



# Universidad Autónoma del Estado de México

## Facultad de Química

Evaluación del metabolismo urbano como herramienta para impulsar la sostenibilidad en el municipio de Toluca.

### TESIS

Para obtener la maestría en  
Ciencias Ambientales

Que presenta

Ing. Hugo Morales Sánchez

Director de tesis:

Dr. en C. Salvador Adame Martínez

Codirectores:

Dra. En C. A. Amina El Mekaoui

Dr. Ricardo Farfán Escalera

Toluca, Estado de México, abril 2025.



# Contenido

- Resumen..... 1**
- Introducción.....3**
- Planteamiento del problema.....7**
- Justificación.....10**
- Hipótesis y objetivos.....12**
  
- Capítulo 1. Desarrollo sostenible y el metabolismo urbano.....14**
  - 1.1 Antecedentes históricos del desarrollo sostenible.....15
  - 1.2 Desarrollo sostenible.....19
    - 1.2.1 Agenda 2030 .....23
    - 1.2.2 ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.....25
  - 1.3 Sostenibilidad Urbana .....31
    - 1.3.1 Sostenibilidad en las ciudades.....33
    - 1.3.2 Modelo y característica de una ciudad sostenible.....34
  - 1.4 Ecosistema urbano .....36
  - 1.5 Metabolismo urbano.....41
    - 1.5.1 Desarrollo del metabolismo urbano.....41
    - 1.5.2 Metabolismo urbano y sus principales metodologías.....42
    - 1.5.3 Enfoque del metabolismo en la sostenibilidad urbana.....46
  
- Capítulo 2. Marco referencial del metabolismo urbano.....50**
  - 2.1 Estudios internacionales.....50
  - 2.2 Estudios en Latinoamérica.....53
  - 2.3 Antecedentes nacionales..... 57
  - 2.4 Antecedentes municipales.....59

<b>Capítulo 3. Metodología en la evaluación del metabolismo urbano.....</b>	<b>65</b>
3.1 Revisión de literatura.....	68
3.2 Caracterización de las condiciones socioeconómicas y ambientales del municipio de Toluca .....	68
3.2.1 Características demográficas y sociales.....	69
3.2.2 Características económicas.....	70
3.2.3 Características ambientales.....	70
3.3 Recolección de datos para el metabolismo urbano.....	70
3.4 Procesamiento de datos.....	72
3.4.1 Agua.....	72
3.4.2 Energía eléctrica.....	74
3.4.3 Combustibles .....	74
3.4.4 Emisiones contaminantes.....	76
3.4.5 Residuos Sólidos.....	77
3.5 Análisis e interpretación de los resultados.....	78
<b>Capítulo 4. Resultados y Discusión.....</b>	<b>79</b>
4.1 Diagnóstico socioeconómico y ambiental en el municipio de Toluca.....	79
4.1.1 Social.....	79
4.1.2 Economía .....	90
4.1.3 Medio ambiente.....	100
4.2 Evaluación del metabolismo urbano.....	113
4.2.1 Agua potable y precipitación.....	113
4.2.2 Reserva de agua.....	115
4.2.3 Aguas residuales.....	117
4.2.4 Energía eléctrica.....	118
4.2.5 Combustibles: sector doméstico y transporte.....	121
4.2.6 Residuos Sólidos.....	126
4.2.7 Contaminantes atmosféricos.....	127
4.3 Análisis y discusión.....	132

4.3.1 Agua.....	132
4.3.2 Energía y combustibles.....	134
4.3.3 Residuos sólidos.....	137
<b>Conclusiones.....</b>	<b>140</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>144</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>146</b>

## Índice de Tablas

Tabla 1. Objetivos de la sustentabilidad.....	22
Tabla 2. Metas del ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.....	26
Tabla 3. Relación de los ODS con el ODS 11.....	27
Tabla 4. Principales características de una ciudad sostenible.....	35
Tabla 5. Indicadores deseables en el estudio del EUMM.....	47
Tabla 6. Estudios enfocados en el metabolismo urbano en diferentes ciudades del mundo.....	51
Tabla 7. Estudios del metabolismo urbano en Latinoamérica con diferentes enfoques.....	55
Tabla 8. Principales estudios sobre metabolismo urbano a nivel nacional.....	58
Tabla 9. Estudios realizados en el municipio de Toluca con un enfoque urbanista y medio ambiental.....	61
Tabla 10. Organismos e instituciones relacionados a cada parámetro.....	71
Tabla 11. Claves de los sectores económicos en México.....	96
Tabla 12. Distribución de vegetación y uso de suelo.....	101
Tabla 13. Emisiones producidas por sector.....	104
Tabla 14. Escala de Índice de Calidad de Aire (IMECA).....	106
Tabla 15. Estimación de consumo de agua en Toluca, 2000-2020.....	113
Tabla 16. Volumen concesionado por año de acuerdo con el título otorgado.....	114
Tabla 17. Tanques elevados en el municipio de Toluca.....	116
Tabla 18. Descargas de aguas residuales en la cuenca Rio Lerma – Toluca, 2016.....	118
Tabla 19. Consumo total de combustible por tipo en el municipio.....	125
Tabla 20. Cantidad de CO <sub>2</sub> eq por tarifa eléctrica.....	127
Tabla 21. Emisiones totales por tipo de actividad y participación por combustible.....	129
Tabla 22. Emisiones totales netas y per cápita por tipo de actividad.....	129

## Índice de Figuras

Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.....	24
Figura 2. Principios básicos del modelo urbano sostenible o ciudad sostenible.....	35
Figura 3. Interacción de las diferentes dimensiones sistémicas en un ecosistema urbano.....	38
Figura 4. Diagrama general de los componentes principales de un sistema.....	39
Figura 5. Diagrama general de un ecosistema urbano dentro los ecosistemas naturales.....	40
Figura 6. Esquema general de los flujos estudiados en el metabolismo urbano.....	46
Figura 7. Esquema general del Modelo del Metabolismo Urbano Extendido (EUMM).....	47
Figura 8. Ubicación geográfica del municipio de Toluca.....	66
Figura 9. Crecimiento de la población y densidad de Toluca en el periodo 2000 al 2020.....	80
Figura 10. Distribución porcentual de la población urbana y rural de Toluca en el periodo 2000 al 2020.....	81
Figura 11. Población por las localidades del municipio de Toluca, 2010.....	82
Figura 12. Población por las localidades del municipio de Toluca, 2020.....	82
Figura 13. Población según sexo, Toluca, 2000 – 2020.....	83
Figura 14. Población por condición económica en Toluca, 2000 – 2020.....	84
Figura 15. Cobertura de servicio de agua potable en el periodo 2000-2020.....	85
Figura 16. Cobertura del servicio de drenaje en el periodo 2000- 2020.....	85
Figura 17. Cobertura del servicio de energía eléctrica en el periodo 2000 al 2020.....	86
Figura 18. Disponibilidad de servicio de agua potable en localidades, 2021.....	87
Figura 19. Disponibilidad de servicio de agua potable en localidades, 2023.....	87
Figura 20. Índice de marginación 2020, Toluca.....	89
Figura 21. Indicador Municipal de Actividad Económica 2010-2021.....	90
Figura 22. Participación de las actividades económicas en Toluca en el periodo 2010 - 2020.....	91
Figura 23. Valor y volumen de producción agrícola, 2010 – 2020.....	92
Figura 24. Valor y volumen de producción pecuaria, 2010 – 2020.....	93

Figura 25. Comportamiento de UE, 2009 – 2019, en el municipio según sector económico.....	95
Figura 26. Comportamiento de personal ocupado, 2009 – 2019, según sector económico.....	96
Figura 27. Actividades económicas con mayor producción bruta, Toluca.....	97
Figura 28. Actividades económicas con más personal total ocupado, Toluca.....	98
Figura 29. Actividades económicas con mayor gasto en el consumo de agua, Toluca.....	98
Figura 30. Actividades económicas con mayor gasto en el consumo de energía eléctrica, Toluca.....	99
Figura 31. Actividades económicas y su gasto en el consumo de combustibles, Toluca.....	100
Figura 32. Mapa de usos de suelo y vegetación de Toluca.....	102
Figura 33. IMECA Toluca, PM10, 2011 - 2020.....	106
Figura 34. IMECA, Toluca, PM2.5, 2011 – 2020.....	107
Figura 35. IMECA, Toluca, O3, 2011 – 2020.....	108
Figura 36. IMECA, Toluca, NO2, 2011 – 2020.....	109
Figura 37. IMECA, Toluca, CO, 2011 – 2020.....	109
Figura 38. IMECA, Toluca, SO2, 2011 – 2020.....	110
Figura 39. Puntos de muestreo de SST, SDT y CF de la ZMT.....	112
Figura 40. Comportamiento del agua pluvial en el municipio 2010- 2018.....	115
Figura 41. Generación de aguas residuales en el municipio, 2010-2020.....	117
Figura 42. Consumo histórico de energía eléctrica en el municipio, 2010-2020.....	119
Figura 43. Comportamiento del consumo de energía eléctrica por tarifa, del año 2010 y 2020.....	120
Figura 44. Distribución del consumo de energía eléctrica por tarifa, 2010 -2020.....	121
Figura 45. Consumo de combustibles en el sector doméstico.....	122
Figura 46. Consumo de energía por combustibles domésticos.....	123
Figura 47. Consumo y crecimiento de los combustibles para vehículos.....	124
Figura 48. Gasto energético de la gasolina y combustible en el sector de movilidad.....	125
Figura 49. Generación de residuos sólidos urbanos, 2010 -2020.....	126
Figura 50. Emisiones indirectas de GEI por tarifa.....	128

Figura 51. Esquema general de entradas y salidas en promedio en el municipio de Toluca, 2010 - 2020.....	131
Figura 52. Evolución de las ciudades a través de su demanda de energía y materiales.....	135
Figura 53. Cantidad de RSU recolectado, por tipo, 2022.....	138
Figura 54. Cantidad de RSU recolectado, por tipo, 2023.....	138

## Índice de Anexos

Anexo 1. Factores de emisión indirecta por consumo de energía eléctrica anuales.....	159
Anexo 2. Consideraciones y factores de conversión para el cálculo en el consumo de combustibles domésticos y sus emisiones.....	160
Anexo 3. Consideraciones y factores de conversión para el cálculo en el consumo de combustibles en vehículos y sus emisiones.....	161
Anexo 4. Población y disposición de servicios en vivienda por localidades, municipio de Toluca, 2010.....	162
Anexo 5. Población y disposición de servicios en vivienda por localidades, municipio de Toluca, 2020.....	165
Anexo 6. Índice y grado de marginación por localidades en el año 2010 y 2020, municipio de Toluca.....	169
Anexo 7. Mapa de Índice de Marginación por localidades, Toluca 2010.....	173
Anexo 8. Mapa de Índice de Marginación por localidades, Toluca 2020.....	174
Anexo 9. Índice de Municipal de Actividad Económica (IMAE) del municipio de Toluca, 2010-2020.....	175
Anexo 10. Unidades económicas y producción bruta por tipo de actividad económica, 2009 – 2019.....	176
Anexo 11. Comités independientes de agua en el municipio de Toluca, 2020.....	177
Anexo 12. Mapa de consumo de agua por manzana. municipio de Toluca, 2020.....	179
Anexo 13. Mapa de generación de agua residual por manzana. municipio de Toluca, 2020.....	180
Anexo 14. Mapa de consumo de energía por manzana. municipio de Toluca, 2020.....	181
Anexo 15. Mapa de consumo de combustibles por manzana. municipio de Toluca, 2020.....	182
Anexo 16. Mapa de generación de residuos sólidos por manzana. municipio de Toluca, 2020.....	183
Anexo 17. Mapa de emisiones de CO <sub>2</sub> eq por manzana. municipio de Toluca, 2020.....	184

## **Acrónimos y abreviaturas**

CENACE. Centro Nacional de Control de Energía.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua.

EFA. Ecological Footprint Analysis (Análisis de huella ecológica).

GEI. Gases de Efecto Invernadero.

INE. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

IGCEM. Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México.

IPCC. Panel Intergubernamental contra el Cambio Climático, por sus siglas en inglés

LCA. Life-cycle Analysis (Análisis de ciclo de vida)

MFA. Material Flow Analysis (Análisis de flujos de materiales).

OAyS. Organismo de Agua y Saneamiento.

PMDUT. Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Toluca.

PROMACC. Programa Municipal de Cambio Climático

SENER. Secretaría de Energía.

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

SIE. Sistema de Información Energética

SIH. Sistema de Información Hidrológica

ZMT. Zona Metropolitana de Toluca.

RSU. Residuos sólidos urbanos

## Resumen

Las ciudades son centros de servicios y oportunidades sociales, áreas que impulsan el desarrollo social y económico, sin embargo, también son las principales protagonistas del cambio climático, participando entre el 60 y 80% en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), así como el 75% en el consumo de los recursos naturales para su desarrollo. Se estima que las áreas urbanas tan sólo representan el 3% del territorio planetario, sin embargo, cerca del 75% de la población habita dentro de estas. El municipio de Toluca no está exento de esta situación, ya que de los 910, 608 habitantes reportados en 2020 cerca del 77% vivía en localidades urbanas, trayendo consigo algunas problemáticas socioambientales, como mala calidad del aire, problemas de movilidad, grandes cantidades en la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), abatimiento de los mantos acuíferos, contaminación de cuerpos de agua, el cambio de uso de suelo, entre otros. El objetivo de este trabajo fue evaluar el metabolismo urbano del municipio de Toluca, en el periodo 2010-2020 para coadyuvar a la sostenibilidad urbana. Mediante la metodología “Análisis de Flujos de Materiales”, tomando en cuenta parámetros de entrada como: el consumo de agua potable y de energía eléctrica; y de salida: emisiones de GEI, generación de aguas residuales y RSU. Los resultados mostraron que el consumo de agua del año 2010 al 2020, creció cerca de un 19%, pasando de 53.1 a 63.2 hm<sup>3</sup>, respectivamente. Por otra parte, el tratamiento de aguas residuales en promedio fue de 14.9 hm<sup>3</sup>, que representa aproximadamente el 20% de la cantidad generada en todo el municipio, ya que se estima que el 80% restante no son tratadas antes de su vertimiento a cuerpos de agua. En el tema energético, se estimó un consumo promedio de 1,769 GWh, presentando un crecimiento de 28.4% del año 2010 al 2020. Este consumo es destinado principalmente a las actividades industriales y de comercio. Por otro lado, el diésel fue el combustible más consumido después de la leña/carbón y el gas LP, mientras que las mayores emisiones se dieron en las actividades de transporte y energía eléctrica. En la cuestión de los RSU, el promedio generado fue de 210.6 mil toneladas por año, siendo los años 2016 y 2018 los más elevados. Entre los hallazgos encontrados es posible observar que el municipio no presenta un crecimiento repentino o abrupto en sus índices de consumo, debido a sus dinámicas socioeconómicas. Sin embargo, su comportamiento sigue siendo insostenible por la falta de estrategias para mitigar la contaminación ambiental, así como la distribución equitativa de los servicios. Aunado a lo anterior, no se presentan programas consistentes que conduzcan al desarrollo sostenible.

### Palabras clave:

Metabolismo urbano, sostenibilidad urbana, ecología urbana, flujo de materiales, desarrollo sostenible.

## **Abstract**

Cities are centers of services and social opportunities, areas that drive social and economic development. However, they are also the main drivers of climate change, contributing between 60 and 80% of greenhouse gas (GHG) emissions and 75% of the consumption of natural resources for their development. It is estimated that urban areas only represent 3% of the planet's land area, yet nearly 75% of the population lives within them. The municipality of Toluca is no exception to this situation, as of the 910,608 inhabitants reported in 2020, nearly 77% lived in urban areas, bringing with them some socio-environmental problems, such as poor air quality, mobility problems, large amounts of urban solid waste (MSW) generation, depletion of aquifers, contamination of water bodies, land use changes, among others. The objective of this study was to evaluate the urban metabolism of the municipality of Toluca during the 2010-2020 period to contribute to urban sustainability. The methodology used was "Material Flow Analysis," considering input parameters such as water and electricity consumption; and output parameters such as GHG emissions, wastewater generation, and MSW. The results showed that water consumption from 2010 to 2020 increased by approximately 19%, from 53.1 to 63.2 hm<sup>3</sup>, respectively. Furthermore, wastewater treatment averaged 14.9 hm<sup>3</sup>, representing 20% of the amount generated in the entire municipality, as it is estimated that the remaining 80% is not treated before being discharged into water bodies. Regarding energy, average consumption was estimated at 1,769 GWh, representing a 28.4% growth from 2010 to 2020. This consumption is primarily used for industrial and commercial activities. In addition, indirect GHG emissions averaged nearly 870,000 tons of CO<sub>2eq</sub> annually, with industry and commerce being the main emitters. Diesel was the most consumed fuel after firewood/coal and LP gas, while the highest emissions came from transporting and consumption of electrical energy activities. Regarding MSW, the average generation was 210,605 tons per year, with 2016 and 2018 being the highest. Among the findings, it is possible to observe that the municipality does not experience sudden or abrupt growth in its consumption rates, due to its socioeconomic dynamics. However, its behavior remains unsustainable due to the lack of strategies to mitigate environmental pollution and the equitable distribution of services. Furthermore, there are no consistent programs leading to sustainable development.

### **Keywords:**

Urban metabolism, urban sustainability, urban ecology, material flow, sustainable development.

## Introducción

En las últimas décadas uno de los mayores problemas que aquejan a la humanidad es el aumento de la temperatura global, también conocido como cambio climático. A pesar de que éste es visto como causante de varios estragos en el medio ambiente y la sociedad realmente es una consecuencia de impactos por parte de las actividades antropogénicas. Este fenómeno ha permitido el desequilibrio de procesos naturales, generando principalmente, periodos prolongados de sequías y al mismo tiempo grandes precipitaciones en un corto lapso, erosión de los suelos, pérdida de biodiversidad, deshielo en el Ártico, alteración de los ciclos biogeoquímicos, etcétera. (Svirejeva, 2019; UN-Habitat, 2021; IPCC 2023).

De acuerdo con el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), en su reporte “Climate Change 2023” (2023) se menciona que uno de los detonantes del aumento de la temperatura se debe a la emisión de GEI, a causa de las actividades humanas, los cuales han propiciado un aumento de 1.0°C globalmente de 1900 al 2019. Actividades como procesos industriales, la quema de combustibles fósiles, la generación de energía eléctrica, la construcción y el cambio de uso de suelo (silvicultura y agricultura, principalmente) son los principales actores en el aumento de los gases reportándose en el 2019 una estimación de  $59 \pm 6.6 \text{ GtCO}_{2\text{eq}}$  (12% superior al reportado en 2010). Específicamente, el 79% de las emisiones globales de ese año provenían del sector energético, industrial, transporte y construcción, mientras que el 21% restante eran aportado por las actividades agropecuarias y el uso de suelo (IPCC, 2023).

Las actividades mencionadas anteriormente son realizadas principalmente en entornos urbanos, debido a esto, las ciudades generan entre 60 y 80% de las emisiones de GEI, y cerca del 75% de consumo de los recursos naturales (Lanau et al., 2021). Históricamente desde que el hombre aprendió a dominar su entorno mediante la agricultura y la ganadería fue tomando el control de los recursos que se hallaban en su entorno, generando asentamientos centralizados, donde el número de población es incrementó (Thrall y Burdon, 2010; Rabie, 2016). Con el paso del tiempo las ciudades fueron expandiéndose, generando un cambio del uso de suelo desmesurado, creando sociedades cada vez más dependientes del uso de recursos naturales ocasionando impactos en el medio ambiente para lograr su subsistencia (UN-Habitat, 2021).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) anunciaba oficialmente que en 2014 más de la mitad de la población mundial vivía en espacios urbanos lo que refleja que nuestros hábitos hoy en día son totalmente distintos a los de nuestros antepasados (Winkless, 2018). En la actualidad, cerca del 80% de la

población de países desarrollados vive en áreas urbanas, que representa tan solo el 3% de la superficie terrestre global, se calcula que para el año 2050 esta crecerá hasta un 75% mundialmente (Ho, 2015; Lanau et al., 2021).

Ante el contexto nacional, el cambio climático también tiene muchas repercusiones adversas, como lo es el aumento de la temperatura, variabilidad en la precipitación anual, tiempos prolongados de sequía, aumento del nivel de mar y una baja productividad en el sector agropecuario. De acuerdo con el sitio “México ante el cambio climático” (2023), el país ha experimentado un aumento de 0.85°C en la temperatura desde hace 50 años, trayendo consigo cambios significativos. Por ejemplo, el incremento de la intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos (como lluvias y ciclones) ha generado pérdidas materiales y vitales en zonas y comunidades vulnerables como las rurales o de escasos recursos, incluyendo pérdidas económicas.

De acuerdo con Sánchez (2021) los cambios en la temperatura no solo afectan a la parte ambiental y social, sino que también podrían reducir el PIB per cápita del país entre un 1.96 y 2.06% en las siguientes décadas (2014 – 2100), además el cambio de la precipitación reduciría el crecimiento entre -1.03 y -1.66% dentro del mismo periodo.

Debido a este comportamiento, en algunos estados de la república también se manifiesta el fenómeno de las *migraciones climáticas*<sup>1</sup>, donde la población rural es afectada por los eventos climáticos inusuales o intensos, emigrando a las ciudades en busca de empleo y calidad de vida, aumentando así la densidad poblacional de las ciudades principales como Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara. Creando un círculo vicioso, ya que el aumento de habitantes en las zonas urbanas traería problemas al requerir una mayor demanda de agua, energía y materiales necesarios para el desarrollo de estas (Herrera, 2023).

Actualmente, según datos del Censo 2020, cerca de 79% de la población en México vive en zonas urbanas y el 21% restante se ubica en la parte rural, cuando en los años de 1960 cerca de la mitad de la población era rural (49%) y la otra mitad era urbana (51%) (INEGI, 2020). Aunque el crecimiento de las zonas urbanas en el territorio mexicano ha presentado una desaceleración es cierto que existe una disminución de recursos naturales disponibles para abastecer las poblaciones de este tipo. De acuerdo con Global

---

<sup>1</sup> De acuerdo con la Organización Internacional para las Migraciones (OIM): “Las migraciones climáticas comprenden el traslado de una persona o grupos de personas que, predominantemente por cambios repentinos o progresivos en el entorno debido a los efectos del cambio climático, están obligadas a abandonar su lugar de residencia habitual, u optan por hacerlo, ya sea de forma temporal o permanente, dentro de un Estado o cruzando la frontera internacional” (OIM, 2019).

Footprint Network (2024), en 2022, México presentó un déficit ecológico de casi 1.1 hectárea global por persona (gha, “global hectare”), es decir, se tuvo una biocapacidad de 1.3gha mientras la huella ecológica fue de 2.7gha. Esto señala que la capacidad de los ecosistemas en producir los recursos necesarios para el consumo se rebasó, agotando los recursos más de lo que se pueden producir o regenerar de manera natural.

En el 2020, en el Estado de México, habitaban 17 millones de personas, ubicándolo en el primer puesto como el estado con mayor población, siendo el 87% urbana y el 13% restante población que habitaba en localidades rurales (INEGI, 2020).

De acuerdo con el Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (IEECC), mediante el Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, edición 2020, las emisiones totales fueron de 41,184 Gg de CO<sub>2eq</sub>. El sector energía participó con un 53.42%, los residuos con un 22.34%, y ubicando a los procesos industriales y la actividad AFOLU (Agricultura, Silvicultura, y otros usos de la tierra) con un 18.20% y un 6.04%, respectivamente (IEECC, 2022).

El presente trabajo de investigación se compone de cuatro capítulos. El primer capítulo engloba los aspectos principales del desarrollo sostenible, la sostenibilidad urbana, y la importancia de atender a los sistemas urbanos desde un enfoque ecosistémico para su estudio metabólico. Paralelamente se establece el concepto de metabolismo urbano con sus diferentes enfoques y metodologías existentes como: Análisis de flujo de materiales (MFA), Análisis de Ciclo de Vida (LCA) y Análisis de Huella Ecológica (EFA). Así mismo, se discute cómo estos enfoques necesitan tener un mayor alcance para establecer parámetros que permitan diseñar o desarrollar metodologías más completas para abordar el tema de la sostenibilidad urbana.

En el capítulo 2, se analizaron los estudios de mayor interés en la temática del metabolismo urbano, siendo un apoyo en la construcción teórica-conceptual, así como en el desarrollo del marco histórico y metodológico. La finalidad de esto fue considerar los estudios previos como fuente de herramientas para poder aplicar de la manera óptima y adecuada el estudio al municipio de Toluca de acuerdo con sus características socioeconómicas, demográficas, culturales y geográficas

El capítulo 3 describe el desarrollo metodológico que se llevó a cabo para la elaboración de presente trabajo. Se consideró el Análisis de Flujo de Materiales (MFA) como metodología principal, tomando en cuenta un enfoque extendido (de acuerdo con el Modelo de Newman), prestando atención en aspectos sociales y económicos de la zona de estudio para saber cómo estos afectan o contribuyen al

comportamiento metabólico del municipio. Se explican las herramientas usadas y los documentos o fuentes de información que fueron consultados para la creación de la base de datos en la evaluación del estudio.

En el capítulo 4, se presentan los resultados acompañados con el análisis de la elaboración del balance del flujo de materiales, describiendo estadísticamente el consumo de agua, de electricidad y combustibles, principalmente; tomando en cuenta los subproductos generados dentro de los procesos urbanos, como la generación de residuos sólidos urbanos, GEI, y aguas residuales.

Por último, en el apartado de las conclusiones, hace una reflexión de los resultados finales, concluyendo qué aspectos son los principales agentes en el metabolismo urbano de Toluca, atendiendo la hipótesis del trabajo, agregando algunas estrategias que el municipio debiera de implementar para mejorar la calidad de vida en el municipio.

## **Planteamiento del problema**

Las áreas urbanas son el centro de actividades de la sociedad, donde se desarrolla la economía, servicios, empleos, bienes y por supuesto, debe ofrecer a los ciudadanos un sentido de pertenencia y seguridad. Lamentablemente, desde la evolución de las civilizaciones, los asentamientos humanos, física y éticamente, han establecido un límite entre la relación humano-naturaleza, cosificando y subestimando el valor ecológico que esta última representa.

