones de pesos a 145,161,94 millones de pesos (Tabla 3).

Consecuentemente, las salidas (desechos) también muestran un ascenso en las cifras, esto es: las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq indirectas por producción de electricidad pasaron de 1,508,280,226 Ton/año a 1,585,531,880 Ton/año; las de combustible crecieron de 523,848 Ton/año a 2,023,311 Ton/año y los residuos sólidos urbanos se elevaron de 547,610 ton/año a 560,000 ton/año. Mientras que el volumen de agua residual descendió de 132 hm<sup>3</sup>/año a 99.4 hm<sup>3</sup>/año como único contraste (Tabla 3).

Cifras que alertan de la insustentabilidad de la ZMT en términos de su funcionalidad y la capacidad de carga. En la cuestión hídrica, existe una alta vulnerabilidad por reducción de la oferta, no sólo por el Sistema Cutzamala, sino por la pérdida de calidad y cantidad de los pozos existentes (bajo estrés con recargas promedio de 336.51 hm<sup>3</sup>/año y con extracciones de 425 hm<sup>3</sup>/año), y escorrentías superficiales (GEM, 2018; Bastida, 2016). Los mayores consumos reportados por Toluca, Metepec, Lerma y

<sup>2</sup> 1 hectómetro cúbico equivale a 1 millón m<sup>3</sup>

Almoloya de Juárez<sup>3</sup>, contrastan con un déficit de cobertura del 21.61% en la ciudad capital y un 40% en pérdidas y fugas (Massé et al., 2018; Velázquez, 2021). Por su parte, el descenso en los valores oficiales y estimados de aguas servidas se atribuyen a salidas clandestinas.

En relación con el consumo de electricidad, en el sector doméstico casi se duplicó sobre todo en los municipios de Toluca, Lerma, Metepec y Almoloya de Juárez<sup>4</sup>. Sin embargo, el consumo per cápita disminuyó. Una explicación a esto es, que se han incrementado las zonas residenciales en los municipios periféricos denominados “sitios dormitorio”<sup>5</sup>, al hacinamiento<sup>6</sup> y al costo del servicio, siendo la población periférica la más afectada económicamente (Ortíz et al., 2017). Evidentemente las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub>-eq. se incrementaron, tomando en cuenta que la electricidad que se consume en la ZMT proviene de una central carboeléctrica ubicada en el estado de Michoacán (cuya eficiencia solo alcanza el 40%) (Lugo et al., 2009; SENER, 2019).

Al haberse cuadruplicado el parque automotor en el periodo de estudio (de 362,323 unidades a 1,153,942 unidades), aumentado el tráfico y los tiempos de traslado en una infraestructura deficiente desde su construcción<sup>7</sup>, el consumo de combustible (de 560,036 m<sup>3</sup> en 2000 a 1,483,770 m<sup>3</sup> en 2019) y de emisiones (1,366,110.41 ton CO<sub>2</sub>-eq en 2000 a 3,517,161 ton CO<sub>2</sub>-eq en 2019) experimentaron un incremento, destacando Toluca, Metepec Lerma<sup>8</sup>, es decir la centralidad.

Con respecto a las actividades primarias, el aumento en la productividad fue del 57.32%, destacando Tenango del Valle, Almoloya de Juárez, Toluca, Temoaya y Zinacantepec<sup>9</sup>, aunque en zonas de los municipios de Mexicaltzingo, San Antonio la Isla y Chapultepec predomina la agricultura por riego de temporal a pesar de la urbanización. Resulta importante enfatizar que la superficie de siembra se ha reducido de 908.8 miles de hectáreas a 882.2 hectáreas entre 2010 y 2016, por lo que el aumento en el rendimiento se atribuye al uso de semillas híbridas y la sustitución de alimentos por cultivos más rentables como flores y hortalizas. No obstante, esto no es sinónimo de soberanía ni seguridad alimentaria, ya que, en las zonas rurales, existe desnutrición infantil y altos consumos de alimentos chatarra (Barkin, 1991; GEM, 2011; SIAP, 2012).

Las aportaciones del PIB por parte de las actividades secundarias y terciarias se incrementaron en el periodo de estudio, siendo que Toluca, Lerma y Ocoyoacac<sup>10</sup> se mantuvieron en los primeros

---

<sup>3</sup> Los consumos de agua en el periodo de estudio fueron: Toluca 63.75 hm<sup>3</sup> y 96.70 hm<sup>3</sup>, Metepec 23.35 hm<sup>3</sup> y 31.53 hm<sup>3</sup>, Lerma 10.46 hm<sup>3</sup> y 18.59 hm<sup>3</sup> y Almoloya de Juárez 7.87 hm<sup>3</sup> y 18.31 hm<sup>3</sup> (Montoya, 2022).

<sup>4</sup> Los consumos de electricidad por municipio fueron: Toluca, 4.54 PJ y 6.25PJ, Lerma 2.71 PJ y 3.013PJ, Metepec 0.516 PJ y 0.793 PJ, y Almoloya de Juárez 0.273 PJ y 0.555 PJ (Montoya, 2022).

<sup>5</sup> Los “sitios dormitorio” son los municipios periféricos donde sus habitantes los ocupan para descansar porque hay un alto desplazamiento hacia la centralidad por trabajo, educación, esparcimiento, etc.

<sup>6</sup> El hacinamiento en el Estado de México es de alrededor del 30% de su población (GEM, 2015).

<sup>7</sup> 40 minutos para una distancia de 30 km entre los municipios de Zinacantepec y Ocoyoacac (Centro Mario Molina, 2014; Hinojosa, 2017).

<sup>8</sup> Los consumos de combustible en el periodo de estudio para Toluca fueron 8.94 PJ y 18.70 PJ; Metepec de 1.79 PJ y 5.14 PJ; y Lerma de 1.46 PJ y 5.47PJ (Montoya, 2022).

<sup>9</sup> Los valores de productividad agrícola en Tenango del Valle fueron de 400,483 ton en 2000 a 678,247 ton en 2019; Almoloya de Juárez de 91,940 ton a 229,250 ton; Temoaya de 37,777 ton a 63,628 ton; Toluca de 69,247 ton a 97,034 ton, y Zinacantepec de 40,476 ton a 62,368 ton (Montoya, 2022).

<sup>10</sup> Los valores del PBT por actividades secundarias entre 2004 y 2018: Toluca, de 188,629 millones de pesos a 332,976 millones de pesos; Lerma de 54,590 millones de pesos a 94,759 millones de pesos; Ocoyoacac pasó de 6,260 millones de pesos a 13,908 millones de pesos. Mientras que para las terciarias fueron: Metepec de 11,481 millones de pesos a 57,216 millones de pesos; Lerma de 5,428 millones de pesos a 13,258 millones de pesos; Toluca de 43,223 millones de pesos a 59,877 millones de pesos. (Montoya, 2022).

lugares, mientras que San Antonio la Isla se desplomó. Sin embargo, la ZMT presenta un proceso de terciarización que se evidencia en los municipios periféricos con la apertura de plazas comerciales, zonas habitacionales y “tienditas” (pequeño comercio), por lo que el suelo urbano se incrementó de 10,902 ha en 1984 a 44,541 ha en 2018 (Adame et al., 2020).

Finalmente, en materia de RSU, las cifras oficiales dan cuenta de un leve incremento que no corresponde a la realidad metabólica de la ZMT. Esta asimetría se debe a la falta de cobertura en la recolección, a los obsoletos planes de gestión de RSU, a la ineficiencia operativa para ejecutarlos, a las irregularidades en la administración de los rellenos sanitarios autorizados y a la evidencia de tiraderos clandestinos y vertederos en aguas superficiales (Sánchez et al., 2019; Reporte Índigo, 2021). Realidad que se refleja principalmente en los municipios de Toluca, San Mateo Atenco, Metepec y Zinacantepec<sup>11</sup>.