Sobre este contexto, las ciudades han crecido y desarrollado sus edificaciones sirviéndose de los recursos naturales, y de sus servicios ecosistémicos, ante un panorama meramente económico neoclásico, es decir, donde el capital acumulado se crea a partir de una visión ilimitada de los recursos, impidiendo ver a los centros urbanos como sistemas de alta demanda productiva. Esta concepción de las ciudades ha permitido que carezcan de la cualidad de gestión y ordenamiento, creando sistemas caóticos y entrópicos, impidiendo una sostenibilidad que prevalezca por generaciones.

Año con año, la expansión de las ciudades es un fenómeno constante y acelerado pero discreto, reflejado en el cambio de uso de suelo, el consumo extensivo e intensivo de la materia prima, la mala calidad atmosférica, la escasez hídrica y el aumento de la vulnerabilidad urbana ante eventos naturales debido a una planificación territorial deficiente, creando problemas políticos, sociales, económicos y, por supuesto, ambientales.

Ante este fenómeno, la emergencia del estudio de las ciudades y su desarrollo es imprescindible. Estas son sistemas conformados por una estructura social, ecológica y económica dentro de un territorio geográfico determinado. Dentro de ellas circula la mayor parte de los recursos financieros, humanos y naturales del planeta de los cuales depende para su expansión. Debido a esto demandan grandes cantidades de energía y materia, generando con ello diversas adversidades ecológicas dentro y/o en sus límites establecidos (o incluso más allá) (Zhang, 2013; Pangué, 2018).

Actualmente los asentamientos urbanos ocupan entre el 1% y 3% del territorio global, proyectando un aumento entre 4 a 5% para el 2050; este crecimiento traería como consecuencia dos escenarios principales: 1) la conversión del suelo agrícola a uno de tipo urbano, y 2) generación de una presión en los ecosistemas naturales, atenuando su función ecosistémica y reguladora (Pangué, 2018). Aunado a esto, la demanda de recursos crecería, ocasionando un déficit ecológico, rebasando la biocapacidad del planeta para

proporcionar dichos recursos y sostener las poblaciones urbanas, elevándose así su huella ecológica (Miller y Spoolman, 2019).

Sin embargo, su permanencia meramente no está constituido únicamente por materiales, sino también por energía. Una vez que la ciudad crece y llega a un punto de estabilización, la demanda energética crece, o se mantienen, pero nunca desciende. El desarrollo tecnológico, desde el intercambio de información hasta la movilidad de habitantes, y sus respectivas redes, requieren ingentes cantidades de energía ante esa transición moderna (Pengue, 2018).

Ocasionando un círculo vicioso, el consumo de energía por el desarrollo tecnológico, genera un “tecnometabolismo” o también llamado metabolismo ampliado, donde al acelerar los ritmos de consumo (por el crecimiento poblacional y los servicios ofrecidos), estos logran superar los tiempos de reposición natural ocasionando una sobreexplotación. En la búsqueda de recursos necesarios, las zonas urbanas trascienden de sus fronteras, llegando a regiones alejadas, nombradas por Martínez Alier (2004), como “*commodity fronties*”.

De acuerdo con Fisher-Kowalski (1997) las entidades urbanas se convierten en un agente colonizador de la naturaleza, es decir, que modifican y alteran los sistemas naturales para que sea de su utilidad, trayendo consigo ciertas externalidades. Además, apunta que el flujo de materiales que se hallan en la ciudad no es meramente consumo social, sino que depende del tipo de comercio, aplicaciones y formas de apropiación, tomando en cuenta el reconocimiento de los impactos ambientales.

Bajo este breve contexto, las ciudades necesitan afrontar los nuevos retos, tomando en cuenta su comportamiento y su desarrollo. Con esto se buscaría que logren alcanzar un metabolismo sostenible, involucrando una visión holística. Tomando en cuenta parámetros de consumo y extracción, así como su desarrollo social y económico desde una perspectiva ecológica, es decir, saber que los sistemas urbanos se hallan interconectados y complejamente relacionados con diversos ecosistemas en el planeta, sistemas que no presentan recursos infinitos, y que además conserva una gran biodiversidad, afectada por dichas alteraciones, menguando la vida planetaria.

El comportamiento del municipio de Toluca no es ajeno al comportamiento descrito anteriormente. Dentro de sus características principales es una zona donde se realizan actividades comerciales e industriales, que generan externalidades (como contaminación hídrica y atmosférica, cambio de uso de suelo, generación

de RSU). De las cuales son señaladas como las problemáticas en materia de agua, gestión de residuos, movilidad urbana y la falta de áreas verdes urbanas (Ayuntamiento de Toluca, 2022).

Específicamente, en la temática hídrica, se presentan problemas de gestión y distribución de agua, así como el abatimiento de pozos locales y la recarga deficiente de los mantos acuíferos, con una importante dependencia al el Sistema Cutzamala, el cual presenta déficits en su recarga y distribución (Orozco, 2022). Esta problemática se ve reflejada en lo señalado en el Programa Municipal de Cambio Climático (PROMACC), donde el acuífero del valle de Toluca presenta un déficit de  $85.60 \text{ hm}^3$ , resultado de una extracción de  $422.4 \text{ hm}^3$  y una recarga de  $336.80 \text{ hm}^3$  (Ayuntamiento de Toluca, 2022).

En la perspectiva energética, Toluca no cuenta con plantas de generación de energía, su energía es importada, la generación y consumo de energías renovables aún es muy baja en comparación a la consumida debido a una temprana transición tecnológica, presentando una dependencia energética (Ayuntamiento de Toluca, 2022).

La generación de residuos sólidos urbanos es de  $0.793 \text{ kg/per cápita}$  donde la gestión, recolección, separación y tratamiento son acciones que no se implementan de manera adecuada generando problemas ambientales, como la contaminación edáfica, las emisiones de GEI, principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ), la contaminación de cuerpos de agua, como ríos y arroyos, además, existe una clasificación escasa de los residuos mermando su reciclamiento (Rodríguez y Montesillo, 2017, García, 2021).

En el 2018, de acuerdo con el PROMACC, la emisión de GEI en el sector energía fue de  $5, 210.10 \text{ Gg}$  de  $\text{CO}_{2\text{eq}}$ , siendo el transporte y la industria manufacturera los mayores emisores de GEI (Ayuntamiento de Toluca, 2022).

Además, en el último informe de “Índice de Ciudades Sostenibles 2021” presentado por el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) (2022) hace mención que la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT) es una de las metrópolis que presenta una puntuación de 48.12 en el objetivo 11 de los ODS (Ciudades y comunidades sostenibles). Donde el promedio calculado fue de 50.23, posicionándose en el lugar 41 dentro de las 63 zonas metropolitanas estudiadas del país. Sin mencionar que en los últimos años ha sido una de las zonas con menor calidad de aire, colocándose como el segundo territorio más contaminado de México (Vilchis y Garrocho, 2018).

## Justificación

La sostenibilidad de las ciudades actualmente es un desafío que debe llevarse a cabo desde una visión más holística, contemplando las complejidades que estas contienen dentro de su sistema, y la importancia que cada subsistema contenido en ellas representa para lograr una armonía en su desarrollo y funcionamiento. Es por ello, que diversos autores a mitad del siglo pasado han sugerido atender el comportamiento de los sistemas urbanos desde una perspectiva ecológica, tomando en cuenta aspectos biológicos y fisicoquímicos, sumados a los aspectos sociales, con el objetivo de entender y englobar las diversas problemáticas urbanas, reconociendo los factores que originan dichos obstáculos ya que estos espacios humanos son principal pilar para poner en marcha el paradigma del desarrollo sostenible.

El estudio del metabolismo urbano se presenta como un trabajo con cualidades de esta índole, logrando esta analogía entre los asentamientos humanos y organismos vivientes, donde el proceso de la obtención de energía y desarrollo se origina a partir de entradas y salidas de recursos (y también productos) de dichos organismos, algo que también realizan las ciudades. Desde esta perspectiva, el metabolismo urbano amplía la visión de estudio, reduciendo las complejidades, logrando datos objetivos, medibles y cuantificables.

Además, dependiendo el enfoque y la metodología aplicada, esta herramienta permite identificar que tan eficiente está el territorio estudiado y cómo se puede llegar a trabajar en mejores políticas y decisiones a nivel gubernamental, industrial, empresarial, educativo y, por supuesto, ciudadano. Gracias a los parámetros evaluados es posible evaluar y complementar los indicadores de sostenibilidad, de manera científica y objetiva, pudiendo ser relevante para quien lo necesite, basados en los datos que genera la misma zona de estudio (Díaz, 2014).

Ante esto, cuantificar su metabolismo (entradas, salidas y los procesos internos de uso-consumo de energía y materiales) de la ciudad se vuelve indispensable, ya que con este método se puede identificar qué clase de recursos o servicios hacen que el municipio tenga conflicto para un desarrollo integral. Y con ello ir trabajando, diseñando acuerdos y estrategias que puedan ser implementadas de manera inteligente y eficiente, logrando un alcance deseado ofreciendo una solución a un plazo corto, mediano y largo (Céspedes y Morales, 2018).

Este tipo de estudio coadyuvará a la gestión de los recursos naturales que fluyen dentro de la capital mexicana incluyendo las dimensiones económicas y sociales, aportando una perspectiva distinta para

poder implementar una sostenibilidad integral, entendimiento la complejidad del sistema urbano y las consecuencias que este trae consigo.

## **Hipótesis y objetivos**

A continuación, se presenta la hipótesis y los objetivos del presente trabajo de investigación.

### **Hipótesis**

El municipio de Toluca presenta un metabolismo urbano acelerado e insostenible, teniendo un alto crecimiento en el consumo en agua, energía eléctrica y combustibles; así mismo, presenta altas emisiones de contaminantes atmosféricos, residuos sólidos urbanos y aguas residuales; esto causado al aumento de la población y el crecimiento de los asentamientos humanos, creando un impacto negativo en la esfera ambiental y social.

### **Objetivo general**

Evaluar el metabolismo urbano en el municipio de Toluca en el periodo 2010-2020 mediante un Análisis de Flujo de Materiales (AFM), con la finalidad de coadyuvar al diseño de estrategias integrales para impulsar la sostenibilidad.

### **Objetivos específicos**

1. Elaborar un marco conceptual sobre la sostenibilidad y el ecosistema urbanos para establecer una relación teórica dentro del metabolismo urbano.
2. Elaborar el marco de referencia para conocer el estado del arte relacionado con el metabolismo urbano.
3. Identificar los aspectos socioeconómicos y ambientales del municipio de Toluca mediante documentación académica y gubernamental para elaborar un diagnóstico esencial en el estudio del metabolismo urbano.
4. Construir una base de datos de consumo de energía eléctrica, combustibles y agua; igualmente de generación de aguas residuales, residuos sólidos urbanos y GEI para llevar a cabo el balance del metabolismo de manera estandarizada.
5. Evaluar el balance metabólico del municipio mediante la metodología de Análisis de Flujo de Materiales (AFM) con un modelo extendido del metabolismo mediante los datos estandarizados para correlacionarlos con las principales actividades económicas y los indicadores socioeconómicos con los procesos de transformación.

## Capítulo 1. Desarrollo sostenible y el metabolismo urbano.

El origen del modelo del desarrollo sostenible marcado en los años sesenta, creó una visión diferente de cómo las actividades humanas alteran el medio ambiente y su entorno. Con Rachel Carson como pionera en el tema ante el gran impacto de los agroquímicos con su libro “Primavera Silenciosa” (en 1962) hasta el “Informe Brundtland (Nuestro Futuro en Común)” (en 1987) por Gro Harlem Brundtland, son unos de los grandes antecedentes para el desarrollo sostenible. Actualmente, la Agenda 2030 (en 2015), con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), son las estrategias vigentes que se tiene para al fin lograr un desarrollo inclusivo, equitativo y viable. A través del tiempo, la sostenibilidad se ha enfocado en varias temáticas a través de diversas asambleas y reuniones globales, así mismo se han creado escuelas con diferentes enfoques de estudio, llegando a ser un tema que hoy en día es discutible.

Las actividades urbanas son temas que se encuentran dentro del estudio de la sostenibilidad, sobre todo por el impacto que tienen sobre la biósfera y en la misma sociedad. Debido al constante crecimiento poblacional y la rápida extensión urbana en el mundo, se generan externalidades y desigualdad en los países. Creando un extractivismo de los recursos naturales, contribuyendo a la alteración del medio ambiente y a la participación en el fenómeno del cambio climático (Delgado, 2014).

Sin embargo, dar solución a estas problemáticas no es sencillo ya que las comunidades urbanas son un *ecosistema*<sup>2</sup> que tiene interacciones *endosomáticas*<sup>3</sup> (internas) y *exosomáticas*<sup>4</sup> (externas), en continuo cambio, por lo que se tiene una organización dinámica *compleja*<sup>5</sup>.

Bajo este contexto, en este capítulo se analiza de manera cronológica la construcción del término *Desarrollo sostenible*, atendiendo los conceptos de “*Sostenibilidad urbana*” y “*Ecosistemas urbanos*”, tomando en cuenta la relación que existe con la *Teoría General de Sistemas*, debido a que las ciudades

---

<sup>2</sup>Bajo el contexto de esta investigación se toma en cuenta el concepto de Odum (1972) y Wills (1997). Donde el primero menciona que el ecosistema es “*la unidad que incluye a todos los organismos en un área determinada que interactúan con el ambiente físico, y por lo tanto el flujo de energía define de manera clara la estructura trófica, la diversidad biótica y los ciclos de materiales dentro del sistema*”. Mientras que el segundo lo define como “*la unidad que comprende a una comunidad (o comunidades) de organismos y su ambiente físico y químico, a cualquier escala (especificada), en la que hay flujos continuos de materia y energía*”.

<sup>3</sup> Tipo de energía que surge mediante la transformación metabólica de la energía alimenticia en energía muscular en el cuerpo, es este caso, energía proveniente de los insumos para funcionalidad de la ciudad (Allen, 2006).

<sup>4</sup>Tipo de energía que surge por la transformación de energía externa del cuerpo o sistema estudiado (Allen, 2006).

<sup>5</sup> Cualidad de lo que está compuesto de diversos elementos interrelacionados. De acuerdo con el Pensamiento complejo de Edgar Morin, la complejidad es definida como “*una gran cantidad de interacciones y de interferencias entre un gran número de unidades, pero además integra las incertidumbres, las indeterminaciones y los fenómenos aleatorios*” (Urteaga, 2010).

son subsistemas de otros sistemas (naturales y antropogénicos), responsables de los grandes cambios que se desarrollan en este.

De igual forma se aborda el concepto del *Metabolismo urbano*, sus métodos y enfoques, haciendo una analogía de las ciudades como organismos vivos para ayudar a describir y visualizar las múltiples relaciones y problemáticas urbanas mediante el estudio de los flujos de materia y energía que estas requieren. A través de esta herramienta es posible crear e implementar políticas ambientales con el fin de coadyuvar en la eficiencia de la ciudad y el camino a la sostenibilidad, en este caso el municipio de Toluca es la zona de estudio.

## **1.1 Antecedentes históricos del desarrollo sostenible**

Para lograr comprender y aplicar de manera correcta el modelo del desarrollo sostenible es importante analizar el origen de este. Entender los motivos, las problemáticas y los hechos históricos que acontecieron en la relación de sociedad-naturaleza ayuda a contextualizar no solo el modelo sino su propósito principal. Además, realizar una referencia de tales sucesos nos ilustra sobre la importancia y necesidad de hallar nuevas metodologías para lograr una sostenibilidad integral.

Comenzando en el año 1776, Adam Smith publicaría uno de los primeros documentos donde se presentaban estudios acerca de la sobreproducción industrial derivada del uso de la tecnología en dicho campo, titulado: “La riqueza de las naciones e investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones”, originando una corriente bajo la crítica naturalista a la destrucción de la naturaleza ocasionada por la revolución industrial, debido a una sociedad altamente consumista (Escobedo y Andrade, 2015).

En los comienzos del siglo XIX, David Ricardo y Thomas Malthus, estudiaron y analizaron la posibilidad de que el planeta no pudiese satisfacer las necesidades materiales humanas ante un crecimiento poblacional, generando un déficit en la capacidad de la Tierra para producir bienes económicos. Sin embargo, esto se vio opacado por el desarrollo de la revolución industrial y la alta oferta del petróleo (Escobedo y Andrade, 2015).

Durante, los siglos XIX y XX, se originaron movimientos y documentos llamados *naturalistas*, los cuales fueron destacables por el aporte conceptual e importante para el estudio del entorno natural, esto sentó las

bases para el desarrollo de la Ecología como ciencia, la cual sería esencial en los estudios próximos del ambiente y su relación con el hombre (Szabo, 2015).

En 1864, George Perkins Marsh cuestionó la idea de que los recursos de una nación eran inagotables, además, mostraba como el auge y la caída de las civilizaciones pasadas eran causados al uso intensivo o mal uso de sus suelos, suministros de agua y otros recursos. Bajo esto, sugirió la conservación, más no, la administración del planeta; mencionaba que más allá de una cuestión económica, se trataba de una cuestión ética (Szabo, 2015; Miller y Spoolman, 2019).

En 1866 se publicaría la obra “Morfología general de los organismos” por Ernest Haeckel, donde planteó el término *Ökologie* (Ecología), relacionándolo con una cuestión más administrativa, mencionando que “la ecología era el tratado sobre la economía (administración) de las interrelaciones de los seres vivos” (Robertson, 2021, Hassan, 2024). Posteriormente, el uso del concepto se desarrolló en las ciencias biológicas que la fueron definiendo como una ciencia que estudia las relaciones entre agentes bióticos (con vida) y abióticos (sin vida), con el lugar, hábitat o ambiente geográfico en donde se situarán (Di Salvo et al., 2009; Szabo, 2015).

En 1935, Arthur Tansley introduce el término de “ecosistema”. Basándose en los principios termodinámicos donde aplicó e incluyó los conceptos de “energía” y “sistema”. Posteriormente, Raymond Lindeman, en 1942, agregó el término de “cadena alimentaria” o “niveles tróficos”, refiriéndose a la nutrición de un ecosistema, donde los alimentos se metabolizan gracias a cada ser vivo, pudiendo llegar a ser energía necesaria para el desarrollo de cada nivel (Egerton, 2017; Robertson, 2021; Hassan, 2024).

En los 60’s Eugene Odum criticó el enfoque económico que se le asignaba a la ecología, ya que, de acuerdo con él, esto degradaba los ecosistemas. Por lo que propuso la aplicación de la ciencia y los principios éticos como solución a estas problemáticas. La visualización de Odum fue que la Tierra era una red de interconexiones de los ecosistemas. Esto condujo al estudio de las teorías del caos y de la complejidad en el campo de la ecología entre los 70 y 80’s (Winterhalder, 1994; Egerton, 2017; Robertson, 2021).

En el año de 1962 se darían las primeras bases del cuidado ambiental contra el desarrollo tecnológico y económico. Rachel Carson publicaría un libro llamado “La primavera silenciosa” en donde denunciaba a la producción agrícola intensiva, debido a la utilización de agroquímicos perjudiciales para la biodiversidad y la salud humana. Uno de ellos fue el plaguicida dicloro-difenil-tricloroetano (DDT) que era ampliamente utilizado en los cultivos, las tierras forestales, los bordes de las carreteras y los jardines

residenciales de Estados Unidos (Suárez y González, 2018; Miller y Spoolman, 2019; Robertson, 2021, Hassan, 2024).

El año de 1965 se crearía el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) actuando como catalizador, defensor, educador y facilitador para promover el uso racional de los recursos y la aplicación del desarrollo sostenible a nivel global. El programa inició trabajando en siete ejes: 1) cambio climático, 2) desastres y conflictos, 3) manejo de ecosistemas, 4) gobernanza ambiental, 5) productos químicos y desechos, 6) eficiencia de recursos y 7) medio ambiente bajo revisión (Escobedo y Andrade, 2015).

En 1972, se llevó a cabo la conferencia de Estocolmo sobre el medio ambiente humano, donde se discutió los problemas de contaminación y la relación con la lluvia ácida en el norte de Europa. Como resultados se creó la declaración de Estocolmo, en donde, se introduce la dimensión ambiental en la agenda política internacional como acondicionadora y limitadora del modelo tradicional el crecimiento económico, asimismo, se crearon las agencias nacionales de protección ambiental (IISD, 2012, Escobedo y Andrade, 2015).

Ese mismo año, el Club de Roma, a cargo del profesor Dennis Meadows, da a conocer el documento “Límites de crecimiento” o también llamado Informe Meadows el cual establece que de no atenuar el crecimiento económico, urbano e industrial se tendrían grandes problemas globales causando grandes irreversibilidades (IISD, 2012, Escobedo y Andrade, 2015).

En diciembre de 1983, la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD), establecida por la ONU, planteó el término de *sustentabilidad*, definiéndolo como: “El equilibrio que existe entre una comunidad y su medio para satisfacer sus necesidades” (Suárez y González, 2018). De tal forma, Sánchez, (2018) menciona, “la sustentabilidad emerge en el contexto de la globalización como la marca de un límite y el signo que reorienta el proceso civilizatorio de la humanidad, (...) como una opción al capitalismo depredador que explota tanto al trabajo humano como el trabajo de la naturaleza”.

De igual manera, Carreño (2015) argumenta que “la sustentabilidad es un proceso multidimensional, que implica cambios en las estructuras socioeconómicas, territoriales y ambientales, a efecto de elevar los niveles de vida de los habitantes y garantizar una relación armoniosa entre la sociedad y la naturaleza, entonces el territorio es el punto de convergencia de esta relación dialéctica; naturaleza y sociedad no son dos elementos separados, forman parte de esta unidad dialéctica”

Junto a esto también se crearían los principios de la sustentabilidad, los cuales estaban orientados a la dignificación de los seres vivos, incluyendo al ser humano, visualizando a todos como uno solo. Suárez y González, (2018) señalan los siguientes principios desde la perspectiva de la biosfera.

- 1) En la naturaleza todo se recicla y nada se acumula.
- 2) El desarrollo de los organismos se basa en el uso de recursos naturales renovables y en el flujo de la energía solar.
- 3) La biosfera es una coevolución de todos los seres vivos en la que estos tienden a formar paulatinamente nuevos niveles de organización, que sustenten una mejor funcionalidad.

En 1987, ya con la definición de sustentabilidad, se da a conocer el documento “Nuestro Futuro Común”, o mejor conocido como Informe Brundtland, que daría origen al término que hoy en día es uno de los temas centrales para la búsqueda del equilibrio entre la sustentabilidad y producción: El desarrollo sostenible (Seghezzeo, 2009).

Esta nueva visión tiene por objetivo lograr que las actividades económicas aprovechen los bienes que ofrece la naturaleza sin que esto vaya en detrimento del medio ambiente y de los recursos que necesitarán las generaciones futuras. Plantea reducir al mínimo los efectos negativos de la actividad humana, ya sea en el consumo de los recursos como en el control de los residuos generados, de manera que la propia naturaleza pueda asimilarlos y degradarlos sin causar daños a los organismos (Camacho, 2009).

Un año después de crearse el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) establecido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés) y la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés) con el objetivo de esclarecer el fenómeno del cambio climático, entendiendo de qué manera impacta a nivel social y económico, así como aportar estrategias y elementos de inclusión para futuras convenciones sobre el clima (IPCC, 2024)

En 1992, se llevaría a cabo en Río de Janeiro la Cumbre de la Tierra, con la participación de la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMMUCC). Este instrumento jurídico se volvería esencial contra la lucha del cambio climático. Se definieron los compromisos asumidos por los países industrializados para reducir las emisiones de los GEI, como responsables del calentamiento global (Escobedo y Andrade, 2015).

Posteriormente, en 1997, se realizaría el protocolo de Kyoto sobre el cambio climático, el cual mencionaba los mecanismos del mercado para desarrollo de proyectos de reducción de emisiones. Su objetivo principal fue la reducción global de las emisiones de GEI (Escobedo y Andrade, 2015).

En el año 2002, la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (WSSD, por sus siglas en inglés) (llamada Rio+10) era realizada en Johannesburgo, Sudáfrica. Algunos de los acuerdos fueron la reducción de personas sin accesos agua potable, la biodiversidad y los recursos pesqueros y objetivos para promover las energías renovables. Debido a que Estados Unidos no ratificó el protocolo de Kyoto provocó el fracaso de la cumbre (Escobedo y Andrade, 2015, Mensah, 2019).

Diez años después, en 2012, la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (UNCSD, por sus siglas en inglés), o también llamada Rio+20, tuvo dos temas importantes bajo el contexto del desarrollo sostenible: 1) Economía verde y 2) el desarrollo de un marco institucional. Estableciéndose la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente con el objetivo de implementar prioridades para la elaboración de políticas ambientales globales y el desarrollo del derecho ambiental internacional. Se propone la creación de nuevos objetivos enfocados al desarrollo sostenible para diversos sectores globales para el año 2015 (Mensah, 2019).

En el 2015, se llevó a cabo la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (UNSSD, por sus siglas en inglés), con la creación de la Agenda 2030, donde se establecen los nuevos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

## **1.2 Desarrollo sostenible**

Establecer un marco conceptual del desarrollo sostenible permitirá esclarecer el propósito final del metabolismo urbano, el cual es desarrollar un estudio integral y holístico, con la finalidad de atenuar la complejidad natural de los ecosistemas urbanos para consolidar una sostenibilidad. Analizar solamente los flujos de materia y energía de un sistema permiten conocer el comportamiento y la condición de dicho sistema, no obstante, conocer los motivos de dicha condición permite detectar y resolver procesos que afectan al equilibrio de las ciudades.

De acuerdo con Mensah (2019), citando a Cerin (2006), Abubakar (2017) y Evers (2018), enfatiza que el desarrollo sostenible debe ser un concepto central dentro de la agenda política, para el desarrollo global.

Debe estar basado en un principio organizador para alcanzar los objetivos de desarrollo humano, manteniendo y conservando la biocapacidad de los sistemas naturales, para la proporción de recursos y servicios ecosistémicos, debido a que la economía y la sociedad dependen de los mismos. Es decir, debe ser un camino que indique cómo la sociedad puede interactuar con el medio ambiente, y satisfacer sus necesidades, sin comprometer los recursos naturales, presentes y futuros.