**Tabla 3.** Metabolismo urbano de la ZMT entre 2000 y 2019

Flujo metabólico	Indicador	2000	2019
<b>Población</b>		1,605,571	2,705,593
<b>Entradas</b>	Consumo de agua (hm <sup>3</sup> /año)	140.19	229.86
	Consumo per cápita (l/hab.día)	239.2	232.8
	CTE (PJ)	8.9	12.4
	CTE per cápita (MJ/hab. año)	55.96	46.06
	Parque automotor	290,191* <sup>12</sup>	1,030,893*
		72,132**	123,049**
	Consumo (m3/año)	234,817*	906,957*
		325,219**	576,814**
	Consumo per cápita (GJ/hab. año)	4.75*	10.89*
		7.51**	7.91**
<b>Dinámicas</b>	Producción Agrícola (Ton/año)	784,226	1,368,144
	Producción Per cápita (kg/hab. año)	488.44	505.67
	PBT Sec. (millones de pesos)	259,541.27***	464,333.63
	PBT Sec per cápita (mill pesos/hab)	0.162***	0.172
	PBT Ter (millones de pesos)	65,894.89***	145,161.94
	PBT Ter per cápita (mill pesos /hab)	0.041***	0.054
<b>Salidas</b>	Vol. Agua residual (hm <sup>3</sup> /año)	132.5	99.40
	Emisiones CO <sub>2</sub> -eq por CTE (TonCO <sub>2</sub> -eq/año)	1,508,280,226	1,585,532,880
	Emisiones per cápita CTE (TonCO <sub>2</sub> eq/año.hab)	939.4	586.02
	Emisiones por combustible (TonCO <sub>2</sub> -eq/año)	523,848*	2,023,311*
		842,263**	1,493,850**
	Emisiones per cápita (TonCO <sub>2</sub> -eq/año. hab)	0.33*	0.75*

<sup>11</sup> Las cantidades de RSU generados en el periodo de estudio por municipio son: Toluca de 292,000,000 kg/año a 270,000,000 kg/año; Metepec de 109,500,000 kg/año a 91,000,000 kg/año, San Mateo Atenco de 36,500,000 kg/año a 18,000,000 kg/año; Zinacantepec de 29,300,000 kg/año a 24,000,000 kg/año (Montoya, 2022).

<sup>12</sup> \*Vehículos particulares; \*\*Vehículos públicos; \*\*\*Valor correspondiente al año 2004.

	0.52**	0.55**
Vol. RSU en Rellenos Sanitarios (ton/año)	547,610	560,000
Vol. RSU per cápita (kg/hab. año)	341.07	206.98

La transformación del metabolismo urbano de la ZMT en Índices Metabólicos (IM) puede dar la perspectiva de su comportamiento y contrastes en razón de sus consumos durante el periodo de estudio.

En primer lugar, en la tabla 4 en la tabla 4 se observa que los municipios que aumentaron significativamente sus consumos fueron: Xonacatlán que pasó de -0.9 (IM 1) a -0.58 (IM 2), es decir, del ranking 3 a 9; Rayón que incrementó su índice de -0.44 (IM 2) a 0.06 (IM 3) y pasó del lugar 6 al 9; Tenango del Valle que del lugar 10 subió al 15, es decir, su índice ascendió de -0.13 a 0.97 (IM 3 a 4). En contraste, los municipios que decrecieron su metabolismo: Ocoyoacac cuyos índices pasaron de 0.18 a 0.55 (IM 4 a 3), esto es, del ranking 13 al 11; Chapultepec, que del lugar 11 pasó al 4, esto es de un índice de -0.1 a -0.9 (IM 3 a 1).

En segundo término, se observa en las figuras 2 y 3 el cambio metabólico de la ZMT cuyo patrón de crecimiento en los consumos se orienta hacia el sureste y noroeste de la centralidad, es decir, en dirección hacia la Zona Metropolitana de Santiago Tianguistenco y de Ciudad de México, reafirmando la tendencia de la consolidación de la Megalópolis del Centro de México, es decir, la urbanización de las periferias que integran diversas actividades con la capital mexicana<sup>13</sup>.

Ante esto, para el primer cuarto de siglo se puede afirmar lo siguiente de la ZMT:

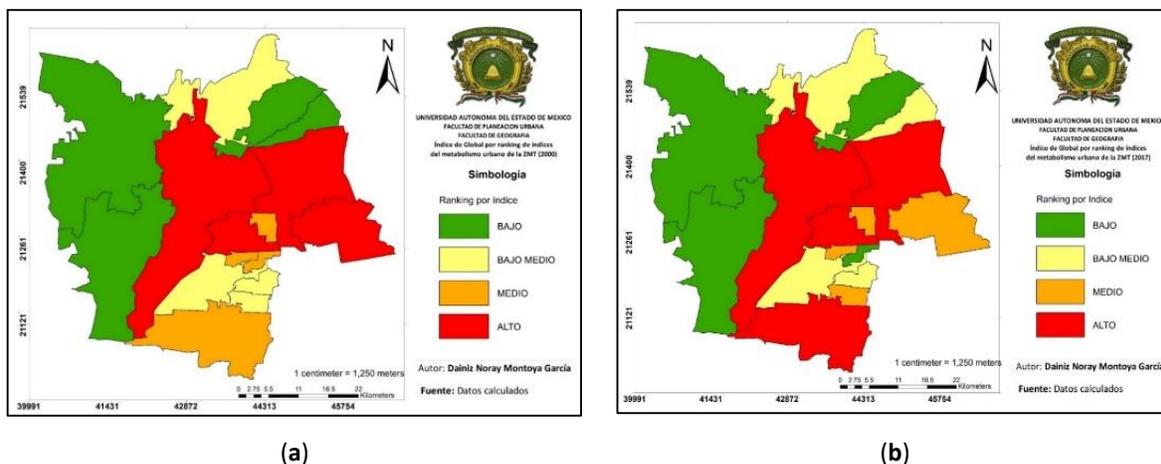
1. Los municipios de Toluca, Metepec Tenango del Valle y Lerma son altamente ineficientes en la transformación de materia y energía (IM 4). Realidad preocupante ya que representan la centralidad de la ZMT al concentrar la mayor parte de las actividades sociales y económicas.
2. Los municipios de San Mateo Atenco, Mexicaltzingo, Rayón y Ocoyoacac presentan altos patrones de consumo, pero no drásticos en comparación a la centralidad (IM 3). Lo relevante es que están experimentando un cambio intensivo de uso de suelo por el incremento en las zonas habitacionales y en la terciarización de sus actividades económicas.
3. Los municipios de San Antonio la Isla, Xonacatlán, Calimaya y Temoaya presentan también un cambio intensivo de uso de suelo agrícola por residencial, pero todavía conservan niveles bajos de contaminación y presencia de actividades primarias, por lo que su IM es 2.
4. Los municipios de Zinacantepec, Almoloya de Juárez, Temoaya y Chapultepec ostentan un IM de 1, porque han mantenido sus actividades primarias a pesar de la presión por la urbanización de sus cabeceras municipales.

<sup>13</sup> La Megalópolis del Centro de México comenzó su conformación en los años 80 del siglo pasado; comprende a todas las zonas metropolitanas que rodean a la Ciudad de México, así como a todos los municipios que guardan una relación funcional con dicha urbe. Esto es: las zonas metropolitanas de Toluca, Santiago Tianguistenco, Cuernavaca, Cuautla, Puebla, Tlaxcala, Pachuca, Tula, Tulancingo y todos los municipios periféricos del Estado de México que rodean a la Ciudad de México (De las Heras *et al.*, 2020).