Por esto, en 1987, la CMMAD, mediante el Informe Nuestro futuro común, presentado por la Dra. Gro Harlem Brundtland, se da a conocer la definición de desarrollo sostenible, como un proceso en el que se satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Escobedo y Andrade, 2015; Carreño, 2018, Sánchez, 2018, Mensah, 2019).

No obstante, este término recibiría diversas críticas, una de ellas, menciona Sánchez (2018), citando a Bermejo (2010), es que dicho concepto se presenta etimológicamente contradictorio, resultando ser un *oxímoron*<sup>6</sup>, es decir, al tener la palabra “desarrollo” se hace alusión a un crecimiento ilimitado, que a través del tiempo es insostenible. Haciendo que el término contenga cierta ambigüedad, ya que se establece desde una perspectiva economicista, donde los recursos naturales y humanos se cosifican, careciendo una ética y una visión desde la sustentabilidad fuerte, la cual es dignificar cada ente que se encuentra en el entorno natural y social.

Ahora bien, a pesar de que los términos de sustentabilidad y desarrollo sostenible son utilizados como sinónimos, es importante señalar la diferencia entre ellos. De acuerdo con Mensah (2019), citando a Diesendorf (2000), la sustentabilidad es la meta o el objetivo de un proceso llamado desarrollo sostenible. De igual forma, Gray (2010) menciona que la sustentabilidad hace referencia a un estado, sin embargo, el desarrollo sostenible se refiere al proceso para alcanzar ese estado.

De manera precisa y de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) (2024) el desarrollo sostenible, puede definirse específicamente de la siguiente manera:

*“El proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y*

---

<sup>6</sup> De acuerdo con la Real Academia Española, proviene del griego *oxímoron*, que en latín significa *contradictio in terminis* y se refiere a la combinación, en una misma estructura sintáctica, de dos palabras o expresiones de significado opuesto que originan un nuevo sentido (Sánchez, 2018).

*aprovechamiento de los recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras”*

Aunado a esto, el desarrollo sostenible generalmente se compone y se estudia desde tres dimensiones o esferas: la económica, la social y la ambiental, con el fin de hacer una relación entre ellos de manera multidisciplinaria, reflexionando en que cada uno puede afectar al otro, logrando que exista una equivalencia entre ellos (Carreño, 2018; Mensah, 2019). De acuerdo con Suárez y González (2018) se describen de la siguiente manera:

- **Dimensión económica.** En el escenario económico, todo proceso o actividad económicamente activo debe demostrar su sustentabilidad ecológica, la cual se define como la capacidad de un sistema (o un ecosistema) de mantener su estado en el tiempo. Conservando para ello los parámetros de volumen, tasas de cambio y circulación invariables, o haciendo fluctuar dichos parámetros cíclicamente en torno a valores promedio.
- **Dimensión Social.** Desde un punto de vista social, los agentes sociales y las instituciones desempeñan un papel muy importante en el logro del desarrollo sostenible a través de una correcta organización social, que permita el desarrollo duradero y de las técnicas adecuadas, como las inversiones en capital humano o, por ejemplo, el incremento de la cohesión social.
- **Dimensión ambiental o natural.** Esta dimensión o escenario surge de la premisa que sostiene que el futuro del desarrollo depende de la capacidad que tengan los actores institucionales y los agentes económicos para conocer y manejar, a largo plazo, los recursos naturales renovables y su medio ambiente. Desde esta perspectiva, es indispensable prestar especial atención a la biodiversidad, principalmente a los recursos naturales indispensables para la vida en la Tierra, como el suelo, el agua y la flora, que son los factores que en un plazo menor determinan la capacidad productiva de determinados espacios.

Por otro lado, Carreño (2018) menciona que los objetivos de la sustentabilidad atraviesan varias áreas o dimensiones, semejantes a los pilares del desarrollo sostenible, las cuales son: 1) Económica, 2) Ecológica, 3) Social, 4) Político y 5) Tecnológico/científico (Tabla 1).

**Tabla 1. Objetivos de la sustentabilidad.**

<b>Económico</b>	<b>Ecológico</b>	<b>Social</b>	<b>Político</b>	<b>Tecnológico</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generar riqueza en forma y cantidades adecuadas.</li> <li>• Redistribuir la riqueza.</li> <li>• Fomentar un intercambio equitativo de recursos entre los diferentes sectores sociales.</li> <li>• Hacer un uso eficiente de los recursos.</li> <li>• Aprovechar eficientemente los recursos ambientales.</li> <li>• Reducir la dependencia de recursos no renovables.</li> <li>• Descentralizar y diversificar la capacidad productiva.</li> <li>• Fortalecer la actividad económica equilibrada, a nivel local y regional.</li> <li>• Desafiar la globalización de la economía y promover su mundialización.</li> <li>• Luchar por la reducción de la dependencia económica internacional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantener la diversidad de ecosistemas, diversidad de especies y diversidad genética.</li> <li>• Mantener la permanencia y equilibrio dinámico de los ecosistemas.</li> <li>• Garantizar el funcionamiento de los ciclos ecológicos.</li> <li>• Adaptarse a los ritmos de la naturaleza.</li> <li>• Reaccionar adecuadamente a las características esenciales de la naturaleza.</li> <li>• Regirse por el criterio de mínima perturbación de la naturaleza.</li> <li>• Mantener niveles adecuados de austeridad.</li> <li>• Mantener niveles adecuados de calidad y disponibilidad de bienes como aire, el agua, el suelo, el clima y la energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejercer responsablemente la libertad humana.</li> <li>• Garantizar la autodeterminación de la sociedad y la independencia de los pueblos.</li> <li>• Adoptar valores que generen comportamientos armónicos con la naturaleza y entre los seres humanos.</li> <li>• Mantener un adecuado nivel de vida en la población.</li> <li>• Mantener niveles satisfactorios de educación, capacitación, y concientización.</li> <li>• Garantizar la equidad entre el hombre y la mujer.</li> <li>• Facilitar la creación y diversidad cultural.</li> <li>• Promover solidaridad entre personas y comunidades.</li> <li>• Garantizar espacios laborales dignos y estables.</li> <li>• Facilitar la inserción y reinserción laboral a los sectores discapacitados.</li> <li>• Combatir los procesos de empobrecimiento.</li> <li>• Potenciar la organización de la sociedad civil y la participación ciudadana.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar estructuras democráticas en las comunidades y regiones.</li> <li>• “Empoderar” comunidades y sectores vulnerables.</li> <li>• Reducir la dependencia de municipios, países y regiones.</li> <li>• Redistribuir el poder económico y político.</li> <li>• Descentralizar la toma de decisiones.</li> <li>• Fomentar relaciones de solidaridad entre comunidades y regiones.</li> <li>• Buscar la desaparición de la cultura militarista.</li> <li>• Establecer un marco jurídico que garantice el respeto a las personas el ambiente.</li> <li>• Adoptar y respetar las convenciones internacionales.</li> <li>• Realizar planes municipales y nacionales integrales.</li> <li>• Transformar la apropiación privada de los medios de producción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir al mínimo las distancias entre la localización procesamiento, y uso de los recursos, así como entre la generación y el procesamiento de los desechos.</li> <li>• Reducir las necesidades de transporte y promover medios de transporte no contaminantes.</li> <li>• Socializar a ciencia y la tecnología.</li> <li>• Difundir ampliamente el saber y descentralizar que quehacer científico y tecnológico.</li> <li>• Promover la utilización de fuentes renovables de energía.</li> <li>• Desalentar el uso de tecnología dañina o peligrosa.</li> <li>• Promover tecnología que sea apropiable por sectores de escasos recursos económicos.</li> <li>• Recuperar saberes y quehaceres tecnológicos tradicionales.</li> <li>• Facilitar el acceso a la información.</li> </ul>

Fuente: Con base en Carreño (2018).

### 1.2.1 Agenda 2030

En el año 2000, la Asamblea General de la ONU, aprobaría la Declaración del Milenio, (Cumbre del Milenio, Nueva York) convergiendo en los llamados Objetivos del Desarrollo del Milenio (ODM). Las principales temáticas que se abordaban eran erradicar la pobreza y el hambre, educación primaria universal, igualdad entre los géneros, reducción en la mortalidad infantil y materna, combatir enfermedades mortales (como VIH/SIDA), garantizar un medio ambiente sano y llevar a cabo una alianza global para el desarrollo, con un plazo hasta el 2015 (CEPAL,2014; OMS, 2018; OMC, s/f; SDGF, s/f).

El logro más significativo de los ODM fue la reducción de las tasas de pobreza y hambruna a la mitad, sin embargo, los esfuerzos de estos objetivos no lograron el alcance deseado, existiendo desigualdades en su cumplimiento, dejando varios huecos en el desarrollo y mejoramiento de los temas antes mencionados, empero, estos objetivos sentarían las bases para los futuros Objetivos de desarrollo Sostenible (ODS) (Dubois, 2006; SDGF, s/f).

Una vez cumplido el plazo de los ODM, en 2015, la Asamblea General de la ONU aprobaría una nueva estrategia para implementar el desarrollo sostenible. En 2016, se adoptaría la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible por los 193 estados miembros de las Naciones Unidas, la cual se constituye por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Figura 1), los cuales tendrían como meta establecer un entorno justo, equitativo, saludable y dándole la importancia al entorno natural y social, así como a la mitigación de los impactos en las actividades antropogénicas (ONU, 2015).

Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.



Fuente: ONU (2015).

Estos 17 ODS están constituidos por 169 metas que se encuentran fuertemente relacionadas entre sí, y de manera indivisible abarcan las dimensiones económica, social y ambiental. Uno de los objetivos más importantes es erradicar la pobreza mundial, ya que como lo menciona la ONU (2015) de no dar resolución a esta problemática global es difícil llegar a un desarrollo sostenible equitativo y justo, por lo que resulta importante que los gobiernos de cada nación implementen estas estrategias de acuerdo con sus necesidades y características culturales y sociales, promoviendo su soberanía.

Asimismo, los ODS se ubican dentro de 5 esferas o dimensiones, también denominadas las 5 p's: Personas, Prosperidad, Planeta, Participación colectiva y Paz, incorporando estas dos últimas dimensiones con el propósito de adoptar y establecer una sostenibilidad genuina. Básicamente estos ODS abarcan temas como: Poner fin a la pobreza mundial, erradicar el hambre, lograr una seguridad alimentaria, garantizar una vida sana y educación de calidad, lograr una igualdad de género, asegurar el acceso y la calidad del agua, disponer de energía limpia y asequible, promover el crecimiento sostenido, protección en los ecosistemas y la biodiversidad, promocionar y establecer ciudades sostenibles, promover la paz y facilitar el acceso a la justicia, pero sobre todo lograr la participación de cada grupo sociales, instituciones y naciones para garantizar cada uno de los ODS (ONU, 2015).

Sin embargo, hoy en día, el cumplimiento de estos objetivos representa un reto para los gobiernos y las autoridades. Algunos de los factores que obstaculizan estas metas son los efectos del cambio climático, los conflictos bélicos, los efectos post-COVID reflejando y revelando la fragilidad del sistema social y económico actual. De acuerdo con el último informe de los ODS, edición 2023, de las metas establecidas en la Agenda 2030, la mitad está muy lejos de ser cumplidas, y más del 30% no han experimentado ningún avance o, por otro lado, han experimentado un retroceso respecto al 2015.

De acuerdo con Amina Mohammed, Vicesecretaria General de las Naciones Unidas y la Presidenta del Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, ante el contexto latinoamericano, las economías enfrentan un bajo crecimiento y vulnerabilidades debido al cambio climático y la situación post pandemia, donde el alto costo de los alimentos e insumos aumentan la inseguridad alimentaria, la mala nutrición y la desigualdad, sin mencionar los efectos adversos de los desastres naturales (ONU, 2023).

En México, una manera de medir el avance de los ODS se ha dado mediante el Índice de Ciudades Sostenibles (ICS), que en 2021 daba como resultado que las zonas metropolitanas del país habían obtenido un promedio de 56.06 puntos, tan solo 2.88 puntos más respecto a los resultados del 2015 (53.18 puntos). Al final se concluye que, aunque existe un avance este no es claro y significativo para alcanzar dichas metas para el año 2030. Además, de que algunos ODS han mostrado retroceso como el ODS 13 (Acción por el clima), ODS 1 (Fin de la pobreza) y ODS 3 (Salud y bienestar), enfatizando la cooperación y unión de los gobiernos, academia, sector privado y organizaciones civiles para su avance y logro (IMCO, 2022).

### **1.2.2 ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.**

Unas de las estrategias enfocada en la sostenibilidad urbana es el ODS número 11 que tiene por objetivo: “Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles” (Olvera y Olvera, 2018), este se encuentra constituido por las metas mostradas en la Tabla 2. Sin embargo, el cumplimiento de estas metas no es aislado, es necesario que se desarrolle en conjunto con los 16 ODS restantes, ya que cada objetivo se encuentra estrechamente relacionado uno con el otro (Tabla 3).

**Tabla 2. Metas del ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.**

<b>Meta</b>	<b>Descripción</b>
<b>11.1</b>	Asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles. Mejorar los barrios marginales
<b>11.2</b>	Proporcionar accesos a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad.
<b>11.3</b>	Aumentar la urbanización, inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativa, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países.
<b>11.4</b>	Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo.
<b>11.5</b>	Reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo hincapié en la protección de los pobres y las personas en situación de vulnerabilidad.
<b>11.6</b>	Reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad de aire y la gestión de desechos municipales y de otro tipo.
<b>11.7</b>	Proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y con discapacidad.
<b>11.7a</b>	Apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales fortaleciendo la planificación del desarrollo nacional y regional.
<b>11.7b</b>	Aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia a los desastres, y desarrollar y proponer en práctica.
<b>11.7c</b>	Proporcionar apoyo a los países menos desarrollados, incluso mediante asistencia financiera y técnica para que puedan construir edificios sostenibles y resilientes utilizando materiales locales.

Fuente: Elaboración propia en base en Olvera y Olvera (2018).

**Tabla 3. Relación de los ODS con el ODS 11.**

<b>Objetivo</b>	<b>Acciones relacionadas con el ODS 11</b>	<b>Metas relacionadas</b>
1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas y en todo el mundo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garantizando el acceso a la vivienda, el transporte sostenible y servicios básicos adecuados.</li> <li>• Promoviendo la inclusión, el uso eficiente de los recursos y la resiliencia ante el cambio climático.</li> </ul>	<p><b>1.1:</b> Erradicar para todas las personas y en todo el mundo la pobreza extrema.</p> <p><b>1.2:</b> Reducir al menos a la mitad la proporción de hombres, mujeres y niños de todas las edades que viven en la pobreza.</p> <p><b>1b:</b> Crear marcos normativos sólidos sobre la base de estrategias de desarrollo en favor de los pobres que tengan en cuenta las cuestiones de género.</p>
2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyando los vínculos urbano-rurales y fortaleciendo la planificación del desarrollo nacional y regional.</li> <li>• Construyendo edificios sostenibles y resilientes utilizando materiales locales promoviendo mercados y oportunidades locales.</li> </ul>	<p><b>2.2:</b> Poner fin a todas las formas de malnutrición.</p> <p><b>2.3:</b> Duplicar la productividad agrícola y los ingresos de los productores de alimentos en pequeña escala.</p>
3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduciendo el impacto ambiental negativo de las ciudades, prestando especial atención a la calidad del aire.</li> <li>• Apoyando los vínculos ambientales positivos entre zonas urbanas, periurbanas y rurales.</li> </ul>	<p><b>3.1:</b> Reducir la tasa mundial de mortalidad materna.</p> <p><b>3.2:</b> Poner fin a las muertes evitables de recién nacidos y de niños menores de 5 años.</p> <p><b>3.6:</b> Reducir a la mitad el número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tráfico en el mundo.</p> <p><b>3.7:</b> Garantizar el acceso universal a los servicios de salud sexual y reproductiva,</p>
4. Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construyendo instalaciones educativas inclusivas y que ofrezcan entornos de aprendizaje seguros.</li> <li>• Asegurando el acceso gratuito, igualitario y de calidad a la educación primaria y secundaria.</li> </ul>	<p><b>4.1:</b> Asegurar que todas las niñas y todos los niños terminen la enseñanza primaria y secundaria</p> <p><b>4.2:</b> Asegurar que todas las niñas y todos los niños tengan acceso a servicios de atención y desarrollo en la primera infancia y educación preescolar de calidad.</p> <p><b>4.3:</b> Asegurar el acceso igualitario de todos los hombres y las mujeres a una formación técnica, profesional y superior de calidad.</p> <p><b>4.4:</b> Aumentar considerablemente el número de jóvenes y adultos que tienen las competencias necesarias.</p> <p><b>4.5:</b> Eliminar las disparidades de género en la educación y asegurar el acceso igualitario a todos los niveles de la enseñanza y la formación profesional.</p> <p><b>4.6:</b> Asegurar que todos los jóvenes y una proporción considerable de los adultos estén alfabetizados y tengan nociones elementales de aritmética.</p> <p><b>4.7:</b> Asegurar que todos los alumnos adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible.</p>

Continuación Tabla 3.

<p>5. Lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y las niñas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporcionando acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles. para todas las personas.</li> <li>• Involucrando a las mujeres en la planeación y gestión participativa de las decisiones de ciudad.</li> </ul>	<p><b>5.1:</b> Poner fin a todas las formas de discriminación contra todas las mujeres y las niñas en todo el mundo.</p> <p><b>5.2:</b> Eliminar todas las formas de violencia contra todas las mujeres y las niñas en los ámbitos público y privado.</p> <p><b>5.5:</b> Asegurar la participación plena y efectiva de las mujeres y la igualdad de oportunidades de liderazgo a todos los niveles decisorios en la vida política, económica y pública.</p> <p><b>5a:</b> Empezar reformas que otorguen a las mujeres igualdad de derechos a los recursos económicos, así como acceso a la propiedad y al control de la tierra y otros tipos de bienes, los servicios financieros, la herencia y los recursos naturales, de conformidad con las leyes nacionales.</p> <p><b>5b:</b> Mejorar el uso de la tecnología instrumental, en particular la tecnología de la información y las comunicaciones, para promover el empoderamiento de las mujeres.</p>
<p>6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garantizando el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible.</li> <li>• Implementando servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos, prestando especial atención a las personas en situaciones de vulnerabilidad.</li> </ul>	<p><b>6.1:</b> Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.</p> <p><b>6.2:</b> Lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos.</p>
<p>7. Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garantizando el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.</li> <li>• Aumentando la urbanización sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión integradas de los asentamientos humanos.</li> </ul>	<p><b>7.1:</b> Garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.</p>
<p>8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impulsando la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación y el crecimiento de pequeñas y medianas empresas.</li> <li>• Promoviendo políticas orientadas al desarrollo que apoyen las actividades productivas.</li> </ul>	<p><b>8.1:</b> Mantener el crecimiento económico per cápita de conformidad con las circunstancias nacionales.</p> <p><b>8.2:</b> Lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación.</p> <p><b>8.3:</b> Promover políticas orientadas al desarrollo que apoyen las actividades productivas, la creación de puestos de trabajo decentes, el emprendimiento, la creatividad y la innovación, y fomentar la formalización y el crecimiento de las microempresas y las pequeñas y medianas empresas.</p> <p><b>8.8:</b> Proteger los derechos laborales y promover un entorno de trabajo seguro y sin riesgos para todos los trabajadores.</p>

Continuación Tabla 3.

<p>9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilitando el desarrollo de infraestructuras sostenibles y resilientes en los países en desarrollo.</li> <li>• Desarrollando infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad.</li> </ul>	<p><b>9.1:</b> Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano.</p> <p><b>9.a:</b> Facilitar el desarrollo de infraestructuras sostenibles y resilientes en los países en desarrollo mediante un mayor apoyo financiero, tecnológico y técnico.</p>
<p>10. Reducir la desigualdad en los países y entre ellos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promoviendo la inclusión social, económica y política de todas las personas mediante legislaciones, políticas y medidas adecuadas.</li> <li>• Adoptando políticas, especialmente fiscales y de protección social.</li> </ul>	<p><b>10.1:</b> Lograr progresivamente y mantener el crecimiento de los ingresos del 40% más pobre de la población.</p> <p><b>10.2:</b> Potenciar y promover la inclusión social, económica y política de todas las personas.</p> <p><b>10.3:</b> Garantizar la igualdad de oportunidades y reducir la desigualdad de resultados.</p> <p><b>10.4:</b> Adoptar políticas, especialmente fiscales, salariales y de protección social, y lograr progresivamente una mayor igualdad.</p>
<p>12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestionando ecológicamente los desechos a lo largo de su ciclo de vida y reduciendo significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo.</li> <li>• Reduciendo la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.</li> </ul>	<p><b>12.5:</b> Reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización</p>
<p>13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortaleciendo la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales.</li> <li>• Mejorando la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.</li> </ul>	<p><b>13.1:</b> Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.</p> <p><b>13.2:</b> Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.</p> <p><b>13.3:</b> Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.</p>
<p>14. Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestionando adecuadamente los residuos que generan las ciudades y las aguas residuales.</li> <li>• Reduciendo el uso de productos que contaminan los ríos y los mares.</li> </ul>	<p><b>14.1:</b> Prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, en particular la producida por actividades realizadas en tierra.</p> <p><b>14.2:</b> Gestionar y proteger sosteniblemente los ecosistemas marinos y costeros para evitar efectos adversos importantes.</p> <p><b>14.c:</b> Mejorar la conservación y el uso sostenible de los océanos y sus recursos aplicando el derecho internacional reflejado en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar.</p>

Continuación Tabla 3.

<p>15. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luchando contra la desertificación, rehabilitando las tierras y suelos degradados, recuperando los bosques degradados e incrementando la forestación.</li> <li>• Adoptando medidas para reducir la degradación de los hábitats naturales y deteniendo la pérdida de la diversidad biológica.</li> </ul>	<p><b>15.1:</b> Asegurar la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y sus servicios.</p> <p><b>15.2:</b> Promover la puesta en práctica de la gestión sostenible de todos los tipos de bosques, detener la deforestación, recuperar los bosques degradados y aumentar considerablemente la forestación y la reforestación a nivel mundial.</p> <p><b>15.3:</b> Luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados.</p> <p><b>15.5:</b> Adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de biodiversidad y proteger las especies amenazadas y evitar su extinción.</p>
<p>16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribuyendo a la reducción de toda forma de violencia, el maltrato y explotación infantil y promoviendo el estado de derecho y la igualdad de acceso a la justicia.</li> <li>• Creando instituciones eficaces y transparentes y reduciendo la corrupción.</li> </ul>	<p><b>16.1:</b> Reducir significativamente todas las formas de violencia y las correspondientes tasas de mortalidad en todo el mundo.</p> <p><b>16.2:</b> Poner fin al maltrato, la explotación, la trata y todas las formas de violencia y tortura contra los niños.</p> <p><b>16.3:</b> Promover el estado de derecho en los planos nacional e internacional y garantizar la igualdad de acceso a la justicia para todos.</p> <p><b>16.5:</b> Reducir considerablemente la corrupción y el soborno en todas sus formas.</p> <p><b>16.6:</b> Crear a todos los niveles instituciones eficaces y transparentes que rindan cuentas.</p>
<p>17. Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fomentando y promoviendo la constitución de alianzas eficaces en las esferas pública, público-privada y de la sociedad civil.</li> <li>• Elaborando indicadores que permitan medir los progresos en materia de desarrollo sostenible y complementen el producto interno bruto.</li> </ul>	<p><b>17.8:</b> Poner en funcionamiento el banco de tecnología y el mecanismo de apoyo a la creación de capacidad en materia de ciencia, tecnología e innovación para los países menos adelantados y aumentar la utilización de tecnologías instrumentales, en particular la tecnología de la información y las comunicaciones.</p> <p><b>17.17:</b> Fomentar y promover la constitución de alianzas eficaces en las esferas pública, público-privada y de la sociedad civil.</p> <p><b>17.19:</b> Aprovechar las iniciativas existentes para elaborar indicadores que permitan medir los progresos en materia de desarrollo sostenible y complementen el producto interno bruto, y apoyar la creación de capacidad estadística en los países en desarrollo.</p>

Fuente: Elaboración propia con base en ONUHABITAT (2022).

### 1.3 Sostenibilidad Urbana

En nuestros días uno de los mayores problemas que existen es la acelerada urbanización de los diferentes países del mundo, esto se debe a que los asentamientos humanos son unos de los principales factores que afectan e impactan al medio ambiente. Desde el cambio de uso de suelo, la contaminación atmosférica, auditiva, lumínica, hídrica y edáfica, hasta la utilización excesiva de recursos naturales y minerales para su desarrollo, crecimiento y sustento, creando desequilibrio, desigualdad, deterioro ambiental, pérdida de biodiversidad dañando la salud ambiental y humana (Ornés, 2014).

En 1976, la ONU, en la primera conferencia de Vancouver sobre Asentamientos Humanos (también nombrada Hábitat I), daría a conocer la existencia de las grandes migraciones que había hacia las ciudades. Creando un movimiento social en todo el mundo, generando desigualdades en las condiciones de vida, como: la segregación social, discriminación racial, desempleo agudo, analfabetismo, enfermedad y pobreza, incluyendo la ruptura de las relaciones sociales y los valores culturales tradicionales, además de la creciente degradación de los recursos de aire, agua y tierra que sustentan la vida (ONU, s/f).

Como resultado, se crearía el Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) en 1978, con el objetivo de promover pueblos y ciudades sostenibles desde el punto de vista social y ambiental. Fomentando ciudades y otros asentamientos humanos bien planificados, bien gobernados y eficientes, con viviendas adecuadas, infraestructura y acceso universal al empleo y servicios básicos como agua, energía y saneamiento. (ONU, 1976).

Posteriormente, en 1996, se llevaría a cabo en Estambul, Turquía, la segunda conferencia de las Naciones Unidas sobre los Asentamiento Humanos (Hábitat II), con el objetivo primordial de abordar temas como: 1) viviendas adecuadas para todos y 2) asentamientos humanos viables en un mundo cada vez más urbanizado, basándose en los resultados mostrados por la conferencia Internacional sobre Población y Desarrollo (realizado en El Cairo, 1994), donde se realizó la estabilización del crecimiento de la población mundial una prioridad (ONU, s/f).

El argumento principal fue que casi la mitad de la población mundial habitaba en zonas urbanas, las proyecciones para el 2025 pronosticaban que cerca de dos tercios de seres humanos poblarían las ciudades. Además, se contabilizaba que más de mil millones de personas en el mundo carecían de una vivienda adecuada y más de 100 millones carecían de vivienda (ONU, s/f).

Después de 20 años, en 2016, se realizaría la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III), en Quito, Ecuador. El crecimiento de la población en áreas urbanas fue el punto principal ya que las proyecciones para el año 2050 eran de que la población mundial casi se duplicaría, haciendo el fenómeno de la urbanización uno de los más importantes para el siglo XXI, sin embargo, se promovería el potencial de innovación de las ciudades para enfrentar los desafíos que este fenómeno implicaba (ONU, s/f).

Debido a ello, era necesario implementar y desarrollar una urbanización sostenible, estableciendo un nuevo paradigma urbano. Con esta conferencia se adoptaría la Nueva Agenda Urbana y la “Declaración de Quito sobre Ciudades y Pueblos, asentamientos humanos viables para todos”. Es importante mencionar que Hábitat III, fue la primera cumbre después de la adopción de la Agenda 2030, por lo que se abrió la oportunidad de discutir la planificación, gestión y administración de las ciudades y pueblos para cumplir su función como impulsores del desarrollo sostenible, coadyuvando el logro de éste y mitigando acciones que aceleran el cambio climático (ONU, s/f).

## **Nueva Agenda Urbana**

Este documento establecería una visión compartida para lograr un futuro urbano más sostenible, con una planificación y gestión urbana bien desarrollada, que podría ser una herramienta para ejecutar el desarrollo sostenible en países en desarrollo y los desarrollados.

Mediante esta Nueva Agenda, los Estados miembros se comprometían en cambiar el paradigma urbano con tres postulados:

- Reorientar la manera de planificar, financiar, desarrollar, administrar y gestionar las ciudades y los asentamientos humanos, reconociendo que el desarrollo urbano y territorial sostenible es un elemento indispensable para alcanzar el desarrollo sostenible y la prosperidad para todos.
- Reconocer la función rectora de los Gobiernos nacionales, según proceda, en la definición y aplicación de las políticas urbanas inclusivas y eficaces y leyes para el desarrollo urbano sostenible, así como las contribuciones igualmente importantes de los gobiernos subnacionales y locales, de la sociedad civil y otros interesados pertinentes, de manera transparente y responsable.
- Adoptar enfoques de desarrollo urbano y territorial sostenible e integrados, centrados en las personas, que tengan en cuenta la edad y el género, mediante la aplicación de políticas, la

formulación de estrategias, la creación de capacidad y la adopción de medidas a todos los niveles, sobre la base de factores impulsores del cambio fundamentales.

### 1.3.1 Sostenibilidad en las ciudades

A pesar de este contexto cronológico, el término de sostenibilidad urbana, de acuerdo con Pallathadka et al. (2023), aún tiene diversas variaciones en su significado que dependen del enfoque, la escala, el contexto ambiental, geográfico, político, y socioeconómico del territorio que se desee aplicar. Sin embargo, este puede englobar un compendio de ideas que ofrece oportunidades en el desarrollo económico, progreso y justicia social, sin dejar pasar la conservación ambiental.

De acuerdo con Stanners y Bourdeau (1995) una ciudad sostenible es aquella que contiene diversos factores como “minimizar el consumo de espacio y recursos naturales, racionalizar y gestionar eficientemente los flujos urbanos, proteger la salud de la población urbana, garantizar la igualdad de acceso a los recursos y servicios, así como, mantener la diversidad cultural y social”.

Citando a Wu (2014) la sostenibilidad urbana es “un proceso adaptativo de facilitación y mantenimiento de un ciclo virtual entre los servicios ecosistémicos y el bienestar humano a través de acciones ecológicas, económicas y sociales concentradas en respuesta a los cambios dentro y fuera del paisaje urbano”.

De acuerdo con Carreño y Alonso (2018) es “aquella por la que las ciudades pueden ser ambientalmente sustentables en un tiempo largo, articulando las ideas de la economía y ecología, con el fin de promover políticas públicas urbanas bajo la premisa de que la normalización de la producción de la ciudad proviene de un urbanismo sostenible”.

Por otro lado, Céspedes y Morales (2018), con un enfoque “metabólico”, proponen que la ciudad sostenible es “aquella que puede sostenerse en el tiempo, minimizando el consumo de energía fósil y otros recursos materiales, explorando y maximizando los flujos locales a través de la recirculación y el reciclaje, el mantenimiento de los recursos almacenados y la reducción de la generación de residuos”.

La Agencia Ambiental Europea (2023), define la sostenibilidad urbana como “un proceso adaptativo que aborda cuestiones económicas (como la equidad económica, baja tasa de desempleo), sociales (como la resiliencia a los impactos del cambio climático, servicios básicos, calidad de vida), ambientales ( como

reducción de contaminantes atmosféricos, hídricos y edáficos) y de gobernanza ( garantizando la participación activa de los ciudadanos en el desempeño de las funciones urbanas) de manera integral dentro y fuera de las áreas urbanas.

En resumen, la sostenibilidad de la ciudad debe presentar un equilibrio en las dimensiones: económica, social y ambiental, a través de procesos que permitan que las interrelaciones entre ellos no afecten o deterioren al otro. Además, este proceso debe contener eficiencia energética, un servicio eficiente y ecológico en la movilidad, reducción de emisiones contaminantes atmosféricas y residuos sólidos urbanos, asociado a un aumento de espacios y áreas verdes (Miranda & Jiménez, 2011).

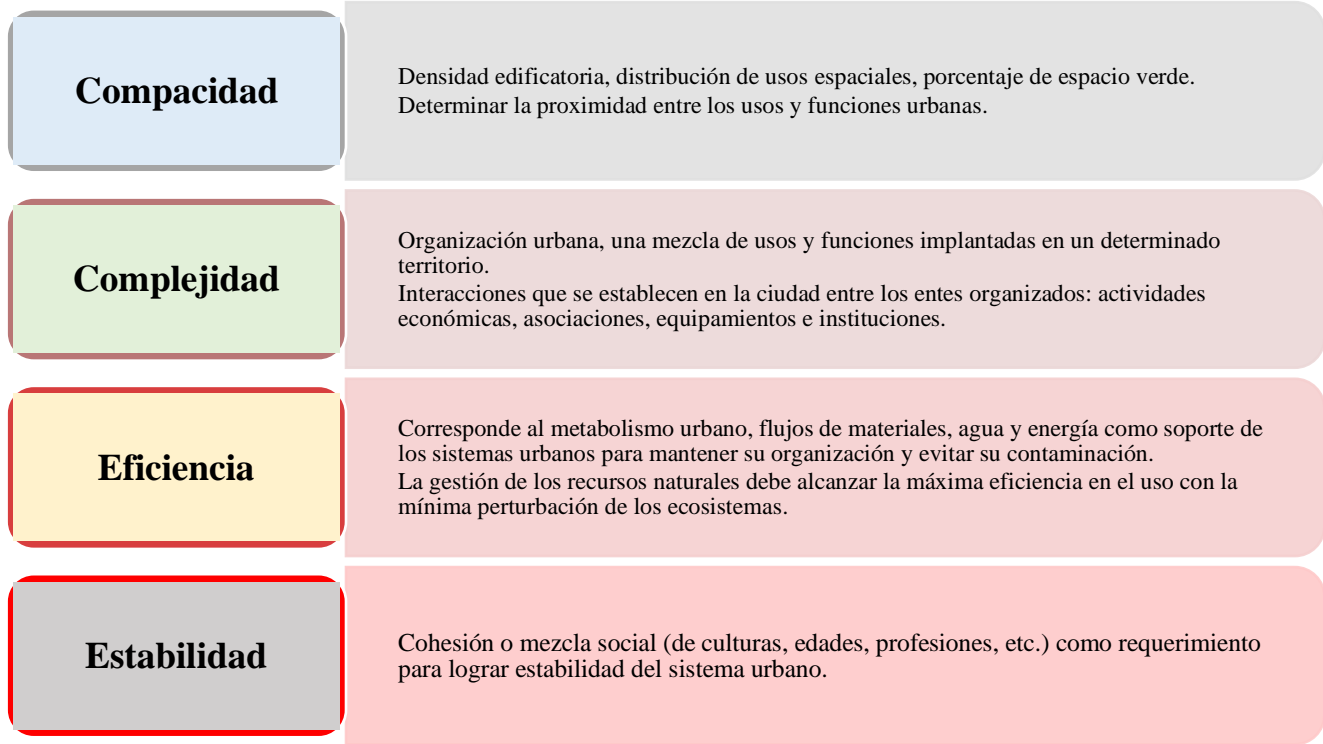
### 1.3.2 Modelo y característica de una ciudad sostenible

Ormés (2014), citando a Vilorio (2009), menciona que para la correcta ejecución de la gestión urbana es importante tener en cuenta un modelo de ciudad sostenible, el cual se define como:

“Un modelo de buen desempeño, equilibrio, interacción y conectividad entre las dimensiones del desarrollo urbano a fin de lograr una ciudad productiva, eficiente, inclusiva-equitativa, segura y ambientalmente saludable que hará posible satisfacer las necesidades y demandas, presentes y futuras”.

Este modelo de ciudad sostenible cuenta con cuatro principios básicos (Figura 2):

Figura 2. Principios básicos del modelo urbano sostenible o ciudad sostenible.



Fuente. Adaptado con base en Ormés (2014).

De acuerdo con Miranda y Jiménez (2011) las características que debe presentar una ciudad sostenible se reportan en la Tabla 4.

**Tabla 4. Principales características de una ciudad sostenible.**

<b>Provisión de todas las necesidades físicas.</b>	<b>Seguridad y protección.</b>	<b>Un ambiente social propicio.</b>	<b>Una buena imagen, reputación y prestigio</b>	<b>Una oportunidad para la creatividad.</b>	<b>Un ambiente estético y agradable</b>
Adecuado social y laboralmente, con una educación y formación de calidad, así como la garantía de tener los servicios al alcance (movilidad, comunicación, salud, energía y saneamiento).	Con un orden visual y funcional, un ambiente controlado y libre de contaminación, libre de accidentes. Equipamiento adecuado para las diversas actividades sociales y autosuficiencia.	Sentido de comunidad y de pertenencia. Mezcla social para reducir o eliminar estratificación social, aumentando la densidad de población, un amplio rango de vivienda y tipos de tenencia.	Que provea un sentido de confianza, de estatus y dignidad, con la oportunidad de formar un espacio social. Con un grado de autosuficiencia, la ciudad no sólo debe ser consumidora, sino también productora.	Para que las comunidades puedan formar sus propios distritos.	Un lugar con un diseño adecuado, con identidad, con espacio para la cultura y arte. La ciudad como entidad para la comunidad. Provisionar un sentido de centralidad y de lugar.

Fuente: Elaboración propia con base en Miranda & Jiménez (2011).

Mediante estos modelos, es posible observar que la sostenibilidad urbana se compone de diversos elementos esenciales para que pueda desarrollarse. Asimismo, podemos entender la importancia del estudio de los flujos materiales y energéticos de las ciudades, como un principio para comprender y descomplejizar las interrelaciones entre los diversos actores, instituciones y actividades. Sin embargo, es necesario entender que el funcionamiento de las ciudades no está impulsado únicamente por recursos y energía, sino que existe un mecanismo socioeconómico y cultural que es necesario desmenuzar y comprender para llevar a cabo un modelo sostenible dirigido a quien participa en este ecosistema urbano.

## 1.4 Ecosistema urbano

Para el estudio del metabolismo urbano, entender a los asentamientos humanos como un ecosistema es importante debido a que las zonas urbanas son consideradas territorios que han sido “creados”, impulsados principalmente por su cultura, sus actividades, sus productos y servicios. Son sistemas abiertos que, desde la perspectiva de la ecológica urbana, se caracterizan por ser *heterotróficos*, es decir, que necesitan recursos externos (materia y energía) de otros sistemas (urbanos o naturales) para que estos sigan en desarrollo. Termodinámicamente, las ciudades están muy lejos de estar en un equilibrio, ya que contienen y generan un alto grado de *entropía*<sup>7</sup>, lo que desencadena varios impactos a los sistemas aledaños o de donde se logran abastecer (Pulselli, 2019; Svirejeva, 2019).

Al ser considerados como ecosistemas heterótrofos, significa que tienden a consumir y procesar más materia y energía de la que consumiría una zona rural o un ecosistema natural, cerca de 3 a 4 veces más recursos esenciales que se traducen en: agua, minerales, biomasa, alimentos, combustibles, etc. Adicionando que estos materiales al ser procesados (perdiendo características naturales o un estado de “baja entropía”) se convierten en residuos que de no tener un manejo adecuado terminan regresando a los ecosistemas naturales como contaminantes (Svirejeva, 2019).

---

<sup>7</sup> Para algunos autores la entropía es un indicador ideal para definir y desarrollar la sostenibilidad urbana (Delgado, 2014, Purvis et al., 2016; Céspedes y Morales, 2018). En este caso el concepto de entropía se aplica desde un contexto en donde existen irreversibilidades en las transformaciones de energía y materia dentro de los sistemas urbanos (sistemas abiertos). La existencia de estas irreversibilidades crea una pérdida de energía en forma de disipación (de calor) y subproductos o desechos (contaminantes). Atender estas irreversibilidades aumentaría la eficiencia y el aprovechamiento óptimo de los recursos que ingresan a los sistemas urbanos.

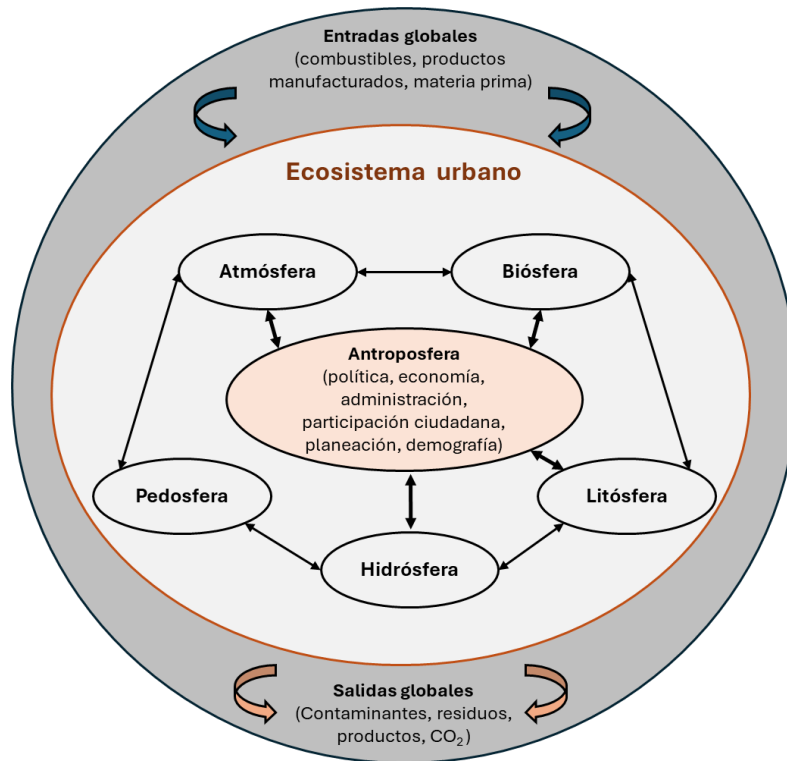
A pesar de ello, las ciudades son visualizadas como sistemas semejantes a los ecosistemas naturales, encontrándose con funciones paralelas, teniendo la capacidad de evolucionar o desarrollarse. Sin embargo, carecen de funciones *homeostáticas*, es decir, no se regulan por sí mismas y tampoco procesan los elementos bióticos y abióticos de una manera natural, una característica predominante debido a su naturaleza “artificial”, o bien, antropogénica. En resumen, requieren de recursos para poder ser capaces de adaptarse a los cambios y no colapsar (Enkerlin et al., 1997; Pulselli, 2019; Czerny, 2021).

Martínez (2015) define el concepto “ecosistema urbano” mediante tres postulados:

- I. El término “ecosistema” es una terminología que expresa la existencia de un conjunto de elementos y cómo se relacionan entre ellos para la constitución de todo el sistema vivo y dinámico donde se hallan.
- II. “Urbano”, es un término que define un sistema constituido por elementos naturales y no naturales, construidos y desarrollados por las civilizaciones humanas.
- III. Presenta características específicas, como que son: espaciales, dinámicos, abiertos y complejos.

Para el estudio de los ecosistemas urbanos, las disciplinas como la ecología urbana o la ecología industrial toman en cuenta la gran importancia del estudio de las ciudades para llegar a ser sostenibles. Los estudios sobre los recursos que ingresan (como agua, energía solar, energía eléctrica, materiales para construcción, materias primas, etc.) o salen (como contaminantes, en forma de aguas residuales, residuos sólidos o emisiones, o incluso como productos exportados) de las ciudades son necesarios para que estas regiones puedan tener un desarrollo adecuado (Figura 3), tomando en cuenta sus procesos, su planeación y la compleja relación que hay entre los agentes urbanos, sociales y ambientales (Marten, 2001; Perroti, 2020).

Figura 3. Interacción de las diferentes dimensiones sistémicas en un ecosistema urbano.



Fuente: Adaptado de Marten (2001).

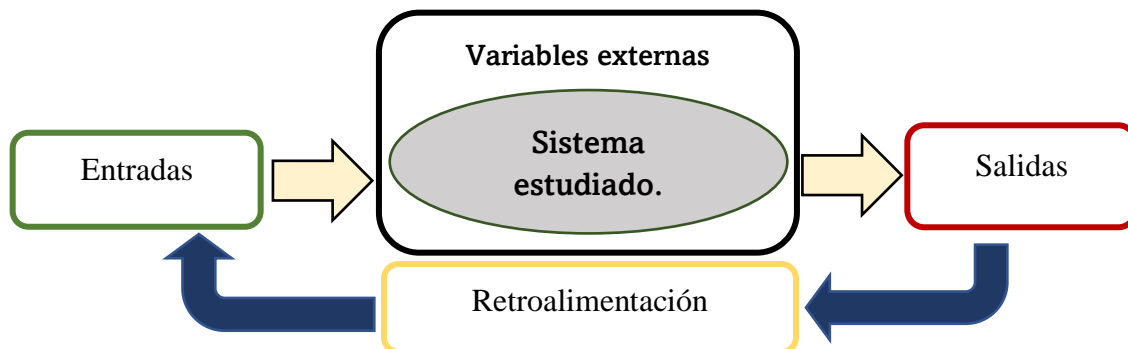
Desde un amplio panorama, se puede visualizar a las ciudades como sistemas que están rodeados de otro tipo de sistemas, interactuando con ellos de manera directa o indirectamente, por más que establezcamos límites administrativos, políticos o, incluso, físicos los ecosistemas urbanos entrelazan una compleja relación con su entorno, creando redes de transferencia de información, material y energía, un fenómeno que ha sido estudiado y nombrado como “Teoría General de Sistemas” (Díaz, 2014).

El desarrollo de la Teoría General de Sistemas se basa en tres principales postulados (Díaz, 2014):

- 1) Los sistemas existen dentro de los sistemas,
- 2) Los sistemas son abiertos y
- 3) Las funciones de un sistema dependen de su estructura.

Con base en Cornell y Jude (2015), en la Teoría General de Sistemas, todo sistema está formado por componentes principales (Figura 4) como:

Figura 4. Diagrama general de los componentes principales de un sistema.



Fuente: Elaboración propia con base en Chikere y Nwoka (2018).

**Entradas:** las cuales están conformadas o condicionadas por el sistema o el ambiente exterior, estos pueden ser elementos como personas, capital, recursos bióticos o abióticos, servicios e incluso información.

**Procesos de transformación:** Una vez que las entradas han sido asimiladas por el sistema, los recursos son consumidos y transformados a favor del desarrollo y mantenimiento del sistema. Ante esto, este tipo de elementos, son procesados y eliminados, aunque pueden ser almacenados. En el caso de las ciudades la población, los servicios y los bienes son unos de los consumidores principales.

**Variables externas:** El sistema está sujeto a sistemas más grandes, o dependientes a otros sistemas, por lo que estos reaccionan al comportamiento externo. Ya que el sistema no cuenta con la capacidad de controlar el ambiente externo, debe adaptarse, tomando recursos o información para no colapsar.

**Salidas:** Una vez que han sido suministrado, gestionado, asimilados y procesado los recursos entrantes estos se exportan o salen en forma de servicios, productos, otro tipo de información, otro tipo de energía, y en algunos casos en desechos o subproductos que no pudieron ser procesados por el sistema.

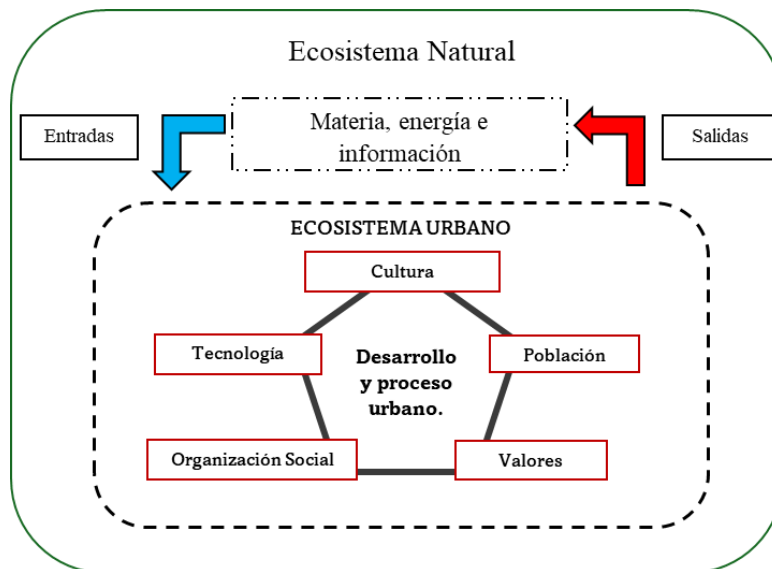
**Retroalimentación/retroacción:** Tomando en cuenta las salidas, existen algunos elementos que son reingresados al sistema, ya sea porque estos conservan cierta información esencial o tienen

importancia para el desarrollo del mismo sistema, nuevamente circulan por el sistema hasta que dejan de tener una utilidad para el mismo.

Con lo anterior, se plantea que la ciudad no es un sistema totalmente exclusivo de sus actividades, para su desarrollo necesita de recursos que sólo puede encontrar en los ecosistemas naturales (Figura 5), así mismo, se crean residuos de los procesos que se generan en ella, los cuales necesitan ser desechados, lo que genera un alto impacto en las áreas naturales (o donde se dispongan). Y es aquí donde las zonas urbanas son un problema sustancial en el ambiente, no sólo ante los ecosistemas sino a los mismos residentes de estos territorios y sus alrededores (Enkerlin et al., 1997; Marten, 2001).

Al ser un sistema de naturaleza antropogénica, dispone de otra gran desventaja, y es que los ciclos biogeoquímicos no funcionan de la misma manera que en los ecosistemas naturales; ciertos recursos y elementos importantes (como el agua, fósforo, carbono, nitrógeno, etc.) no se hallan en la misma disposición, creando impactos negativos, sin mencionar la alteración que se genera al producir o crear nuevos compuestos para el desarrollo y crecimiento de las sociedades, así como la expansión desmesurada de las ciudades, dañando a los entornos que sí asimilan y necesitan estos compuestos esenciales para la vida en el planeta (Elmqvist, Alfsen y Colding, 2008).

Figura 5. Diagrama general de un ecosistema urbano dentro los ecosistemas naturales.



Fuente: Elaboración propia con base en Marten (2001).

## 1.5 Metabolismo urbano

Las ciudades y zonas urbanas se han estudiado como ecosistema heterótrofo, el cual requiere de recursos en forma de materiales y energéticos para su subsistencia y desarrollo, asimilando y transformando dichos recursos, fenómeno que se ha sido descrito como “metabolismo urbano” (Li y Kwan, 2018; Lanau et al., 2021).

### 1.5.1 Desarrollo del metabolismo urbano

El concepto de metabolismo urbano nace a partir del término “metabolismo”, que *grosso modo* significa la asimilación y transformación de materia y energía en un organismo. Este fue determinado por primera vez en el siglo XVII por Sactorious quien pesó su ingesta dietética y excreciones corporales para crear un balance de masa. Concluyó que no todo lo que se consume se excreta directamente, y dedujo que una parte importante de su consumo se perdía a través de la transpiración insensible a través de su piel (Derrible et al., 2021).

Abel Wolman, en 1965, redefiniría el concepto aplicándolo en el desarrollo de las ciudades en su artículo “The Metabolism of cities”, el cual estudiaba los sistemas socioeconómicos y el desarrollo urbano, y cómo estos tenían un impacto en el medio ambiente (Díaz, 2014; Beloin Saint Pierre et al., 2017; Li y Kwan, 2018; Derrible et al., 2021; Lanau et al., 2021).

Aunque es importante mencionar que algunos autores apuntan que en el pensamiento Marxista ya existía la esencia de este término. Beloin Saint Pierre et al. (2017) mencionan que el concepto aparece en 1894 en el libro “Capital: Critique of Political Economy”, pero Zhang (2013) indica que en 1983 el término aparece como crítica hacia la industrialización, en el contexto de la relación hombre-naturaleza; mientras que Li y Kwan (2018) mencionan que Karl Marx hace una discusión acerca del metabolismo social en la obra “*Economic & Philosophical Manuscripts*” en 1844.