**Tabla 4.** Índices Metabólicos de la ZMT.

Municipio	Índice 2000	Ranking del índice	IM	Municipio	Índice 2017	Ranking del índice	IM
Zinacantepec	-1.10	1	1	Almoloya de Juárez	-1.33	1	1
Otzolotepec	-0.99	2	1	Zinacantepec	-1.30	2	1
Xonacatlán	-0.9	3	1	Otzolotepec	-1.05	3	1
Almoloya de Juárez	-0.72	4	1	Chapultepec	-0.90	4	1
San Antonio la Isla	-0.59	5	2	San Antonio la Isla	-0.73	5	2
Rayón	-0.44	6	2	Xonacatlán	-0.58	6	2
Calimaya	-0.29	7	2	Calimaya	-0.50	7	2
Temoaya	-0.28	8	2	Temoaya	-0.07	8	2
San Mateo Atenco	-0.15	9	3	Rayón	0.06	9	3
Tenango del Valle	-0.13	10	3	Mexicaltzingo	0.43	10	3
Chapultepec	-0.1	11	3	Ocoyoacac	0.55	11	3
Mexicaltzingo	0.09	12	3	San Mateo Atenco	0.65	12	3
Ocoyoacac	0.18	13	4	Toluca	0.66	13	4
Toluca	1.36	14	4	Metepec	0.82	14	4
Metepec	1.43	15	4	Tenango del Valle	0.97	15	4
Lerma	2.61	16	4	Lerma	2.34	16	4

El texto continúa aquí (Fotografía 2 y tabla 2).



**Figura 2.** Índices Metabólicos de la ZMT: (a) índices para el año 2000 (b) índices para el año 2019.

#### 4. Conclusiones

- Desde su configuración, la ZMT presenta un metabolismo lineal que se ha agudizado entre los años 2000 y 2019, mostrando una expansión territorial horizontal, dispersa y desordenada, junto con el incremento en los flujos de electricidad, combustible, agua y materiales; área insustentable por su condición heterótrofa y energívora que genera enormes cantidades de desechos.

2. Con la actual estructura espacial que presenta la ZMT se evidencia una alta vulnerabilidad hídrica, ya que ante la sobre explotación y contaminación de sus pozos, ha perdido la capacidad de solventar su propio suministro, acrecentando su dependencia a fuentes externas como el Sistema Cutzamala.
3. Si bien se ha perdido área agrícola por causa de la urbanización, la productividad ha aumentado, no obstante, está orientada a cultivos más rentables como flores u hortalizas, dejando atrás la producción agrícola ancestral y la cultura de la milpa, lo que acrecienta la vulnerabilidad alimentaria de la ZMT y su dependencia del exterior.
4. Aunque las actividades secundarias se incrementaron en los municipios centrales de la ZMT, existe una tendencia a la terciarización en sus áreas periféricas con el incremento de zonas habitacionales, plazas comerciales y la sustitución de actividades primarias por el pequeño comercio.
5. La ZMT presenta un diseño urbano en favor del vehículo privado, lo que ha incrementado el parque automotor y consecuentemente, el consumo de combustible, sobre todo en la centralidad. Al mismo tiempo las emisiones CO<sub>2</sub>-equivalente han aumentado, evidenciando el incumplimiento del Protocolo de Kioto.
6. La planeación urbana de la ZMT se sostiene en paradigmas obsoletos y mecanicistas que han contribuido a su insostenibilidad ambiental y social, evidenciándose en carencias de infraestructura para el suministro de agua, alimentos, vivienda y movilidad vial, a pesar de la firma de acuerdos como HABITAT (I, II y III), la Agenda 2030 y los ODS de la ONU, por lo que la ZMT no alcanza a cumplir con los objetivos 6, 7, 9, 11, 12 y 13.
7. Ante este escenario, resulta necesario el replanteamiento urbano desde una perspectiva que contemple a los estudios de metabolismo urbano y a la economía circular, considerando a los IM como una herramienta eficiente para la comprensión de la complejidad urbana.