Para finales del siglo XX, el metabolismo urbano se desarrolló como un enfoque creativo para comprender los flujos de uso de los recursos urbanos, la conversión de energía, la emisión de carbono y los impactos asociados en el ecosistema urbano (Li y Kwan, 2018). Posteriormente el concepto creció en popularidad a principios del nuevo milenio, ayudado por el aumento de la agenda de investigación global hacia el desarrollo sostenible y la necesidad de identificar a los principales consumidores de energía y emisores de gases de efecto invernadero (GEI) (Céspedes y Morales, 2018; Derrible et al., 2021).

### 1.5.2 Metabolismo urbano y sus principales metodologías

Para Kennedy (2007), el término de metabolismo urbano significa “la suma total de los procesos técnicos y socioeconómicos que ocurren en las ciudades, resultando en crecimiento, producción de energía y eliminación de desechos”. En términos más generales, el metabolismo urbano encaja dentro del ámbito del sociometabolismo, definido por Haberl et al. (2019) como “un enfoque de sistemas para estudiar las interacciones sociedad-naturaleza en diferentes escalas espaciotemporales”.

Los procesos metabólicos urbanos son definidos como “procesos artificiales” por la misma naturaleza antropogénica, en la ciudad los flujos metabólicos de algunos recursos hacen que estos se agoten y que su uso sea insostenible, esto genera “metabolitos” (o contaminantes) que no pueden ser asimilados por el mismo sistema y afectan a la comunidad en su salud (Zhang, 2013).

Retomando la perspectiva de la ecología urbana, el estudio del metabolismo nos dice que los sistemas urbanos tienen un gran impacto en sus alrededores, fuera del sistema, debido a la fuerte presión que ejercen sobre los recursos del medio ambiente, al ser un sistema abierto. Ante esto el metabolismo urbano se ha convertido en el foco de atención de los gobiernos y de la academia como una herramienta para cuantificar el grado de recursos que puede y debe gestionar (Zhang, 2013).

Tomando en consideración lo citado previamente, algunos autores como D’Amico et al. (2020) dan un enfoque más especializado centrándose en el desarrollo de ciudades inteligentes creando así el concepto de metabolismo urbano inteligente y sus indicadores, otros como Céspedes y Morales (2018) mencionan al metabolismo urbano circular como un estudio para evaluar la retroalimentación de algunos recursos (como minerales o residuos sólidos) a las urbes.

En general, este estudio es una herramienta para realizar evaluaciones del funcionamiento urbano con grandes alcances en la implementación del desarrollo sostenible, así como en el monitoreo y la aplicación de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), ateniendo las normas y la legislación ambiental del sitio de estudio (John et al., 2019; Kaviti et al., 2020).

Ahora bien, es necesario llevar a cabo este tipo de estudio para la cuantificación de los flujos de materiales y energía de las urbes, desde esta perspectiva existen ventajas, como el poder evaluar y predecir la dirección del desarrollo de ciudades de manera específica y relativa, y, sobre todo, objetivamente (Kennedy, Cuddihy & Engel-Yan, 2007; Céspedes y Morales, 2018).

De esta manera, durante el proceso de su desarrollo se han utilizado varios métodos para describir e integrar los procesos físicos y sociales en las ciudades.

Li & Kwan (2018) y (Zhang, 2019) clasifican en dos tipos las metodologías empleadas para la evaluación del metabolismo urbano. 1) Análisis basado en materia (o materiales) y 2) Análisis basado en energía. En el primero se encuentran específicamente tres tipos: Análisis de Flujo de Materia (MFA, por sus siglas en inglés), Evolución de Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en inglés), Evaluación de la Huella Ecológica (EFA, por sus siglas en inglés); el segundo básicamente es el análisis termodinámico con entrada de energía solar y su transformación, viendo a la ciudad como un ecosistema natural.

- **Análisis de Flujo de Materia (MFA):** se basa en la evaluación de materiales urbanos, flujos y almacenamiento o “stocks”. Es ampliamente utilizado en el análisis del metabolismo urbano en ciudades y países. Bajo este método se estudia un sistema el cual es delimitado, y dentro de ese límite se incluyen factores como la entrada de recursos naturales, importaciones, la producción y el consumo (o uso) de diversos materiales, así como la salida de residuos o productos procesados y los “stocks” existentes. Con esta herramienta es posible examinar el flujo de recursos utilizados y transformados a medida que fluyen a través de la región estudiada. Tiene como objetivo principal investigar problemas orientados a los recursos asociados con las relaciones entre las actividades urbanas y sus influencias ambientales.
- **Evolución de Ciclo de Vida (LCA):** es un método que se puede aplicar para producir una contabilidad “Cradle-to-grave” (“De la cuna a la tumba”) de procesos de producción específicos y evaluar los efectos de la transformación y utilización de recursos en la cadena de suministro.

La LCA se compone esencialmente de cinco fases diferentes de la evaluación: 1) definición de objetivos y alcance, 2) análisis de inventario, 3) evaluación de impacto, 4) Interpretación y 5) aplicaciones. Estas fases no existen de forma aislada, sino que interactúan e influyen entre sí.

En el proceso de metabolismo urbano, los impactos ambientales asociados desde la extracción hasta la disposición final pueden ser tomados en cuenta por este método, además de tomar cuenta los impactos ambientales de un producto o servicio urbano a lo largo de su ciclo de vida.

- **Evaluación de la Huella Ecológica (EFA):** es otro método de análisis basado en materiales ampliamente utilizado en estudios de metabolismo urbano. La Huella Ecológica expresa la cantidad de superficie terrestre que requiere un país, región, ciudad, municipio o localidad para satisfacer sus necesidades metabólicas de entrada y salida. La Huella Ecológica Urbana se describe como la cantidad de área biológicamente productiva que se requiere para proporcionar recursos naturales para el desarrollo urbano y para disponer los desechos generados por el sistema urbano.

La sostenibilidad del metabolismo urbano se puede estimar mediante la EFA. Este método posee la capacidad de estimar la biocapacidad requerida para generar los recursos materiales y la energía que consumen las ciudades y para asimilar los desechos resultantes que producen. Esta evaluación también permite realizar comparaciones entre la oferta y la demanda urbana, por ejemplo, la comparación entre la carga metabólica urbana actual y la capacidad de carga biofísica disponible.

- **Análisis basado en energía:** El flujo de energía, que se mide en “emjulios” solares, a través del ecosistema sigue principalmente las dos leyes de la termodinámica: (1) La energía no puede crearse ni destruirse; solo se puede convertir de una forma específica a otra forma específica; y (2) En cualquier proceso de flujo de energía, habrá una disminución en la calidad de la energía que se convierte en calor residual (principio de la entropía).

Odum (1983) describió el producto o servicio proporcionado por el uso de la energía solar, ya sea directa o indirectamente, para interpretar el flujo metabólico y se refirió a este método como una “Emergía”. Los índices de emergía normalmente están diseñados para evaluar el metabolismo urbano específico. Sin embargo, la medición de la emergía hace que se tome en serio la dependencia fundamental de las ciudades del proceso ecológico. La esencia de estos procesos se basa en la disponibilidad de energía solar.

Aunado a esto, para Derrible et. al. (2021) el proceso para la obtención de datos puede ser de tres maneras diferentes: 1) Métodos ascendentes (*Bottom-up*), 2) Métodos descendentes (*Top-down*) e 3) Métodos híbridos (combinación de los dos anteriores).

- **Método ascendente (Bottom-up):** los flujos se investigan individualmente, por ejemplo, poniéndose en contacto con las empresas, instituciones, agencias y ayuntamientos locales con la finalidad de obtener datos de servicios públicos como: agua, gas y electricidad.

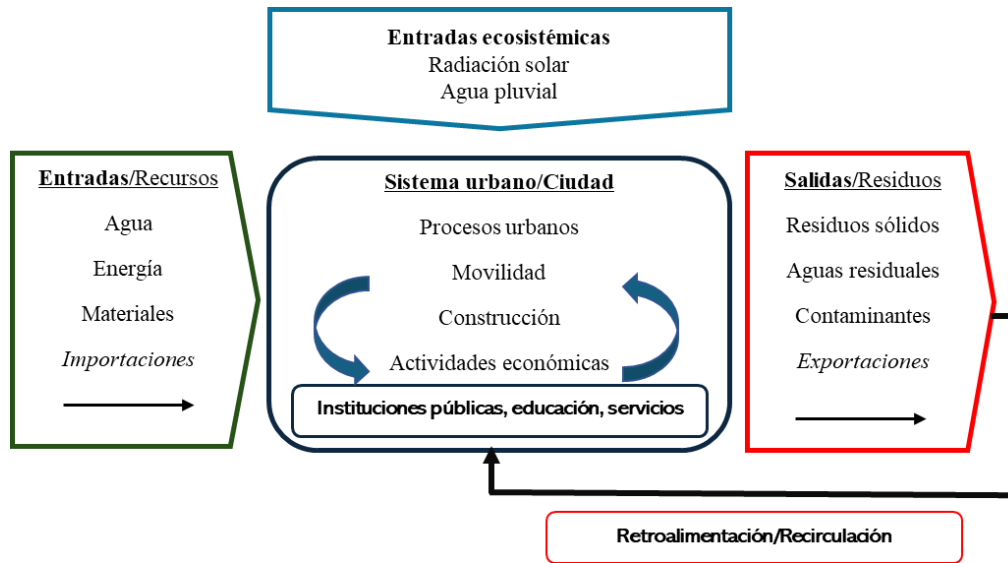
- **Método descendente (Top-down):** los datos de entradas-salidas (Input-Output, IO) pueden recopilarse, a menudo a escala de país, y luego desagregarse a escala de ciudad, o a la región que se esté estudiando.

En general, se prefiere el enfoque “*Bottom-up*” porque tiende a proporcionar más información sobre una ciudad; por ejemplo, para investigar las diferencias entre los patrones de consumo residencial y comercial. Este enfoque tiene como ventaja ser más preciso, ya que desagregar los datos de la escala nacional a la escala urbana puede ser una tarea con alto grado de dificultad.

No obstante, desde el punto de vista metodológico, el enfoque de “Top-down” puede ser más fácil de aplicar y, por lo tanto, puede preferirse en algunos casos. Otros enfoques, incluido el uso de análisis de redes de energía, ecológicas o ambientales y otros avances metodológicos, han encontrado un impulso menor, pero pueden ser herramientas poderosas para el estudio del metabolismo.

En resumen, el metabolismo urbano, independientemente de su metodología aplicada, gráficamente, es una evaluación contable de materia y energía, (Figura 6) donde se puede hallar las entradas, salidas, flujos internos, almacenamiento y producción de agua, energía, material y alimentos. Con su enfoque inicial en recursos y materiales, esta técnica ha evolucionado para dar cuenta de la energía (además de los recursos) y de los procesos endógenos que ocurren dentro de las ciudades (como la producción de alimentos o la reutilización y el reciclaje interno de materiales), sincronizándose con el esfuerzo de sustentabilidad global (Díaz, 2014; 2019; Zhang, 2019; Derrible et al, 2021; Lanau, et al., 2021).

Figura 6. Esquema general de los flujos estudiados en el metabolismo urbano.



Fuente: Adaptado con base en Zhang (2019); Derrible et al. (2021).

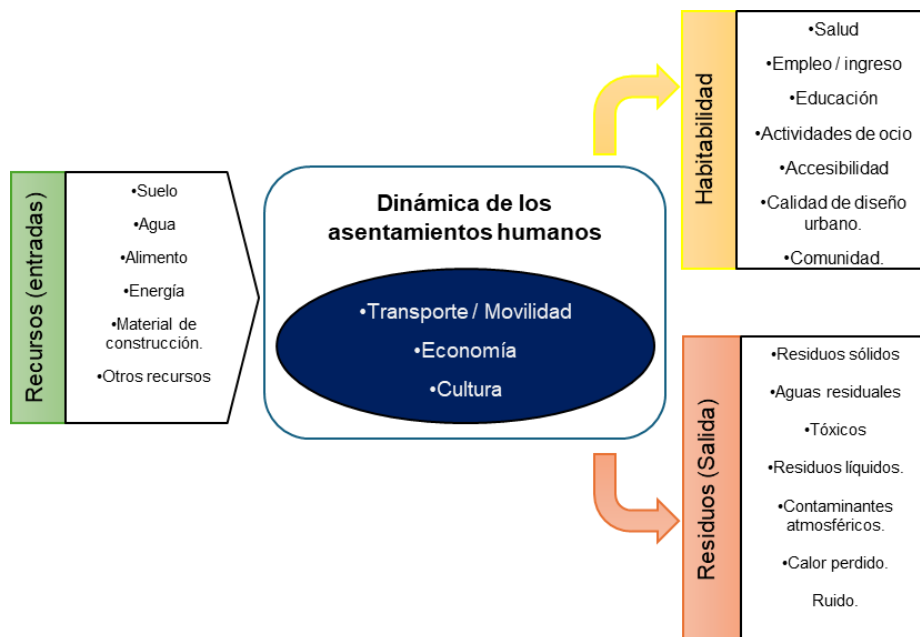
### 1.5.3 Enfoque del metabolismo en la sostenibilidad urbana

A pesar de que el estudio del metabolismo urbano, en sus diferentes metodologías y enfoques, tratan de entender y analizar la sostenibilidad de la ciudad, resulta difícil si se basa solamente en los recursos o los materiales que entran y salen del sistema sin atender el comportamiento social y las características propias de la ciudad.

Debido a esto, Newman (1999), desarrolló un modelo capaz de entender el metabolismo urbano de una manera más integral. No sólo analizando las entradas y salidas de recursos, sino también determinando la habitabilidad (*livability*) del sitio estudiado. A este método se le llamó “Modelo Extendido del Metabolismo Urbano” (EUMM, por su sigla en inglés) (Figura 7). Tomando como base los siguientes principios para estudiar la sostenibilidad en la ciudad:

- El análisis de entradas de recursos, con referencia en su reducción maximizando su uso.
- El incremento de la habitabilidad urbana.
- La reducción de residuos y emisiones producidas por las actividades antropogénicas.
- Una alta eficiencia en lo referente a gestión de procesos urbanos.

Figura 7. Esquema general del Modelo del Metabolismo Urbano Extendido (EUMM).



Fuente: Elaboración propia con base en Newman (1999).

A este modelo además de los indicadores de entrada y salida también se agregan parámetros sociales capaces de visualizar el estado de la población dentro de la ciudad estudiada (Teferi y Newman, 2017) (Tabla 5):

**Tabla 5. Indicadores deseables en el estudio del EUMM.**

<b>Habitabilidad, amenidad humana y salud.</b>
• Mortalidad infantil por 1000 nacimientos
• Grado académico
• Oportunidades de ocio locales.
• Muertes en el transporte por 100 habitantes
• Crímenes reportados por cada 1000 habitantes
• Muertes por violencia urbana
• Proporción de viviendas deficientes
• Tamaño de la longitud de las calles peatonales en la ciudad y subcentros
• Proporción de planes de desarrollo urbano para la planificación de la urbanización.

Fuente: Adaptado de Teferi y Newman (2017).

De acuerdo con Newman (1999), este modelo de metabolismo puede ser aplicado en diferentes escalas y actividades humanas, por ejemplo:

- *Áreas industriales.* Donde se puede analizar sus entradas de sus recursos o materias primas y al mismo tiempo midiendo la generación de sus residuos, tomando en cuenta parámetros económicos y otros datos como la salud y seguridad de los trabajadores.
- *Hogares y barrios.* Similarmente, se trabaja en sus entradas y salidas, y al mismo tiempo analizar sus parámetros de habitabilidad. Con la finalidad de que exista una retroalimentación constructiva entre ambos.
- *Proyecciones urbanas.* Mediante este modelo las zonas urbanas pueden evaluar algunos escenarios en donde se pueda analizar la reducción de recursos o emisiones o el aumento de la habitabilidad. Esto ayudará a que la ciudad tenga en cuenta las instalaciones e infraestructura o equipamiento que requiere.
- *Negocios individuales.* Con el objetivo de crear un plan sostenible. Donde se examina el uso de los recursos necesarios (lo que se toma), la dinámica (lo que se hace) y la generación de los residuos (lo que se desperdicia).
- *Comparación de ciudades.* Mediante la comparación de los indicadores de uso de recursos, generación de residuos y habitabilidad de diferentes ciudades tomando en cuenta las políticas para la sustentabilidad.

En resumen, el desarrollo sostenible debe ser un proceso en el que estén en equilibrio la relación entre las dinámicas antrópicas y naturales, en este caso, entre los asentamientos humanos y los ecosistemas, para llegar a una sustentabilidad real entre ambas. Si bien el concepto de desarrollo sostenible contiene diversas críticas, por su ambigüedad etimológica y su difícil aplicación, se presenta como un modelo económico que engloba las principales dimensiones para la transición a una conciencia ambiental global. Sin embargo, el actuar de este modelo debe ser local, es decir, teniendo en cuenta las características específicas de donde se implementará.

Para lograr esto, los asentamientos humanos, en este caso, las zonas urbanas, pueden estudiarse desde una perspectiva ecosistémica, es decir, que se compone de diversos elementos permitiendo su desarrollo y crecimiento. Pero atendiendo sus principales características, determinadas por sus interacciones internas y externas.

Desde esta perspectiva, el metabolismo urbano, se presenta como una propuesta metodológica, en la gestión ambiental, para entender y estudiar el comportamiento de este tipo de sistemas, ayudando a reducir la complejidad de sus dinámicas desde una visión más objetiva y científica. Estudiando sus entradas y salidas, mediante los recursos naturales, que son necesarios para el desarrollo del ecosistema urbano, y sus desechos, es posible comprender la magnitud del impacto ante los ecosistemas naturales, coadyuvando a la implementación de una sustentabilidad urbana permanente.

## **Capítulo 2. Marco referencial del metabolismo urbano**

Revisar los estudios que se han elaborado a través del tiempo, permitirá entender el metabolismo urbano más a fondo, desde su primera aplicación en 1965 hasta los últimos años. Sin embargo, debido a la cantidad de trabajos con diversos enfoques y metodologías, en esta ocasión se realizará una retroalimentación de los trabajos más significativos que han tenido usado el método MFA, ya que es el aplicado para esta investigación.

### **2.1 Estudios internacionales**

Mencionado por diversos autores (Newman, 1999; Kennedy, 2010; Delgado, 2011; Zhang, 2013; Dinarès, 2014; Lanau et al., 2021; Montoya et al., 2023, entre otros), Abel Wolman, en 1965, fue uno de los pioneros en el concepto y aplicación del metabolismo urbano, como una herramienta que ayudaría a visualizar el comportamiento de las ciudades en el uso y consumo de los recursos naturales (agua, aire, suelo) y cómo estos eran afectados en su calidad. En su trabajo, Wolman desarrollaría el metabolismo urbano de una ciudad hipotética, estadounidense, habitada por un millón de habitantes; y entre sus principales aportaciones, menciona que, mientras la ciudad se encuentre en un estado de expansión, naturalmente habrá problemas en el suministro de agua, así como en el tratamiento de esta, existiendo además un aumento de los contaminantes atmosféricos y residuos (Zhang, 2013; Dinarès, 2014).

En 1969, Ayres y Kneese, realizarían un estudio a nivel nacional de Estados Unidos de 1963 a 1965, donde analizaron los flujos de materia del sistema económico. Dentro de su aportación, concluyen que las actividades económicas deben vincularse con la disponibilidad de los recursos naturales, los cuales no cuentan con un valor en el mercado y su condición era cada vez más escasa. Como consecuencia, se realizarían posteriores investigaciones, donde el metabolismo era aplicado a la identificación de actividades económicas y cómo estas impactaban en el medio ambiente. (Kennedy, 2010; Zhang, 2013, Pengue, 2018).

Posteriormente, las ciudades de Tokio, Bruselas y Hong Kong serían estudiadas, en los años 1974, 1977 y 1978, respectivamente, desde las disciplinas de la ingeniería química, ecología e ingeniería civil. A pesar de la diversidad disciplinaria, dichas investigaciones revelarían una relación estrecha entre el, ahora

llamado, “ecosistema urbano” y el medio ambiente, ameritando y reforzando la dependencia de las ciudades a los recursos naturales y servicios ecosistémicos, resaltando la importancia de los impactos producidos por sus desechos (Céspedes y Morales, 2018).

En los años siguientes, se realizarían trabajos de diversas ciudades, pero en 1999, Newman desarrollaría un modelo combinado, donde, además de tomar en cuenta los recursos naturales y sus flujos, también tomaría en cuenta factores sociales, como la salud de la población, tasa de empleo, educación, etcétera, la razón de esto era que el estudio del metabolismo resultaba incompleto e ineficiente para entender a la ciudad desde la sustentabilidad, se necesitaban integrar elementos “intangibles” para comprender el proceso dentro de las ciudades (Kennedy, 2010; Zhang, 2013,2019; Teferi y Newman, 2017 ).

En la Tabla 6 se presentan las investigaciones que para este trabajo se consideran importantes en el desarrollo del metabolismo urbano mediante la metodología MFA. En los primeros trabajos, el objetivo de la cuantificación de materia y energía era saber la relación de la ciudad con su entorno natural y el consumo de sus recursos enriqueciendo el marco conceptual. Posteriormente el metabolismo urbano sirvió como una herramienta para poder comparar y estimar los procesos urbanos en una región, ciudad o país de interés con objetivo de impulsar la sostenibilidad urbana.

**Tabla 6. Estudios enfocados en el metabolismo urbano en diferentes ciudades del mundo.**

<b>País/Ciudad Autor</b>	<b>Metodología</b>	<b>Objetivo de estudio</b>	<b>Resultados</b>
<b>Tokio, Japón (Hanya &amp; Ambe, 1975),</b>	Análisis de flujo de materia, con un enfoque Geoquímico	Describir las propiedades y características de la relación que hay entre la ciudad y su flujo de materia y energía.	La producción de desechos en la ciudad es enorme, siendo un indicador de problemas ambientales. El metabolismo urbano es una buena técnica para estimar problemas ambientales en las urbes.
<b>Bruselas, Bélgica (Duvigneaud &amp; Denaeyer 1977)</b>	Análisis de flujo de materia y energía	Describir e influir en los procesos de urbanización.	Se definió el término “Ecología urbana”. Creación de estudios para el medio urbano.

Continuación Tabla 6.

<b>Hong Kong, China</b> (Newcombe et al., 1978)	<b>Análisis de flujo de materia y energía</b>	<b>Analizar el consumo de energía y algunos materiales de la ciudad para extrapolarlo al futuro.</b>	<b>El consumo de energía y materiales en el futuro será de 5 veces más que en 1973.</b>
<b>Sídney, Australia</b> (Newman, 1999)	Análisis cualitativo del impacto del metabolismo urbano.	Análisis del metabolismo para identificar el grado de sustentabilidad de la ciudad.	Evaluación del impacto del metabolismo urbano para su sustentabilidad.
<b>Toronto, Canadá</b> (Sahely et al., 2003)	Análisis de flujo de energía, agua, materiales y desechos.	Comparar y analizar la ciudad respecto a otras y estimar su eficiencia y manejo de recursos en el periodo de 1987 a 1999	La energía eléctrica, gasolina y comida se incrementan, mientras que la emisión de CO <sub>2</sub> , todo con relación al crecimiento poblacional.
<b>Nueva York, Estados Unidos</b> (Kane & Erickson, 2007)	Análisis de flujo con respecto al agua únicamente.	Revisar y analizar la infraestructura y políticas para mejorar la calidad del agua superficial.	No se indica con claridad, pero se deduce que hay un resumen de la situación y cómo implementar algunas soluciones a problemas socioambientales.
<b>Cape Town, Sudáfrica</b> (Hoekman & von Blottnitz, 2017)	Un análisis de flujo de materiales en toda la economía ( <i>An economy-wide material flow analysis</i> ).	Contribuir al número de estudios de metabolismo urbano.	Se muestra gran actividad minera de elementos no metálicos, así como importaciones de biomasa y combustibles fósiles. También se encuentra que la centralidad de la ciudad le da un peso importante ya que varios materiales fluyen en ella hacia mercados internacionales.
<b>Copenhague, Aarhus, Odense y Aalborg, Dinamarca</b> (Lanau et al., 2021)	Análisis de flujo de materiales	Cuantificar y comparar los patrones metabólicos de las ciudades danesas en un periodo del 2010 al 2015	Las ciudades danesas muestran patrones metabólicos más sostenibles que otras megaciudades del mundo. Los patrones metabólicos urbanos pueden depender en gran medida del papel y los servicios que ofrece una ciudad a su región circundante (como un organismo multicelular).

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 Estudios en Latinoamérica

En el inicio, el análisis del metabolismo urbano era aplicado principalmente en diversas ciudades europeas y asiáticas (Zhang, 2013), sin embargo, las condiciones socioeconómicas de estas eran diferentes a las de las regiones en desarrollo que se encontraban en Latinoamérica, por lo que también era importante entender estas zonas desde esta perspectiva.

El rápido crecimiento de las principales ciudades latinoamericanas ha generado una mala planificación en el uso de suelo, permitiendo una desigualdad social y económica, haciendo que los territorios sean excluyentes; además, esta acelerada urbanización demanda un consumo de recursos naturales que a largo plazo es inviable cubrir (Delgado, 2011; Delgado et al, 2012).

Revisar los antecedentes a nivel latinoamericano para esta investigación es importante debido a que las ciudades de esta región comparten ciertas características sociales, políticas, económicas y, por supuesto, urbanas. Tomar en cuenta las herramientas y metodologías aplicadas, así como los resultados obtenidos, enriquece el desarrollo del metabolismo urbano en Latinoamérica (Tabla 7).

Guerrero y Guiñirgo (2008) realizaron un estudio en la región de Tandil, Argentina, mediante un enfoque en el cálculo de la Huella Ecológica (HE), dentro de sus resultados obtuvieron que la ciudad tiene un déficit ecológico de casi 78 mil hectáreas, es decir, se necesitaría una superficie externa equivalente a 17 veces el tamaño del área estudiada para satisfacer su demanda en materiales. Entre los parámetros que más participan en la HE, son la producción de alimentos y la absorción de CO<sup>2</sup>, con una participación de 56 % y 35%, respectivamente.

En 2011, Diaz, calculó el metabolismo urbano de la ciudad de Bogotá, dentro de los años 1980 y 2010, donde concluiría que el consumo de los alimentos y energía se habían incrementado, mientras que el agua se mantuvo constante debido a las restricciones desde el año 1997, a partir de la implementación de instrumentos directos e indirectos de política pública. Estimó que para el 2025, el aumento de la población incrementará el metabolismo de la ciudad, ejerciendo una fuerte presión en el abastecimiento de los recursos naturales de la ciudad. Por otra parte, en 2014, Piña y Pardo, también estudiaron el metabolismo de la misma ciudad, dentro el mismo periodo, mediante el MFA, encontrando que la ciudad se encontraba de la siguiente manera: el consumo de materiales de construcción y energía eléctrica había aumentado, sin embargo, el consumo de agua y alimentos se mantuvo constante, además, se encontró que existía problemática en el tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos.

Para el 2018, Sabogal et al., elaboró una metodología analítica del nexo agua-energía-alimentos en Tarapoto y la microcuenca del río Cumbaza, Perú, donde se visualiza la importancia de la interdependencia de la seguridad hídrica, energética y alimentaria con las dinámicas socio-ecológicas dentro de la microcuenca. Entre sus resultados más relevantes resaltó la importancia de los servicios ecosistémicos forestales para fortalecer esta alianza, permitiendo consolidar la resiliencia urbana y rural ante el cambio climático. Este trabajo resulta importante ya que se enfocó en la importancia de estudiar este nexo para generar mejores tomas de decisiones ante el contexto urbano-rural con el objetivo de aumento el desarrollo resiliente.

Guerrero (2022) presentó un estudio en la ciudad de Huancavelica, Perú, calculando su metabolismo del año 2017, por ser el año que más información contenía, mediante la metodología MFA y LCA, creando un modelo en el software SimaPro. Dentro de los resultados, se calcularía la huella de carbono con 106 KTon de CO<sub>2</sub>eq, a partir de la producción y consumo de combustibles fósiles, generación de biomasa, alimentos y materiales de construcción. Se estimó que el 99% de las aguas residuales generadas se descargaron en el río Ichu, y además, el porcentaje de la población que no cuenta con el servicio de drenaje se ve forzada a verter sus aguas en pozos ciegos, ríos, canales, campos abiertos, letrinas, entre otros.

Carrere (2022) estudiaron los flujos energéticos y de materiales en la ciudad de Santiago, Chile, dentro del periodo del 2000 al 2020, con un enfoque en desarrollar indicadores de eficiencia, tendencias temporales y el carbono contenido en cada uno de estos flujos. Como resultados obtenidos se tiene que los combustibles líquidos y gaseosos presentan una mayor cantidad de carbono seguido de la electricidad y los alimentos; asimismo, dentro de las salidas, las emisiones de GEI presentan una mayor cantidad de carbono, generadas por los combustibles y energía eléctrica. En su discusión, se menciona que, para disminuir el metabolismo del carbono, es necesario desplazar los elementos que tienen una alta composición “carbónica” (combustibles, alimentos, etc.) por elementos menos carbónicos, por ejemplo, reemplazando la generación de energía eléctrica de combustibles fósiles por renovable.

**Tabla 7. Estudios del metabolismo urbano en Latinoamérica con diferentes enfoques.**

<b>País/Ciudad Autor</b>	<b>Metodología</b>	<b>Objetivo de estudio</b>	<b>Resultados</b>
<b>Tandil, Argentina (Guerrero y Guñirgo, 2008)</b>	Metabolismo urbano, enfoque en Huella Ecológica.	Evaluar, en términos espaciales, la apropiación de materia y energía, proveniente de ecosistemas productivos extra-urbanos necesarios para la satisfacción de las necesidades de consumo y absorción de residuos de la ciudad.	Se obtuvo una huella ecológica (HE) total de 83,118.5 ha, es decir, que, para satisfacer los requerimientos de materiales urbanos, la ciudad necesita una superficie de ecosistemas externos equivalente a 17 veces la superficie administrativa.
<b>Bogotá, Colombia. (Piña y Pardo, 2014)</b>	Análisis de flujo de materiales	Determinar la relación entre la demanda de recursos y el impacto ambiental de los productos.	El consumo de energía y materiales de construcción aumentó, el consumo de alimentos y agua se mantuvo constante. Los niveles de reciclaje y tratamiento de aguas residuales son bajos, y las emisiones, como las partículas disminuyeron.
<b>Área metropolitana Centro Occidente, Colombia (García, et al., 2014)</b>	Metabolismo urbano, enfoque en el Análisis de flujo de materiales.	Cuantificar los flujos de agua del Área Metropolitana Centro Occidente, determinando la magnitud de sus demandas y el grado de exigencia de la ciudad sobre el recurso hídrico.	El 86% del agua es abastecida por el río Otún como principal fuente local y el 14% restante es abastecido de fuentes hídricas externas. El agua derivada anualmente para el abastecimiento urbano de sus 599.618 habitantes alcanzó los 113 l/hab/día. Con relación a los flujos de salida, las aguas residuales se vierten directamente a las fuentes hídricas sin ningún tipo de tratamiento previo.
<b>Tarapoto y la microcuenca del río Cumbaza, Perú (Sabogal et al., 2018)</b>	Enfoque nexo agua-energía-alimentos.	Visibilizar las interdependencias entre la seguridad hídrica, energética y alimentaria, y las dinámicas socio-ecológicas subyacentes, para los diferentes sectores y actores urbano-rurales de la microcuenca.	Es evidente el papel de los servicios ecosistémicos forestales para sustentar este nexo de seguridades, así como la importancia de priorizar la restauración y conservación de los bosques tropicales como parte de estrategias de mitigación de riesgos además de fortalecer la resiliencia urbana y rural al cambio climático.

<p><b>Huancavelica, Perú (Guerrero, 2022)</b></p>	<p>Metabolismo urbano, enfoque en análisis de flujo de materiales y ciclo de vida.</p>	<p>Estimar el metabolismo urbano y la carga ambiental en la ciudad de Huancavelica, Perú.</p>	<p>Se determina que los combustibles fósiles y biomasa, y los alimentos generan mayor impacto. Las emisiones al agua producto de la descarga directa, es decir, sin tratamiento alguno, de las aguas residuales al río Ichu, impacta significativamente (85%) en la eutrofización del agua dulce. La huella de carbono estimada del metabolismo urbano de la ciudad de Huancavelica para el año 2017 es 106.34 kt de CO<sub>2</sub>eq; de los cuales, el 60% es generado por los combustibles fósiles y biomasa, el 19% por los alimentos y el 11% por los materiales de construcción.</p>
<p><b>Santiago, Chile (Carrere, 2022)</b></p>	<p>Metabolismo urbano, enfoque en análisis de flujo de energía y materiales.</p>	<p>Evaluar el metabolismo urbano del carbono de la ciudad de Santiago de Chile para distintos periodos anuales con el fin de determinar la intensidad de distintos flujos de entrada y salida que circulan a través de la ciudad.</p>	<p>Se obtiene que la actividad más intensiva en términos de carbono es el transporte, aportando cerca de un 46% de los flujos totales de la ciudad. Por otra parte, la mayoría de los flujos presentan tendencias temporales al aumento, reflejando el incremento sostenido en la demanda de recursos.</p>

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3 Antecedentes nacionales

Si bien no hay demasiados estudios prácticos enfocados el metabolismo urbano en el país, es posible hallar algunos trabajos teóricos y de discusión, donde el metabolismo social está muy relacionado ante el comportamiento metabólico urbano. Por ejemplo, Delgado (2011, 2015), menciona al metabolismo urbano como una herramienta para analizar de manera cuantitativa y cualitativa los asentamientos humanos, enriqueciendo los estudios de la ecología política, para dar paso a soluciones integrales que intervengan en el cambio climático, sobre todo en las megaurbes latinoamericanas.

En 2014, Delgado, realizó un ensayo acerca del metabolismo social y el bien común de la humanidad donde discute y reflexiona sobre la necesidad de implementar un nuevo desarrollo económico y social tomando en cuenta las fronteras ecológicas del planeta, las condiciones biofísicas de cada territorio y una construcción social más equitativa y ambientalmente justa, mediante la evaluación y el análisis de los flujos de materiales. Bajo el mismo contexto teórico, Toledo (2013) hace un ensayo sobre el metabolismo social, expresando la importancia de la parte *intangibile* o social en los estudios metabólicos de los asentamientos humanos y su relación con la naturaleza, siendo el metabolismo rural su principal enfoque de estudio (Toledo, 2002; 2008).

Por otro lado, también existen diversos trabajos que estudian meramente el metabolismo urbano de sitios específicos (Tabla 8). Aquí también podemos mencionar a Delgado (2014) quien estudió el metabolismo hídrico de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) dando a conocer algunas problemáticas importantes que ocurren dentro del sitio estudiado desde un enfoque en la ecología política, Pérez et al. (2023) realizaría también un estudio del metabolismo urbano en la ciudad de Puebla, resaltando la importancia de esta herramienta para la gestión y gobernanza del vital líquido.

En el año 2018, Vergara (2018), estudió los flujos metabólicos del país en el contexto energético, dentro del periodo 1990 – 2015, donde el hallazgo más importante fue la causalidad bidireccional entre el crecimiento del PIB y el consumo energético, debido a que la energía era un factor limitante en el crecimiento económico y en el desarrollo. Además, se pudo hallar a una economía carbonizada, donde los puntos de crecimiento y decrecimiento económico del país coincidían con el comportamiento de las emisiones de GEI.

**Tabla 8. Principales estudios sobre metabolismo urbano a nivel nacional.**

<b>Autores</b>	<b>Tema</b>	<b>Metodología</b>	<b>Aportación</b>
<b>Delgado et al., 2012</b>	Cambio climático y del metabolismo urbano de las megaurbes latinoamericanas.	Análisis comparativo.	Proponer planes de acción en forma de mitigación y adaptación bajo en panorama metabólico de cada ciudad.
<b>Delgado, 2014</b>	Water and the political ecology of urban metabolism: the case of Mexico City.	Análisis de flujo de materiales desde una perspectiva de la ecología ecológica urbana.	Las políticas públicas deben ser planificadas bajo un perfil metabólico tomando en cuenta el contexto social, histórico y sostenible de la ciudad.
<b>Vergara, 2018</b>	Una aproximación del consumo energético a través del metabolismo urbano. El caso de México de 1990 - 2015.	Análisis de flujo energético combinando con un análisis de índice de divisia media logarítmica.	Hallazgo de la correlación entre el comportamiento de la economía y la energía, siendo la última un factor limitante para el crecimiento económico.
<b>Luna, 2022</b>	Sustentabilidad, historia y ambiente: análisis sobre el metabolismo urbano-industrial del estado de Morelos, México (1980 – 2021).	Análisis histórico – materialista de la región.	El metabolismo urbano - industrial del sitio estudiado es impulsado por intereses económicos de diversas corporaciones nacionales y transnacionales lo que genera problemas socioambientales.
<b>Pérez et al., 2023</b>	Puebla City Water Supply from the Perspective of Urban Water Metabolism	Análisis de flujo de materiales	Implantación del metabolismo urbano hídrico (WUM, por sus siglas en inglés) como una herramienta para para informar los procesos de toma de decisiones y políticas que buscan construir una nueva gobernanza del agua.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.4 Antecedentes municipales

Para el municipio de Toluca no existe ningún estudio previo de este tipo, sin embargo, desde la perspectiva urbana se han estudiado varias problemáticas relacionadas con la generación de residuos sólidos, la mala logística de la movilidad del transporte público, el cambio del uso de suelo y la gestión de recursos hídricos.

En la temática hídrica, en el año 2008, Garfias et al. (2008), realizaron una discusión acerca de la importancia del vital líquido en el Valle de Toluca, enfatizando la importancia de tomar medidas para evitar la condición de sobreexplotación del acuífero como recargar los mantos acuíferos a través de la infiltración de aguas pluviales y aguas residuales tratadas. Concluyendo que la demanda aumentará proporcionalmente al crecimiento poblacional en los siguientes años; siendo necesario un estudio cualitativo y cuantitativo para este recurso natural.

Mientras tanto, Romero et al. (2018), estudiaron la condición hidrológica del municipio, analizando elementos como la infraestructura hidráulica, disponibilidad de agua de lluvia y zonas de abastecimiento (pozos) y zonas de inundación, desde una metodología cualitativa. El aporte de su investigación fue base para el estudio metabólico del municipio, entrelazando diversas problemáticas socioambientales relacionadas al vital líquido. En su discusión, la temática del reúso y tratamiento de aguas residuales, aprovechamiento de agua pluvial, mejora de la infraestructura urbana e incentivación económica de estrategias domésticas y locales, para el cuidado del agua, son algunas de las soluciones para trascender a un uso sustentable del agua.

Para el año 2022, Orozco et al. (2022) realizaron el primer estudio metabólico hídrico del agua, bajo una metodología deductivo-inductiva y cualitativa, sobre todo para la obtención de datos y descripción de la dinámica en la producción, dotación y consumo. Entre sus resultados se resalta el consumo per cápita del Toluca con 136.5 litros por habitante al día, indicando que el servicio de agua es intermitente, sobre todo en zonas conurbadas y periféricas debido a las dinámicas socioeconómicas, principalmente. Además, se menciona que el que el acuífero de Toluca se encuentra en una condición de sobreexplotación.

En la generación de RSU, Rodríguez y Montesillo (2017), realizaron un trabajo sobre el diagnóstico de los RSU en la zona conurbada de Toluca (compuesto por los municipios de Lerma, Metepec, San Mateo Atenco, Toluca y Zinacantepec) mediante entrevistas a los responsables del área en cada ayuntamiento y su respectivo personal de recolección. Sus resultados muestran el municipio de Metepec es el que más

RSU genera per cápita con 1.4 kg/persona, y el que menos genera es el municipio de Zinacantepec con 0.48 kg/persona. Además, la recolección tiene una cobertura de 90%, sin embargo, los sitios restantes son de tipo irregular, impidiendo que la rutas tengan acceso. En la disposición final San Mateo Atenco es el único que cuenta con un sitio de transferencia. En tanto al reciclaje, en el municipio de Toluca se recuperan materiales como PET (76%), papel y cartón (18%), vidrio (3%), metales (2%) y plásticos (1%).

Valdez (2020) y Gómez (2021) analizaron la propuesta de “Basura cero”, dentro del municipio y la ZMT, respectivamente. Valdez (2020) enfatizó que una de las grandes problemáticas es la falta de gobernanza que existe dentro del municipio para llevar a cabo estrategias en la circularidad de los RSU, cada actor involucrado ejerce acciones en pro a la gestión de los RSU, pero la falta de comunicación y sinergia no genera una solución a largo plazo. Mientras Gómez (2021) mencionó que uno de los obstáculos para avanzar en la propuesta dicha, es la ausencia de información, además de la falta de acoplamiento con el sector público para generar datos continuos y homogéneos. Entre ambos trabajos se logra visualizar las principales áreas de trabajo (o mejora) que necesitan los municipios para manejar de manera sostenible los RSU.

Ante el contexto medioambiental, Hernández et al. (2004) realizaron un trabajo enfocado en la contaminación atmosférica, específicamente en el comportamiento del monóxido de carbono (CO), dentro del municipio. Como aporte menciona que del año 1995 al 2001 el CO muestra una variación de concentración y distribución, principalmente esto se debe a las condiciones climáticas y estacionales, donde las direcciones de los vientos, precipitaciones y temperatura son principales factores. Se menciona también que los principales actores en la generación de este gas son los procesos industriales, el parque vehicular, las actividades domésticas y la dinámica físiconatural, incrementándose los primeros tres en el transcurso del tiempo. A pesar de ello, las concentraciones de CO, de acuerdo con el IMECA, se muestran aceptables.

En 2012, Galindo y Victoria (2012), estudiaron la importancia de la vegetación como un medio para la sustentabilidad urbana, reiterando de su importancia en los servicios ecosistémicos que aportan más allá de la estética paisajista. Su estudio concluye que se deben tomar en cuenta las áreas verdes urbanas dentro del desarrollo y planeación de la ciudad debido al impacto positivo en la calidad ambiental y social.

Vilchis y Garrocho (2018) analizaron la importancia del comportamiento atmosférico en la ZMT, con la finalidad de entender el calentamiento de las zonas urbanas. Tal estudio se llevó a cabo dentro del periodo 1960 – 2009, bajo dos principales variables, temperatura y precipitación. Dentro de sus principales

resultados se muestra que la temperatura incrementó 0.61°C y la precipitación con 92.1 mm, ambas por encima del promedio del periodo estudiado resaltando el impacto de las ciudades como “agentes” modificadores del sistema climático regional-metropolitano. Resalta la importancia de este tipo de estudio como un “indicador-nodo” involucrando la dimensiones ambientales, sociales y económicas, ante el contexto del deterioro ambiental urbano.

Montoya et al. (2023) realizaron un estudio del metabolismo urbano de los municipios de Toluca y Metepec, bajo una metodología de Análisis de Flujo de Materiales y Energía, dentro del periodo 2000-2019. En dicho estudio, se consideraron parámetros de entradas como: a) consumo de electricidad, b) combustibles y c) agua, mientras las salidas fueron: d) emisiones de CO<sup>2</sup>, e) generación de aguas residuales y f) generación de RSU. En general, se puede mencionar que el incremento del consumo de agua, energía, combustibles es evidente debido a la naturaleza económica de ambos municipios, además del crecimiento poblacional; esto ha generado problemas en el abastecimiento de agua y en la calidad atmosférica e hídrica, principalmente. Dentro de su discurso, los autores hacen hincapié en que los municipios presentan un metabolismo urbano lineal, presentando un crecimiento horizontal, disperso y desordenando, con políticas y programas especialmente enfocados en el desarrollo económico y urbano.

En resumen, tales investigaciones mencionan que las cuestiones políticas y normativas son factores centrales para poder llegar a la resolución de los retos socio ambientales, que el municipio de Toluca presenta, así como otros municipios colindantes. Dichos trabajos sugieren que gran parte de las situaciones comienzan desde un desorden en la política, la planeación urbana y la falta de gestión de los recursos y residuos. Apuntando a la gobernanza, la planeación territorial y la planificación de estrategias sólidas como agentes resolutivos para llegar a una verdadera sostenibilidad en el municipio.

A continuación, se muestran las principales investigaciones dentro el municipio (Tabla 9).

**Tabla 9. Estudios realizados en el municipio de Toluca con un enfoque urbanista y medio ambiental.**

<b>Autor (es)</b>	<b>Objetivo de estudio</b>	<b>Aportación</b>
<b>Hernández et al., 2004</b>	Estudio del comportamiento del monóxido de carbono en la ciudad de Toluca entre los años 1995 a 2001	Análisis histórico de la situación en normas y gestión de GEI en la ciudad de Toluca. Estrategias políticas y normativas para la mitigación de los contaminantes.

Continuación Tabla 9.

<b>Gárfias et al., 2008</b>	<b>Estrategias para la ordenación del recurso hídrico con un sistema más integrado y equitativo para una explotación adecuada.</b>	<b>Se describen los pasos para un uso sostenible de las aguas subterráneas en el valle de Toluca, mejorando el conocimiento base en el que se adaptan los enfoques administrativos de ecosistemas y la administración en el manejo de las aguas subterráneas.</b>
<b>Galindo y Victoria, 2012</b>	Enfoque en la vegetación como parte de la sustentabilidad en las ciudades, a través de los múltiples beneficios ambientales y sociales que aporta al sistema urbano.	Estrategias para un estudio enfocado a las áreas verdes en relación con el número de habitantes, así como proyectos para la incorporación de arbolado en la ciudad.
<b>Rodríguez y Montesillo, 2017</b>	Elaborar un modelo de minimización de RSU en el municipio de Toluca, por medio de un estudio comparativo de las fortalezas y debilidades de programas de manejo de RSU nacionales e internacionales.	Existe una mala gestión en la disposición de los residuos sólidos ya que estos no tienen una revalorización ni un aprovechamiento de reciclaje. Algunos RSU son aprovechados por personas de bajos recursos.
<b>Romero et al., 2018.</b>	Determinar bajo qué paradigma se encuentra la ciudad de Toluca; potencializar sus cualidades hacia un enfoque sustentable en el manejo urbano del agua.	Nuevas estrategias de manejo y tecnologías, como parte de una solución sustentable e integral al problema hídrico de la ciudad.
<b>Cruz, 2018</b>	Realizar un diagnóstico del servicio de transporte público tomando una ruta intermunicipal como enfoque de estudio.	Los resultados indican que no hay planeación de la ruta analizada, hay duplicidad y congestión vial, los transportistas no respetan la ubicación oficial de las paradas, las unidades son obsoletas y el servicio es ineficiente y deficiente.
<b>Vilchis y Garrocho, 2018</b>	Examinar el comportamiento termopluiométrico en la zona metropolitana de Toluca (ZMT) para el periodo 1960-2009, partiendo de tendencias espaciotemporales de dos variables: temperatura y precipitación.	El régimen termopluiométrico trasciende estratégicamente como indicador-nodo que interconecta los contextos ambiental, económico y social, en el marco climático de deterioro, en parte inducido por áreas urbanas.
<b>Valdez, 2020</b>	Evaluar el desempeño de los actores involucrados en la gestión de RSU en la estrategia Basura Cero, cuyo principio es que todo residuo es	Propuesta de una línea base para la elaboración del Programa de Basura Cero, compuesta por: 1) una red de gobernanza, 2) indicadores para evaluación y 3) seguimiento para cada actor involucrado.

	considerado como recurso en un nuevo proceso productivo.	Con el objetivo de crear una gestión de los RSU en Toluca.
<b>García, 2021</b>	Evaluar el manejo y gestión de los RSU de la Megalópolis mexicana, bajo el esquema de la agenda 2030, a través de la prevención, reducción, reutilización y tratamiento, reduciendo los impactos negativos al medio ambiente.	Se revela que los municipios con mejores desempeños en el manejo integral de los RSU son quienes cuentan con instrumentos legales actualizados y con participación ciudadana. Dentro de la Megalópolis, se estratifican y zonifican los distintos niveles de sostenibilidad en el manejo de RSU.
<b>Gómez, 2021</b>	Evaluar el manejo integral de los RSU a través de los principios de basura cero y economía circular en los municipios de la ZMT, creando lineamientos generales de gestión de los residuos.	Propuesta metodológica desde el enfoque de basura cero y economía circular para incidir en propuestas para mejorar el manejo los RSU.
<b>Montoya et al., 2022</b>	Evaluación del metabolismo urbano en los municipios de Toluca y Metepec.	La planeación urbana en los municipios de Toluca y Metepec ha establecido flujos metabólicos lineales aumentando sus consumos, presentando un patrón de crecimiento horizontal, disperso y desordenado.
<b>Orozco et al., 2022</b>	Analizar el metabolismo de la gestión del agua en la ciudad de Toluca por medio de un procedimiento deductivo-inductivo mediante registros estadísticos y administrativos, informes técnicos, ordenanzas, literatura, cartografía, observación y diálogo con autoridades y usuarios.	La seguridad hídrica exige límites a la urbanización anárquica; legislar la previsión integrada del agua: disponibilidad, capacidad de infraestructura, demanda real y potencial, dotación adecuada al contexto local, incentivos al consumo medidos, estrategias de ahorro y conservación, atención a las brechas de acceso.
<b>Torres y Salvador, 2022</b>	Estudio documental y cualitativo, de participación-acción, que permite prever consecuencias diversas en una metrópoli de alta concentración humana y limitadas acciones de coordinación intermunicipal	Existe la necesidad de políticas claras y responsables para impulsar el desarrollo sostenible, así como mecanismos para que la ciudadanía este consciente de los derechos y obligaciones que ésta tiene.

Fuente: Elaboración propia.

El estudio del metabolismo de las ciudades cuenta con antecedentes sólidos que muestran el impacto negativo al medio ambiente, generado por su progreso, desarrollo y crecimiento socioeconómico y espacial. De manera histórica, la investigación de Abel Wolman, en 1965, cimentaría las bases para trabajos posteriores, aportando herramientas ante el contexto teórico y metodológico.

Gracias a esto, y al estudio de diversos autores desde diversos enfoques, el estudio del metabolismo urbano resultó tener un gran alcance, aplicándose en diversas ciudades de Europa y Asia, principalmente, con el objetivo de establecer un esquema comparativo y resolutivo entre ellas. Sin embargo, resultaría ser un enorme reto debido a la disponibilidad de información y datos insuficientes que develaran el estado metabólico de las estructuras urbanas, además de su complejidad. Por esta razón, la metodología base se “bifurcaría”, ante diversas propuestas multidisciplinarias e interdisciplinarias buscando minimizar la falta de datos y eliminando el sesgo de información.

Con esto, llegaría a establecerse nuevas metodologías atendiendo la cualidad compleja de los ecosistemas urbanos, desde el análisis energético (ante una perspectiva ecosistémica), hasta el uso de SIG, para englobar diversos parámetros relacionados a su metabolismo; con el objetivo de estudiar y hallar la vía más eficiente para el consumo y uso de los recursos naturales, buscando la sostenibilidad urbana. Sin embargo, esto resultaría ser contraproducente ya que, al existir diversas maneras de estudiar el metabolismo, no habría una manera de comparar los resultados obtenidos. Generando una discusión entre los científicos enfatizando que la búsqueda de una metodología absoluta resultaría inconsistente, puesto que cada ciudad se comportaba de manera diversa, desde el ámbito ambiental y humano, obstaculizando el propósito del desarrollo sostenible urbano.

A pesar de este desarrollo teórico-metodológico desde 1965, el estudio metabólico se halla en sus inicios para implementarse en Latinoamérica, de manera metropolitana, regional y municipal. Con la intención de identificar y analizar el comportamiento de las ciudades en busca de fortalecer y proponer, mediante datos consistentes, la planificación y ordenamiento de las ciudades en desarrollo y desarrolladas.

En México, comenzaría con el estudio con las metrópolis más importantes, esclareciendo las dinámicas sociales y económicas, responsables de metabolismo, como lo mencionaba Karl Marx, en sus estudios relacionados a la relación entre hombre-naturaleza. Tomando en cuenta la emergencia de proponer y visualizar las vías necesarias para llegar a una sostenibilidad urbano-regional, de una manera local para posteriormente aplicarlas de manera global.