## Referencias

- Adame, S., Hoyos, G., Sánchez, R., Campos, E. (2020). *Impactos territoriales y ambientales de la periurbanización en la Zona Metropolitana de Toluca*. Proyecto de Investigación. Clave de registro ante la SIEA: 4780/2019CIB. UAEMEX.
- Alanís, J (2013). *Antología Histórica de Toluca*. Instituto Municipal de Cultura y Arte. H. Ayuntamiento de Toluca.
- Albores, B. (1995). *Tules y Sirenas. El impacto ecológico y cultural de la industrialización en el Alto Lerma – Toluca Estado de México*. Colegio Mexiquense. 1era. Edición.
- Aranda, J. M. (2000). *Conformación de la Zona Metropolitana de Toluca, 1960-1990*. Universidad Autónoma del Estado de México. 1ra Edición.
- Baccini, P., Brunner, P. (2012). *Metabolism of the Anthroposphere*. Analysis, Evaluation, Desing. 2nd Edition. The MIT Press. England.
- Bruner, P. H. y Rechberger, H. (2004). *Practical Handbook of Materia Flow Analysis*. NT. USA. Lewis Publishers.
- Banco Interamericano de Desarrollo (2013). *Anexo 2. Indicadores de la iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles. Guía Metodológica*. Recuperado de: [https://issuu.com/ciudadesemergentesysostenibles/docs/anexo\\_2\\_-\\_indicadores\\_ices](https://issuu.com/ciudadesemergentesysostenibles/docs/anexo_2_-_indicadores_ices)
- Barkin, D. (1991). *“El Desarrollo Distorsionado: La integración de México a la economía mundial”*. Siglo XXI Editores. UAM Xochimilco. 1era. Edición.
- Bastida, M. C. (2016). *Más allá del Sistema Lerma. La disputa por el agua en el Valle de Toluca*. CONACYT. México. <https://patrimoniobiocultural.com/producto/mas-alla-del-sistema-lerma/>
- 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*. Vol.131, 216-224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.023>
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (nd). *Automovilista eficiente. Guía para el uso eficiente de la energía en el transporte*. Secretaria de Energía. México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/87979/guiaaumovilef.pdf>