### **Capítulo 3. Metodología en la evaluación del metabolismo urbano**

La realización de esta investigación se llevó a cabo mediante la metodología Análisis de Flujos de Materiales (AFM), la cual estuvo complementada con el método ascendente (*Bottom-up*), de acuerdo con los requerimientos de la zona de estudio. El enfoque es el propuesto por Newman (1999), el cual es el Modelo Extendido del Metabolismo Urbano (EUMM) donde se analizan las entradas y las salidas de materiales, pero al mismo tiempo se contemplan las características socioeconómicas y ambientales del municipio.

#### **Zona de estudio, Municipio de Toluca, Estado de México.**

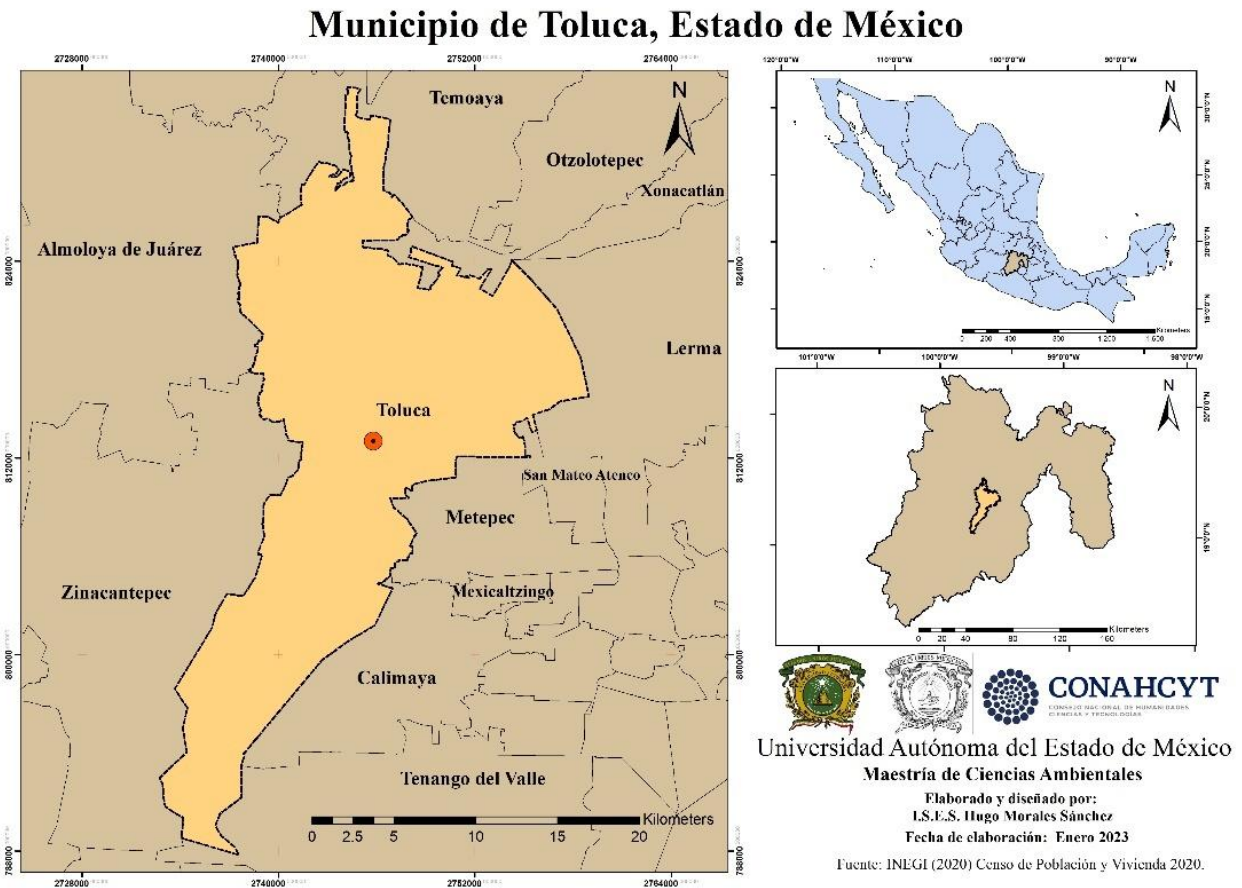
El municipio de Toluca se localiza en la zona centro del Estado de México, en las coordenadas 18°59'02'' latitud norte y 99°31'43'' a 99°46'58'' longitud oeste. Se encuentra a una altitud promedio de 2,660 metros sobre nivel del mar.

Colinda con 9 municipios, al norte, Temoaya y Otzolotepec, al noreste con Almoloya de Juárez, al sur con Calimaya y Tenango del Valle, al sureste con Metepec, al este con Lerma y San Mateo Atenco y al oeste con Zinacantepec (Ayuntamiento de Toluca, 2019; 2022) (Figura 8).

Toluca es un territorio que cuenta con 426.85km<sup>2</sup>, lo que representa el 1.8% del territorio estatal, en el 2020 tenía una población de cerca de 910,608 habitantes, de los cuales aproximadamente el 77% viven en localidades urbanas. Debido a sus funciones políticas y administrativas, el Bando Municipal señala que el municipio cuenta con 85 circunscripciones territoriales divididas en 48 delegaciones, 37 subdelegaciones y 281 unidades territoriales básicas (Ayuntamiento de Toluca, 2022).

Ante el contexto estatal, Toluca ocupa el sexto lugar en número de habitantes y la segunda en aportación al Producto Interno Bruto, contribuyendo con el 10.46% del PIB del Estado de México. Es el municipio central de la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT) (conformada por 16 municipios: Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Rayón, Temoaya, Tenango del Valle, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec). Además, junto con el municipio de Zinacantepec, conforman la Región XVII Toluca que se localiza en la parte poniente del Estado de México, la cual está integrada en la ZMVT (GEM, 2018a, 2022).

Figura 8. Ubicación geográfica del municipio de Toluca.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2020).

Sus actividades económicas se basan principalmente en la industria, comercio y servicios, siendo el cuarto municipio en recibir la mayor parte de la inversión extranjera directa en todo el estado (Ayuntamiento de Toluca, 2019; 2022).

Hidrológicamente, forma parte de las regiones Lerma-Santiago (RH12 cuenca Lerma-Toluca) conformada por a su vez por cuatro subcuencas: Almoloya-Oztolotepec, Oztolotepec-Atlacomulco y los Ríos Gavia, Tejalpa, Verdiguél y Balsas (RH18 cuenca Río Cutzamala, subcuenca Temascaltepec). A nivel superficial, Toluca se conforma de los ríos: Verdiguél, Cano, Arenal, Tejalpa y Lerma; y los manantiales como: Terrilleros, El Cano, Agua Bendita, Zacango y Las Conejeras que se ubican en la zona del Nevado de Toluca (Ayuntamiento de Toluca, 2022).

En cuanto a la edafología, Toluca cuenta con cuatro unidades de suelos: Feozem (64.18%), Vertisol (15.8%), Andosol (15.8%) y Regosol (5%), haciendo que el municipio sea productivo y apto para actividades agropecuarias y forestales (Ayuntamiento de Toluca, 2022).

Morfológicamente, el 40% de la superficie de la sierra volcánica de Toluca cuenta con lomeríos de basalto y 35% corresponde a un vaso lacustre de piso rocoso, lo restante se conforma de *estratovolcanes*<sup>8</sup> aislados y llanura aluvial. Las principales elevaciones son: el Cerro de Perico, Cerro San Marcos, Cerro Agua Bendita, El Cerrillo, el Nevado de Toluca, Cerro de las Canoas, Cerro de en Medio, los cerros de Huitzila, Cóporo, Zopilocalco, Toloche y San Miguel, que en su proporción sureste y oeste forman “La Teresona”, cerro Coatepec, cerro Tlacotepec y cerro “El Calvario” (Ayuntamiento de Toluca, 2022).

Las mayores extensiones de bosque natural, forestado, y reforestado están en las Áreas Naturales Protegidas: Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, Parque Estatal Sierra Morelos, Parque Alameda Poniente San José de la Pila (Alameda 2000), Parque Matlazincas, así como el parque Metropolitano Bicentenario de Toluca.

Los climas que más predominan en la región son templado y subhúmedo con lluvias en verano, semifrío subhúmedo con lluvias en verano, y frío. Se presentan temperaturas entre 4.5 y 21.3°C con precipitaciones que oscilan entre los 750- 1200 mm anuales. Donde los fenómenos hidrometeorológicos más recurrentes son lluvias torrenciales, granizadas, vientos extremos y tolvaneras, así como nevadas y frentes fríos. (Ayuntamiento de Toluca, 2022).

---

<sup>8</sup> De acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano (SGM), los estratovolcanes o volcanes estratificados “son un tipo de volcanes formados con capas de material fragmentario y corrientes de lava intercaladas, indicativo de que se originaron en épocas de actividad explosiva seguidas de otras donde arrojaron corrientes de lava fluida (...) Estos presentan una forma más regular y por lo general tienen un cono muy alto constituido por capas alternadas de lava y ceniza” (SGM, 2017).

### **3.1 Revisión de literatura**

Con el apoyo de motores de búsqueda y sitios web especializados como Google Académico, ScienceDirect, Scielo, Redalyc, Springer, principalmente, se realizó una revisión acerca de los antecedentes del concepto y estudio de metabolismo urbano tomando en cuenta su desarrollo, así como sus diversas metodologías y enfoques. Para la búsqueda se utilizaron palabras claves como “Metabolismo urbano”, “Sustentabilidad urbana”, “Metabolismo urbano y sustentabilidad”, “Metabolismo urbano en Latinoamérica” y “Análisis de flujo de materia”.

Además, se analizaron diferentes estudios aplicados en diversas ciudades a través del tiempo, desde el origen del metabolismo urbano. Se compararon las metodologías con el propósito de atender los elementos propios del municipio de Toluca. Adicionado a la búsqueda descrita anteriormente, se hizo una revisión en el portal “Metabolism of cities” (<https://metabolismofcities.org/>) donde se encuentra un compendio de los estudios realizados en las diferentes ciudades del mundo, con diversas metodologías y enfoques en determinados recursos o materiales.

### **3.2 Caracterización de las condiciones socioeconómicas y ambientales del municipio de Toluca**

. Los principales materiales o documentos de consulta para realizar este apartado fueron:

- Plan de Desarrollo del Estado de México 2017-2023
- Plan de Desarrollo Municipal de Toluca 2022-2024
- Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Toluca (PMDUT) 2018.
- Agenda Estadística Básica del Estado de México
- Estadística básica municipal anual

También se tomaron en cuenta algunos documentos de carácter legal y normativo para identificar mecanismos e instrumentos de utilidad para el estudio del municipio en su gestión ambiental y territorial, y que de igual manera funcionan como herramientas que permitan un estudio del metabolismo urbano, algunos de estos documentos son:

- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) (Federal).

- Ley General de Asentamientos Urbanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTyDU) (Federal).
- Ley General del Cambio Climático (LGCC) (Federal).
- Programa especial de Cambio Climático 2021-2024 (Federal).
- Ley de Planeación del Estado de México y Municipios (Estatal).
- Ley de Cambio Climático del Estado de México (Estatal).
- Índice de Sustentabilidad de la Ciudades 2021 (Nacional).

### 3.2.1 Características demográficas y sociales

Para estudiar las características demográficas y sociales se recabó información reportada en las “Estadísticas básicas municipales” elaboradas anualmente por el Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (IGECEM). En dichos documentos se recopiló la población total, urbana y rural del municipio, del año 2000 al 2020, esto con la finalidad de tener un mayor margen del comportamiento del crecimiento poblacional.

Para tener una visión amplia de cómo se hallaba distribuida la población en el municipio, se consultaron los censos 2010-2020, elaborados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), tomando en cuenta los principales datos por localidad (ITER). Una vez obtenidos los datos se realizaron los filtros correspondientes para delimitarlos al municipio de Toluca, esta tarea se hizo mediante el software “Statistical Product and Service Solutions” SPSS 26, donde fueron procesados y analizados.

Con base en los mismos censos se recopilaron datos del servicio de agua, drenaje y energía eléctrica de viviendas particulares habitadas dentro del periodo estudiado, mediante hojas de cálculo, se realizó estadística descriptiva correspondiente analizando el comportamiento de dichos servicios en el municipio.

Otro parámetro que se tomó en cuenta fue el índice de marginación a nivel municipal del año 2020, con el objetivo de identificar qué localidades se encontraban con mayor marginación. Al igual que los datos de población, estos se gestionaron en el software SPSS 26 para estar a disposición de softwares especializados en cartografía como QGIS o ArcGis.

### **3.2.2 Características económicas**

En la parte económica, se consideraron parámetros generales como el Producto Interno Bruto (PIB) del municipio, que en este caso es llamado Indicador Municipal de Actividad Económica (IMAE) de Toluca, durante el periodo 2010 al 2020, tomado del IGECEM. También se analizaron parámetros de población ocupada y desocupada, todo esto tomado de las estadísticas básicas anuales.

Para las actividades económicas primarias, secundarias y terciarias principales del municipio el Plan de Desarrollo Municipal fue una herramienta sustancial, indicando las principales actividades del municipio. Con ayuda del INEGI, mediante el Censo Económico de los años 2009, 2014 y 2019, se identificaron las principales actividades económicas presentes en el territorio estudiado, tomando en cuenta el crecimiento de las unidades económicas, correspondiente a cada actividad, aspectos de productividad, personal ocupado, gasto económico de agua, energía eléctrica y combustibles. Se realizó un filtro para obtener los datos específicos del municipio de Toluca.

### **3.2.3 Características ambientales**

Ante el contexto ambiental, se estudiaron parámetros como el uso de suelo, calidad atmosférica (GEI), calidad del agua.

Para este ámbito se acudió a la Dirección de Medio ambiente del Ayuntamiento de Toluca, en donde se obtuvieron datos con ayuda del PROMACC. Así mismo, se consultó el Programa de Desarrollo Municipal, con el objetivo de establecer algunas características ambientales del municipio, detectando las secretarías, instituciones o dependencias responsables para cada parámetro estudiado.

## **3.3 Recolección de datos para el metabolismo urbano**

De acuerdo con método “Bottom-up” los datos se obtuvieron de las dependencias y las secretarías competentes a cargo del Ayuntamiento de Toluca, consultando también las secretarías a nivel estatal y federal. De la misma manera, se recurrieron a los planes de desarrollo antes citados para recabar datos del periodo estudiado.

La recolección de datos se elaboró del período 2010 al 2020, sobre todo por la disposición y existencia de datos. De acuerdo con el concepto de metabolismo urbano, tomando en cuenta los recursos que se estudian, y de la disponibilidad de información del municipio, se recabaron datos de entradas (consumo) y salidas (generación de residuos) de:

- Agua (potable y residual).
- Energía eléctrica consumida.
- Combustibles fósiles.
- Generación de residuos sólidos urbanos.
- Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Para la búsqueda específica de cada parámetro antes mencionado se acudieron a las instituciones especializadas (Tabla 10).

**Tabla 10. Organismos e instituciones relacionados a cada parámetro.**

<b>Parámetros</b>	<b>Organismos e instituciones</b>
<b>Agua</b>	Potable y precipitación Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Organismo de agua y saneamiento de Toluca (OAYS). Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI).
	Residual Organismo de Agua y Saneamiento de Toluca (OAYS).
<b>Energía</b>	Eléctrica Comisión federal de Electricidad (CFE) Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI).
	Combustibles Secretaría de Energía (SENER). Comisión Reguladora de Energía (CRE). Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI).
<b>Residuos sólidos urbanos</b>	Secretaría del Medio Ambiente (SMA). H. Ayuntamiento de Toluca. Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI).
<b>Contaminantes (GEI)</b>	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) Secretaría del Medio Ambiente (SMA). H. Ayuntamiento de Toluca.

Fuente: Elaboración propia.

Al mismo tiempo, se consultaron instrumentos y documentos de planeación territorial y ambiental para la obtención de datos específicos del municipio, como:

- Planes de desarrollo (Estatal y municipal).
- Planes de ordenamiento urbano.
- Sistema Nacional de Información Ambiental y Recursos Naturales.
- Agenda Estadística Básica del Estado de México y del municipio de Toluca.
- Programa Municipal de Cambio Climático (PROMACC).

### **3.4 Procesamiento de datos**

Para el procesamiento primeramente se desarrolló una base de datos con el objetivo de ordenar, sistematizar y normalizar los valores con el año correspondiente de cada aspecto estudiado. A la par, se fueron compilando datos necesarios para el diagnóstico socioeconómico del municipio.

La creación de esta base de datos tuvo el objetivo principal de esclarecer las entradas y salidas, comprendiendo así la evolución del consumo de agua y energía eléctrica, uso de combustibles fósiles, así como la generación de los residuos del municipio, aguas residuales y GEI.

A continuación, se reporta de manera específica cómo se obtuvieron, procesaron y analizaron los datos para cada variable.

#### **3.4.1 Agua**

Para la cuantificación de agua, se analizó el volumen suministrado en la zona de estudio, las fuentes de abastecimiento locales y precipitación, así como la generación de aguas residuales, bajo unidades de volumen por año ( $\text{hm}^3 / \text{año}$ ).

### 3.4.1.1 Agua potable doméstica

Específicamente, para el agua potable se solicitó información al Organismo de Agua y Saneamiento de Toluca (OAyS), donde la respuesta fue no había datos existentes para el periodo solicitado (2010-2020). Por lo que se recurrió a la estimación, que fue un proceso en donde se consultó la dotación de agua por habitante al día, este dato se halló en el Plan de Desarrollo Municipal del 2017-2019, tomando como fuente al OAyS, el dato fue de 195 litros por habitante al día.

Posteriormente, se calculó la estimación tomando en cuenta las viviendas que contaban con servicio de agua potable, y posteriormente calculando el promedio de personas que había en cada vivienda.

$$Agua_{Est} = \frac{(Agua_{Dot} \cdot Viv_{Ser} \cdot hab_{Viv} \cdot 365 \text{ días})}{1000} \left[ \frac{m_3}{año} \right] \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$Agua_{Est}$  = Agua estimada o calculada respecto al año estudiado [ $m^3$  / año].

$Agua_{Dot}$  = Dotación de agua suministrada, 195 litros/ hab por día.

$Viv_{Ser}$  = Viviendas que cuentan con servicio de agua potable respecto al año estudiado [ viviendas].

$hab_{Viv}$  = Número de habitantes promedio por hogar [hab / vivienda].

### 3.4.1.2 Agua residual

Para la cantidad generada de aguas residuales anualmente se solicitaron datos con el OAyS, los cuales fueron proporcionados de acuerdo con el volumen tratado por las plantas tratadoras de aguas residuales (PTAR) del municipio. Estos datos se estandarizaron con las mismas unidades ( $hm^3/año$ ) para tener un estudio homogéneo en el cálculo de las entradas y salidas.

### 3.4.1.3 Precipitación

Los datos de agua renovable, o pluvial, en este caso, se consultó al Sistema de Información Hídrica (SIH) por parte de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), donde se seleccionaron las estaciones ubicadas dentro del municipio de Toluca. Se solicitó información del periodo estudiado.

La selección de datos se llevó a cabo en las estaciones meteorológicas: Calixtlahuaca, Nueva Oxtotitlán, Observatorio UAEM y Santa Elena, siendo la estación de la Nueva Oxtotitlán la que menor registro de datos tiene.

### 3.4.2 Energía eléctrica

En la cuestión del consumo de la energía eléctrica se dispuso del Sistema de Información Energética (SIE) por parte de la Secretaría de Energía (SENER), dicha base de datos es creada por el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).

Para este parámetro se hallaron datos de consumo por tarifa en el municipio de Toluca, que se englobaron en cinco categorías principales como: tarifa residencial (TR), comercial (TC), agrícola (TA), alumbrado público (TAP) e industrial (TI). Sin embargo, los datos encontrados abarcaban del 2010 al 2017, por lo que se extrapolaron al año 2020 mediante regresiones lineales. Esta acción se realizó en el software SPSS, donde cada categoría se extrapoló de la manera más precisa obteniendo datos que podrían ayudar a visualizar el comportamiento real de consumo de energía para el tiempo estudiado.

### 3.4.3 Combustibles

Para identificar la cantidad de combustibles utilizados a nivel doméstico, se consultó la Encuesta Nacional de Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI), realizada por INEGI (2018), con el

objetivo de identificar qué porcentaje de viviendas particulares utilizaban diferentes tipos de combustibles para actividades de cocción y calentamiento de agua<sup>9</sup>.

De acuerdo con Contreras et al. (2022) se consideraron los datos de los consumos promedios de los combustibles utilizados en las viviendas, y a partir de esta información fue posible estimar la cantidad para cada año (Ecuación 2).

$$CCD = \frac{VP \cdot \%VP_{comb,i} \cdot Cons_{comb,i}}{1000} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

$CCD$  = Consumo doméstico del i-esimo combustible al año [ton/ año]

$VP$  = Viviendas particulares habitadas

$\%VP_{comb,i}$  = Porcentaje de viviendas particulares que utilizan i-esimo combustible.

$Cons_{comb,i}$  = Consumo promedio de combustible por vivienda. [kg/ año por vivienda].

En el caso de la estimación de uso de combustibles utilizados en el sector transporte se tomó en cuenta la cantidad del parque vehicular durante el periodo estudiado, a partir de aquí se clasificaron dos tipos de vehículos principalmente, los que consumían gasolinas y por otro lado lo que utilizaban diésel. Posteriormente, se consultó el rendimiento promedio para cada tipo de vehículo, para los autos tipo sedan/combi el rendimiento fue de 10 km por litro (Pigna, 2023), dentro de la ciudad; y para los autobuses/microbuses fue de 2.5 km por litro (Serrano et al. 2023), dentro de la ciudad.

Mediante esta información y con las ecuaciones de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía (CONUEE), se estimó la cantidad de combustible utilizado anualmente por cada tipo de vehículo (Ecuación 3 y Ecuación 4).

---

<sup>9</sup> Se tomaron principalmente estas dos actividades con base en la investigación realizada por Contreras et al. (2022) donde, del total de consumo de energía en el territorio mexicano, el 59% fue destinado a la cocción de alimentos (469 PJ), el 15% (120PJ) en el calentamiento de agua, el enfriamiento de espacios consumió un 7% (57 PJ), la refrigeración de espacios un 5% (38 PJ), 4% para otros usos (29 PJ), calefacción 3% (26 PJ), 3% en entretenimiento (24 PJ), 2% en iluminación (16 PJ), lavado de ropa 1% (11PJ) y menos de 1% en el bombeo de agua (1 PJ).

$$CCA_{Vehiculo,i} = \frac{(\%Ciudad) \cdot Distancia_{Recor}}{Rend_{prom} \cdot 1000} \text{ (Ecuación 3)}$$

Donde:

$CCA_{Vehiculo,i}$  = Consumo de combustible anual de i-ésimo vehículo [ $m^3$  / año]

$\%Ciudad$  = Porcentaje de uso en la ciudad, en este caso es de 100%

$Distancia_{Recor}$  = Para los vehículos tipo sedán se consideró una distancia promedio de 35 km por día por unidad; para los autobuses fue de 27 km por día por unidad.

$Rend_{prom}$  = Rendimiento promedio para cada tipo de vehículo, sedán: 10 km/L y autobús: 2.5 km/L

$$CCT_i = CV_i \cdot CCA_{Vehiculo,i} \text{ (Ecuación 4)}$$

Donde:

$CCT_i$  = Consumo de combustible en transporte del i-ésimo vehículo [ $m^3$  / año].

$CV_i$  = Cantidad de vehículos registrados por año.

$CCA_{Vehiculo,i}$  = Consumo de combustible anual de i-ésimo vehículo [ $m^3$  / año]

#### 3.4.4 Emisiones contaminantes

Para el cálculo de las emisiones (indirectas) en materia de energía eléctrica se consultaron los factores de emisión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) emitidos por el Comisión Reguladora de Energía (CRE) desde el 2014 a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para el cálculo de Registro Nacional de Emisiones (RENE) (Ver Anexo 1).

Dichos factores se consultaron en la página oficial de SEMARNAT, que, de acuerdo con la metodología descrita por la misma secretaría en el *Acuerdo que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero*, Artículo 5, fracción IV. Estos deben multiplicarse por el consumo energético total del municipio (Ecuación 5).

$$EI_{GEI} = ConsE \cdot fE \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

$EI_{GEI}$  = Emisiones indirectas de gases de efecto invernadero por consumo de energía eléctrica [tCO<sub>2eq</sub>].

$ConsE$  = Consumo de energía eléctrica total del municipio [MWh].

$fE$  = Factor de emisión [ tCO<sub>2eq</sub>/ MWh].

La estimación de las emisiones (directas) de GEI con base a la utilización de combustibles en el sector transporte y doméstico se llevó a cabo mediante la metodología establecida por el *Acuerdo que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero*, Artículo 5, fracción II y fracción III, respectivamente.

Una vez obtenida la información de la cantidad de combustible utilizado para cada tipo de actividad, se aplicaron los cálculos descritos por el Acuerdo. Cabe resaltar que los valores del Poder Calorífico (PC) se consultaron en la CONUEE, mientras que el Factor de Emisión (FE) para cada combustible se halló dentro del mismo Acuerdo antes mencionado (Ver Anexo 2 y 3).

### 3.4.5 Residuos Sólidos

En la generación de residuos sólidos urbanos se acudió al Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México, publicado por el INEGI, en los años 2011, 2013, 2015, 2017, 2019 y 2021 que contienen datos correspondientes a un año anterior del publicado. En tales documentos se analizó la parte de residuos sólidos donde se proporcionan la cantidad diaria por lo que se estandarizaron los datos a un periodo anual.

### **3.5 Análisis e interpretación de los resultados**

Mediante los datos recopilados se realizó un balance porcentual del incremento o decremento (según sea el caso) de los parámetros estudiados para identificar el comportamiento y su relación con algunos aspectos socioeconómicos y actividades principales presentes en la entidad. Para realizar este tipo de acciones se trabajó con softwares como SPSS 26 y hojas de cálculo (Excel). Para identificar o graficar la región estudiada se elaboraron mapas temáticos con softwares de Sistemas de Información Geográfica, como ArcGIS y QGIS.