- Cui, X., Wang, X. y Feng, Y. (2019). Examining urban metabolism: A material flow perspective on cities and their sustainability. *Journal of Cleaner Production* 214; 767-781. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.021>
- De las Heras, D., Adame, S., Cadena, E., Campos, J. (2020) Análisis espacial del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en la Megalópolis de México. *Investigaciones Geográficas in press*. DOI: [10.14198/INGEO2020.HGAMCVCA](https://doi.org/10.14198/INGEO2020.HGAMCVCA)
- Delgado, G. C.; Campos, C. y Rentería, P. (2012). Cambio Climático y el Metabolismo Urbano de las Megaurbes Latinoamericanas. En *Hábitat Sustentable*. Vol. 2 (1), 2-25. Recuperado de: <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/409>
- Delgado, G. C. (2015). Ciudad, agua y cambio climático: una aproximación desde el metabolismo urbano. *Medio Ambiente y Urbanización*. Vol. 80 (1), 95-123. Recuperado de: <https://www.ingentaconnect.com/content/iieal/meda/2014/00000080/00000001/art00005>
- Díaz, C. (2011). *Metabolismo de la ciudad de Bogotá: una herramienta para el análisis de la sostenibilidad ambiental urbana*. (Tesis de maestría) Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales. Bogotá.
- Díaz, C. (2014). Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades. *Interdisciplina* Vol. 2, (2), 51-70. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2014.2.46524>
- Dimond, J. (2006). *Colapso: por qué unas sociedades perduran y otra desaparecen*. Editorial Artes. Venezuela.
- 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.
- Gobierno del Estado de México (2011). *Plan de Desarrollo Estatal 2011-2017*.
- Gobierno del Estado de México (2018). *Programa Hídrico Integral del Estado de México 2017-2023*. <https://caem.edomex.gob.mx/sites/caem.edomex.gob.mx/files/files/AcercaCAEM/PHIEM1.pdf>
- 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.
- González, M y Toledo, V. M. (2011). *Metabolismos, naturaleza e historia. Hacia una teoría de las transformaciones socioecológicas*. Icaria. España.
- González, A. C. y Schandl, H. (2008). The biophysical perspective of a middle income economy: Material flows in México. *Ecological Economics* 68, (1-2), 317-327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.03.013>
- Gordillo, G., Plassot, T. (2017). Migraciones internas: un análisis espacio-temporal del periodo 1970-2015. *Economía UNAM*. Vol. 14 (40).
- Gutiérrez, J. (2009). Planeación Urbana en México. Un análisis crítico sobre su proceso de evolución. *Urbano*. Vol. 12 (9), 52-63. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19811644008>
- Gutiérrez, J. (2014). Planeación urbana: crítica y tendencias desde el campo de la Teoría. *Bitácora Urbano Territorial*. Vol 24 (1): 1-20. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74830875003>
- Gutiérrez, J. (2017). México y la Nueva Agenda Urbana. Hoja de ruta con trazos invisibles. [in]capacidades institucionales en el Estado de México. *Bitácora Urbano Territorial* (2):35-43.
- Hinojosa, R. (2017). Infraestructura urbana, factor influyente de la movilidad urbana y por consecuencia impacta en la seguridad vial, y en la salud pública de la ciudad: caso de estudio, zona metropolitana de Toluca. *Proyección* 21. Vol. XI, pp 124-144. Recuperado de: [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/10300/21-07.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/10300/21-07.pdf)
- 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*. Vol 6, (5): 1-25. DOI: <https://doi.org/10.21855/ecociencia.65.280>
- Iracheta, A. (2013). *“México: hacia la reforma urbana”*. Colegio Mexiquense

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2001). *Anuario Estadístico del Estado de México*. Gobierno del Estado de México. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825157357>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2003). *Anuario Estadístico del Estado de México*. Gobierno del Estado de México. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825158538>
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística (2010). *Censo de población y vivienda 2010*. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/residuos/default.html#Tabulados>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2011). *Anuario Estadístico del Estado de México*. Gobierno del Estado de México. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825002445>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2014). *PIB, cuentas nacionales*. México. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/tabulados.aspx>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2017). *Anuario Estadístico del Estado de México*. Gobierno del Estado de México. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825094706>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2020). *Registro de Vehículos con motor en circulación*. Base de datos. Recuperado de: [https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculosmotor/#Datos\\_abiertos](https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculosmotor/#Datos_abiertos)
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2019). *Marco Geoestadístico de México*. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#Descargas>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (nd). *Censo económico*. Base de datos. Recuperado de: [https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/#Datos\\_abiertos](https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/#Datos_abiertos)
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México*. SEMARNAT. 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 grado). Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.
- Laner, D., Rechberger, H. y Astrup, T. (2019). Systematic Evaluation of Uncertainty in Material Flow Analysis. *Journal of Industrial Ecology*. Vol. 18 (6). DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.12143>
- Livéanos, J. E.; Villar, A. J. (2015). *Transformación histórica de la Centralidad de Toluca: De la ciudad monocéntrica al espacio metropolitano policéntrico*. [20° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México] AMECIDER, UNAM <http://ru.iiec.unam.mx/id/eprint/3050>
- Lugo, R., Salazar, M., Zamora, J., Torres, A., Toledo, M. (2009). Análisis exergético de una central termoeléctrica. *Revista Científica*. Vol. 13 (1): 17-25.
- 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*. Vol. 24 (97).
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113618>
- Montoya, D. (2022). *El metabolismo urbano de la Zona Metropolitana de Toluca, México*. (Tesis Doctoral) en Universidad Autónoma del Estado de México. México.

- Newman, P. (1999). Sustainability and cities: extending the metabolism model. *Landscape and Urban Planning* Vol. 44, (4), 21-226. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(99\)00009-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(99)00009-2)
- Odum, E. (1971). *Fundamentals of Ecology*. W.B. Sanders. 3ra Edición. Estados Unidos. En Armenteras, D., González, T.M., Vergara, L.K., Luque, F.J., Rodríguez, N., Bonilla, M.A. (2016). Revisión del concepto de ecosistema como “unidad de la naturaleza” 80 años después de su formulación. *Ecosistemas*. Vol. 25 (1): 83-89. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-1.12>
- Ortíz, J., Bueno, G., Arana, J. (2017). Análisis de la demanda residencial de electricidad en el Estado de México. *Economía, Sociedad y Territorio*. Vol 17 (53): 199-223.
- Panel Internacional de Recursos (2018). *El peso de las Ciudades. Los recursos que exige la urbanización del Futuro*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Perroti, D. (2020). Chapter 2: Urban Metabolism: old challenges, new frontiers, and the research agenda. En: Verma, P., Singh, P., y Raghubashi, A. S. (2020). *Urban Ecology*. Elsevier. pp 17-32. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820730-7.00002-1>.
- 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*, Vol. 31 (77), 115-146. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41345703006>
- Reporte Índigo (2021). “Esto huele a negocio”: Fernando Flores por concesión del servicio de basura en Metepec. Recuperado de: <https://www.reporteindigo.com/reportes/eso-huele-a-negocio-fernando-flores-por-concesion-del-servicio-de-basura-en-metepec/>
- Rockström, J.; Steffen, W.; Noone, K.; Persson, Å.; Stuart III Chapin, F.; Lambin, E.; Lenton, T. M.; Schffer, M.; Folke, C.; Schellnhuber, H. J.; Nykvist, B.; A de Wit, C.; Hughes, T.; van der Leeuw, S.; Rodhe, H.; Sörlin, S.; Synder, P. K.; Constanza, R.; Svedin, U.; Falkenmark, M.; Karlberg, L.; Corell, R.W.; Fabry, V. J.; Hansen, J.; Walker, B.; Liverman, D.; Richardson, K.; Crutzen, P. y Foley, J. (2009). Planet Boundaries: Exploring the safe operating space for Humanity. *Ecology and Society*, 14 (2).
- Rosales, N. (2018). Balance ambiental: una herramienta metodológica para un urbanismo más sustentable. *Qivera. Revista de Estudios Territoriales*. Vol. 20 (1).
- Sánchez, M. P., Cruz, J., Maldonado, P. (2019). Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: un análisis desde la perspectiva de la generación. *Finanz. Politc. Econ.* Vol. 11 (2): 321-336. DOI: <http://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2019.11.2.6>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Alimentación. (2017) *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. Gobierno de México.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (2018). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México, 2015*. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825006792.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825006792.pdf)
- Secretaría de Energía (2019). *V. Infraestructura del Sistema Eléctrico Nacional*. PRODESEN 2019-2023.
- Velazquez, L. (2021). Pierden municipios del Valle de México 40% del agua potable en fugas. *Heraldo del Estado de México*. 5 de Agosto. Recuperado de: <https://hgrupoeditorial.com/pierden-municipios-del-valle-de-mexico-40-del-agua%E2%80%AFpotable-en-fugas/>
- Viesca, F., Flores, J., Romero, A., Garduño, M., Quinero, B. (2011). El impacto de la desecación de Lerma en la gastronomía lacustre de San Pedro Tultepec de Quiroga, Estado de México. *El Periplo Sustentable* (21): 101-138.
- Wolman, A. (1965). The metabolism of Cities. *Scientific American*, 213, 179-190. Recuperado de: <http://irows.ucr.edu/cd/courses/10/wolman.pdf>
- Zhang, Y. (2013). Urban Metabolism: A review of research methodologies. *Environmental Pollution* Vol. 178, 463-473. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.052>