## **Capítulo 4. Resultados y Discusión**

Para el estudio del metabolismo extendido es necesario analizar las características socioeconómicas del territorio, además de su estado en el aspecto ambiental y cómo estas dimensiones se relacionan. Por esta razón, en este capítulo se presentan los resultados en serie temporal para analizar su comportamiento en el periodo descrito, del diagnóstico social y económico del municipio tomando en cuenta indicadores básicos como el crecimiento de la población, densidad poblacional, cobertura de servicios básicos (agua potable, drenaje y energía eléctrica) y el índice de marginación. Además, se consideran los parámetros económicos como el IMAE y el comportamiento de las actividades económicas esenciales de Toluca a través de los años, describiéndolos de manera gráfica.

En la situación medioambiental de Toluca se analiza el estado atmosférico, hídrico y el uso de suelo, tomando en cuenta sus condiciones, a través de datos e información obtenidos por parte del Ayuntamiento de Toluca y la SEMARNAT, mediante un análisis temporal ofreciendo la visualización de los cambios transcurridos en el municipio, con la finalidad de relacionarlos a los cambios sociales y metabólicos del mismo, ya que son elementos esenciales donde se desarrolla el metabolismo urbano.

### **4.1 Diagnóstico socioeconómico y ambiental en el municipio de Toluca**

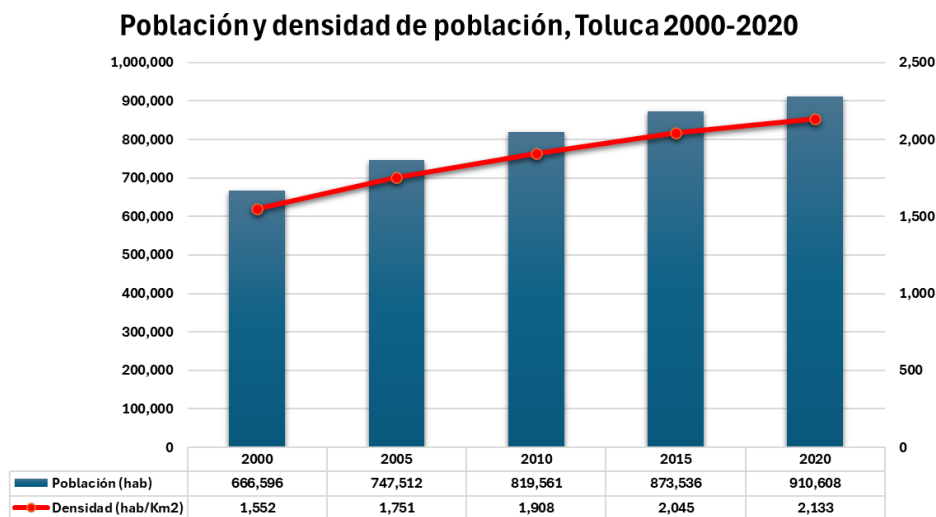
#### **4.1.1 Social**

##### *4.1.1.1 Población*

En el año 2020, el municipio tenía una población de 910,608 habitantes, de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2020) y el Plan de Desarrollo Municipal 2022-2024 (Ayuntamiento de Toluca, 2022), presentando una Tasa de Crecimiento Anual (TCA) de 1.06%, desde el 2010. Sin embargo, el crecimiento disminuyó cerca de un 39% con respecto a los años anteriores. Además, la densidad poblacional fue de 2,133 habitantes por km<sup>2</sup> en el 2020, lo que representó casi el 4.3% de crecimiento respecto al 2015, que fue de 2,045 hab/km<sup>2</sup> (Figura 9).

La población en Toluca también ha presentado un crecimiento en las zonas no urbanas, mixtas y rurales, en el año 2020, presentándose este aumento en las localidades periféricas del municipio, un fenómeno llamado *periurbanización*<sup>10</sup> (Figura 10). Este comportamiento es debido al efecto de la *metropolización*<sup>11</sup> del municipio, ocasionando modificaciones en la dinámica social y demográfica (Valdes y Jiménez, 2021).

Figura 9. Crecimiento de la población y densidad de Toluca en el periodo 2000 al 2020.

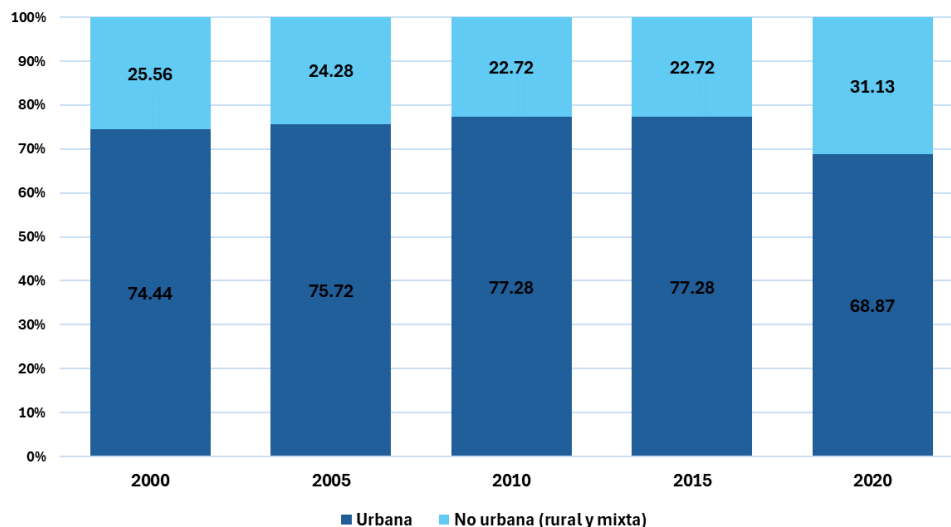


Fuente: Elaboración propia con base en Ayuntamiento de Toluca (2022).

<sup>10</sup> De acuerdo con Campos et al., 2022, (citando a Rio et al., 2010) la periurbanización es definida como “una nueva designación del espacio urbanizado referido a la extensión discontinua de la urbanización, el crecimiento urbano en forma de expansión dispersa, en nebulosa”.

<sup>11</sup> La época de industrialización (1980 – 2000) del municipio de Toluca provocó una aceleración en la urbanización, creando una conurbación entre los municipios cercanos: Metepec, Lerma, Zinacantepec, San Mateo Atenco, Ocoyoacac y Xonacatlán, formando la Zona Metropolitana de Toluca. Esta urbanización tuvo un gran alcance por el desarrollo de la infraestructura vial, conectando a los municipios y al Distrito Federal (ahora Ciudad de México). Hasta ahora, esta transformación ha continuado, donde los espacios son ocupados por fraccionamientos, casas de interés social, desarrollos inmobiliarios de clase media y alta, vialidades, parques industriales y comercio (Ayuntamiento de Toluca, 2018; Valdes y Jiménez, 2021).

Figura 10. Distribución porcentual de la población urbana y rural de Toluca en el periodo 2000 al 2020



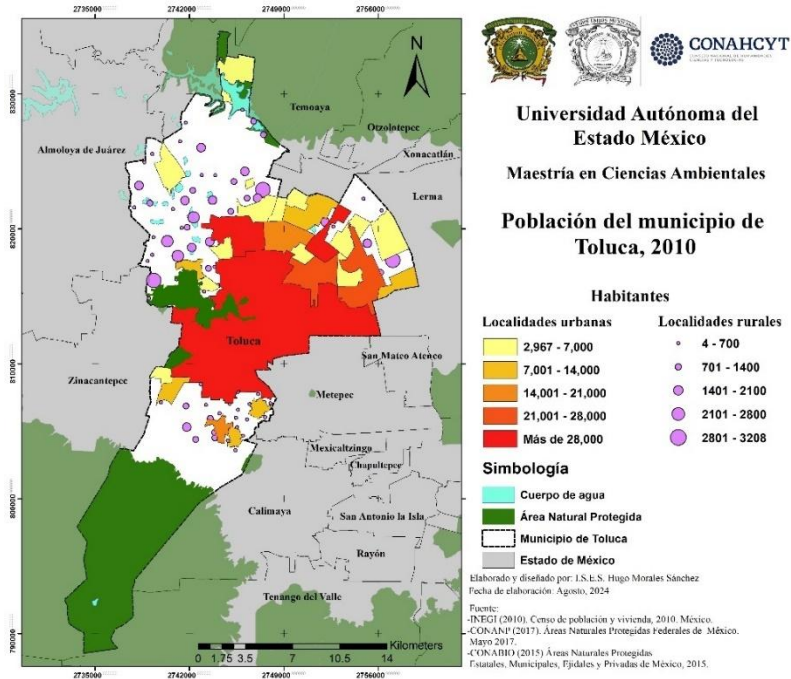
Fuente: Elaboración propia con base en Ayuntamiento de Toluca (2022).

De acuerdo con el INEGI (2020), las localidades centrales de Toluca presentan una mayor densidad de población, mientras que las localidades periféricas tienen un efecto inverso, esto surge debido a la existencia de asentamientos humanos *dispersos o fragmentados*<sup>12</sup>. De manera gráfica, esto puede verse en las Figuras 11 y 12, donde en el 2010 la población se concentraba más en el centro del municipio, pero a través de los años, el norte y noreste del territorio tuvo un mayor crecimiento, incluso existió fragmentación de las localidades debido al aumento de la población. Así mismo, puede visualizarse el crecimiento de las zonas rurales, en la misma dirección, habiendo un cambio de uso de suelo significativo.

<sup>12</sup> El proceso de conurbación, el desarrollo de actividades económicas y el cambio de uso de suelo son responsables de la existencia de este tipo de fragmentación en la periferia del municipio. Se estima que existe una densidad de aproximadamente 10 a 14 viviendas por hectárea. Asimismo, la presencia de conjuntos urbanos, parques industriales y nodos comerciales impulsa la fragmentación

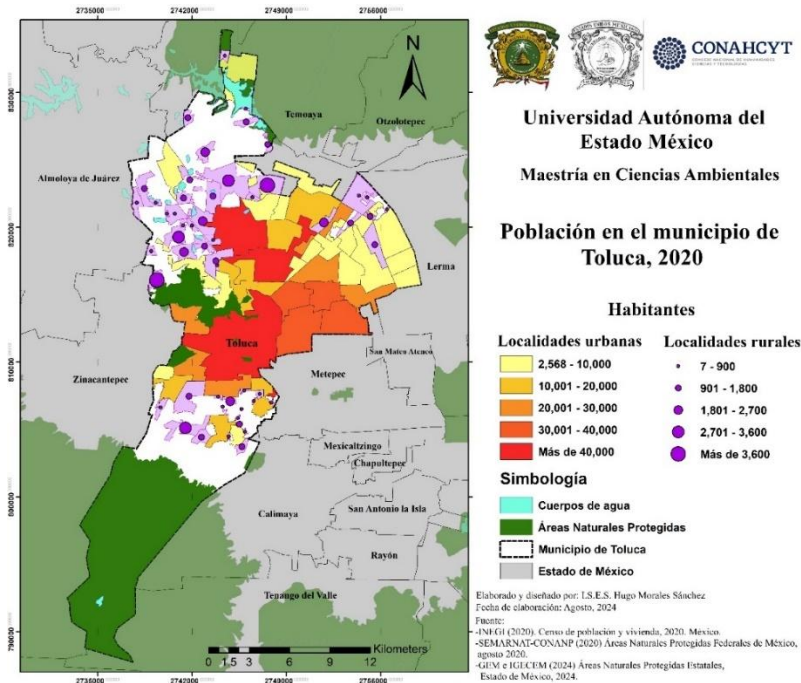
En el 2018 existían cerca de 1, 110 hectáreas donde se asentaban más de 15,000 viviendas, ubicadas principalmente en el norte y sur de Toluca. Algunas de las delegaciones en donde es más notorio este fenómeno son: Cacalomacán, Calixtlahuaca, Caputitlán, San Buenaventura, San Cristóbal Huichochitlán, San Juan Tilapa, San Mateo Oxtotitlán, San Pedro Totoltepec, Santa Ana Tlapaltitlán, Santa Cruz Atzacapotzaltongo, Santiago Miltepec, Santa María Totoltepec y Santiago Tlacotepec (Ayuntamiento de Toluca, 2018).

Figura 11. Población por las localidades del municipio de Toluca, 2010.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2010).

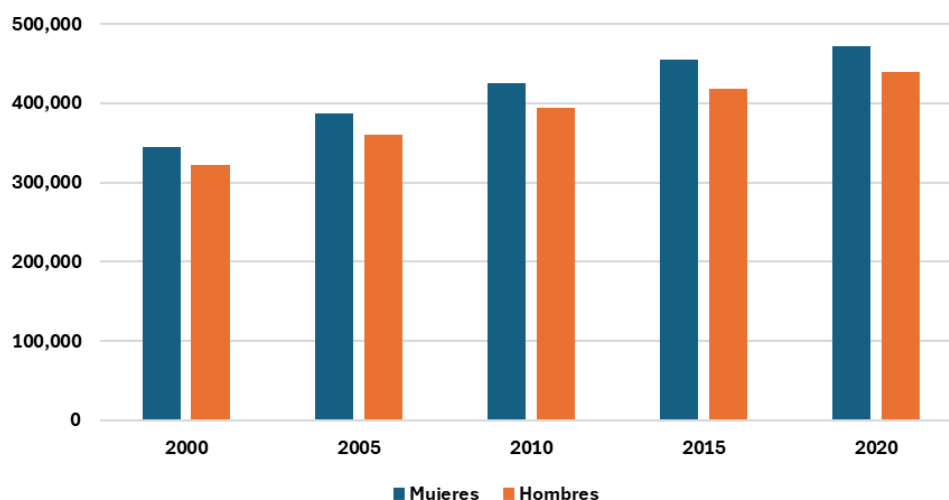
Figura 12. Población por las localidades del municipio de Toluca, 2020.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2020).

En el contexto de la población por género, cerca del 52% de los habitantes del año 2000 eran mujeres mientras que el restante de hombres. En el año 2020, este mismo comportamiento se mantendría, ya que el mismo porcentaje se presentaba. (Figura 13).

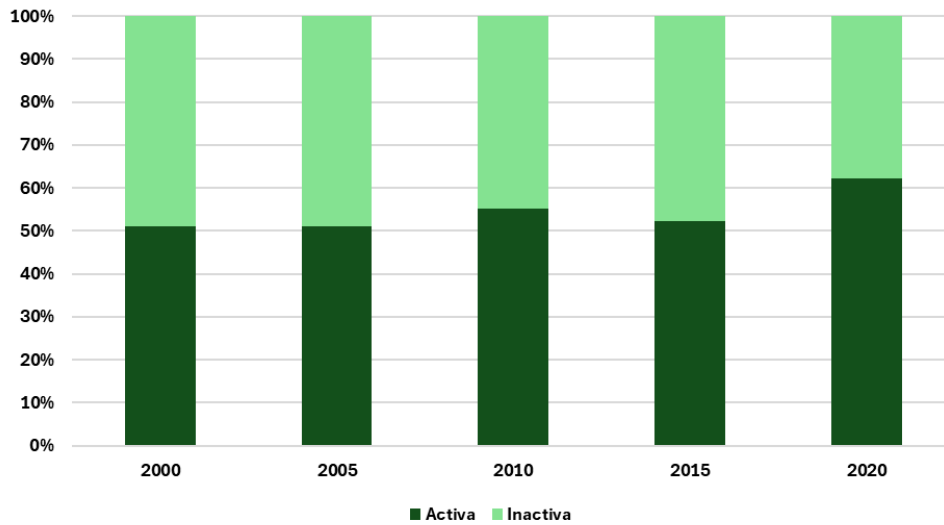
Figura 13. Población según sexo, Toluca, 2000 – 2020.



Fuente: Elaboración propia con base en Agenda Estadística Municipal (IGECEM, 2000 – 2020).

Desde la perspectiva en la participación económica, en el 2000 la población de 15 años y más con alguna condición de actividad económica era de 456,506 habitantes, donde casi el 51% era activa y el 49% era inactiva. Para el año 2010, la población creció a 615, 108 habitantes, de los cuales el 55% era activa, mientras que el 45% tenía una actividad económica inactiva. En el 2020, el porcentaje de la población activa económicamente había crecido con un 62%, mientras que la inactiva era de 38%. (Figura 14).

Figura 14. Población por condición económica en Toluca, 2000 – 2020.



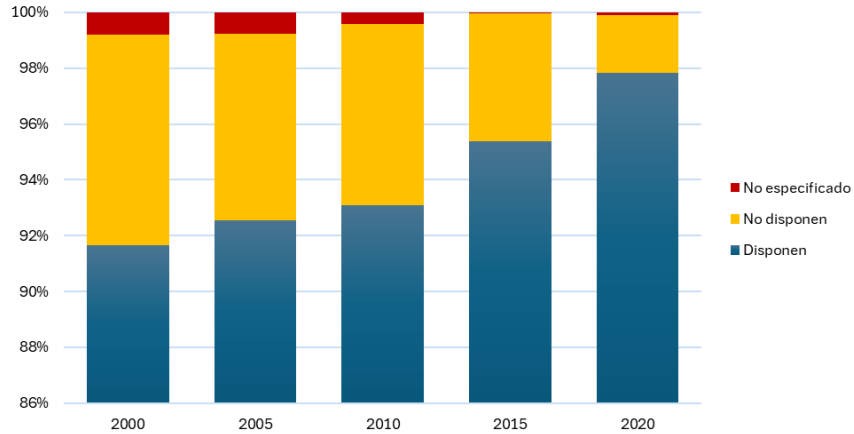
Fuente: Elaboración propia con base en Agenda Estadística Municipal (IGECEM, 2000 – 2020).

#### 4.1.1.2 Servicios básicos en viviendas

En el aspecto de vivienda es importante destacar que del 2000 al 2020, en el municipio se han incrementado los servicios de agua potable, drenaje y energía eléctrica, esenciales para una buena calidad de vida.

Específicamente, en el tema del servicio de agua potable, en el 2000 el municipio reportaba un total de 137,666 viviendas, donde el 91.67% contaban con el servicio, 7.53% no disponía y 0.8% no se especificaba, mientras que para el 2020 este servicio abarcaba el 97.84% de un total de 239,528 viviendas reportadas, con un 2.06% que no disponían y tan sólo un 0.1% no se especificó (Figura 15).

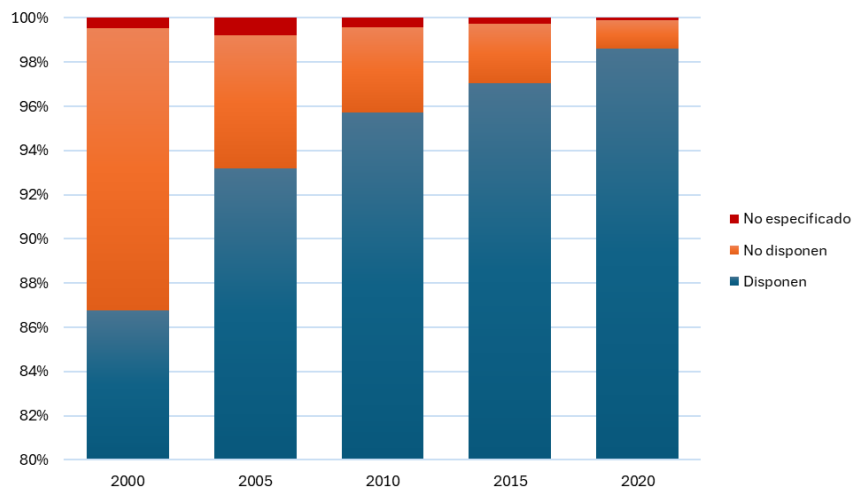
Figura 15. Cobertura de servicio de agua potable en el periodo 2000-2020.



Fuente: Elaboración propia con base en Ayuntamiento de Toluca (2022).

En el contexto sanitario, a inicios del siglo, 121.396 viviendas presentaban servicio de drenaje, es decir, una cobertura de 86.77%, mientras que el 12.77% no contaban y 0.45% no se especificaba. Para el 2020, las viviendas con disponibilidad de servicio aumentaron a 98.60% (236,302), abarcando gran parte del municipio, sobre todo en la zona céntrica, pero, por otro lado, el 1.29% de las viviendas no disponían (Figura 16).

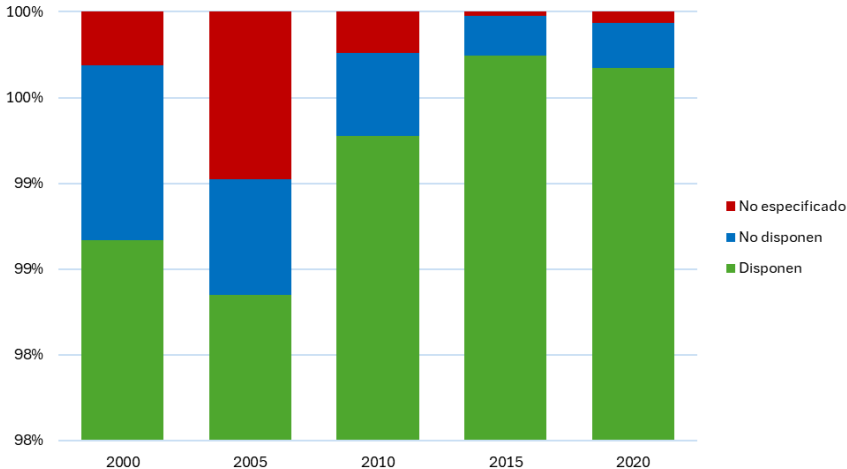
Figura 16. Cobertura del servicio de drenaje en el periodo 2000- 2020.



Fuente: Elaboración propia en base a Ayuntamiento de Toluca (2022).

En el suministro de energía eléctrica, en el 2000, el número de viviendas con servicio reportado fue de 135,844, es decir, el 98.98%, sin embargo, el 1.02% no disponían y 0.31% no se especificó; para el año 2020 el porcentaje que contaba con energía eléctrica aumentó a 99.74% (238,576) y menos de 1% era la suma entre las que no disponían y no se especificaba (Figura 17).

Figura 17. Cobertura del servicio de energía eléctrica en el periodo 2000 al 2020.

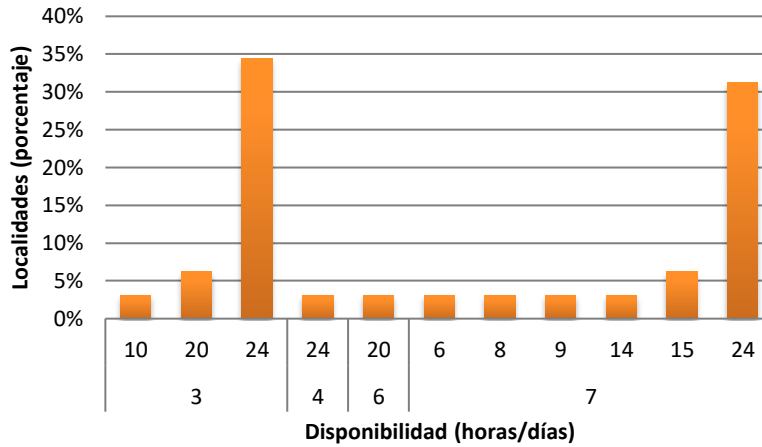


Fuente: Elaboración propia en base a Ayuntamiento de Toluca (2022).

Los servicios básicos han ido incrementando en las viviendas a tal grado que han disminuido considerablemente las que no cuentan con dichos servicios, sin embargo, esto no significa que dichos servicios son cubiertos en su totalidad. Tal es el caso del suministro de agua que no es constante para todas las localidades dentro del municipio.

Según datos del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México, edición 2021 y 2023 (INEGI, 2022, 2024), de 32 localidades censadas dentro del municipio, en 2021, el 34% contó con el servicio durante tres días a la semana, con una disponibilidad de 24 horas durante esos días; el 31% tuvo un servicio de siete días con una disponibilidad de 24 horas dentro de esos días, y el restante tuvo un comportamiento variable donde se puede visualizar el fenómeno *del tandeo* en el municipio (Figura 18).

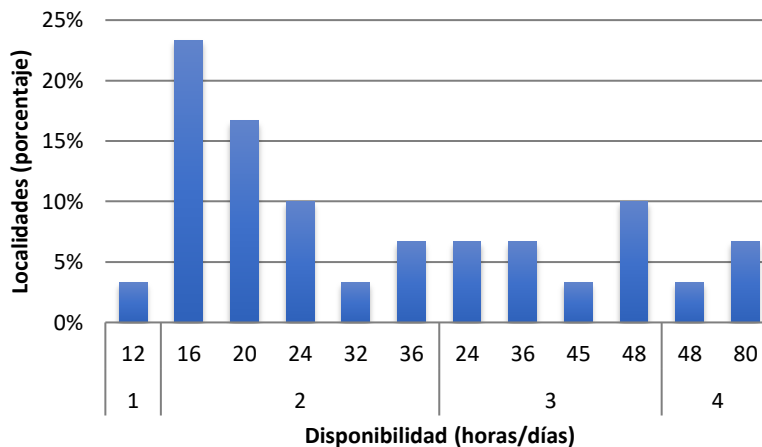
Figura 18. Disponibilidad de servicio de agua potable en localidades, 2021.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2022).

En 2023, se censaron 30 localidades de Toluca, donde la disponibilidad se comportó de una manera más dispersa, es decir, el 23% recibió el servicio dos días a la semana, durante 16 horas; el 17% tuvo una disponibilidad de dos días, durante 20 horas; el 10% se reparte entre un servicio de dos días a la semana con 24 horas y un servicio de tres días a la semana con 48 horas de disponibilidad (Figura 19).

Figura 19. Disponibilidad de servicio de agua potable en localidades, 2023.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2024).

En el tema del servicio sanitario, de acuerdo con el PMDUT (Ayuntamiento de Toluca, 2018), la infraestructura del drenaje municipal presenta algunas problemáticas como la falta de mantenimiento, que manifiesta problemáticas en épocas de lluvias, donde gran parte del escurrimiento pluvial se mezcla con agua residuales, originando que el caudal sea tan grande que las vialidades del municipio se inunden. Aunado a esto, la infraestructura se encuentra deteriorada y con la incapacidad de contener los caudales actuales que genera el municipio (Ver Anexo 4 y 5, para consultar datos de servicios básicos por localidad).

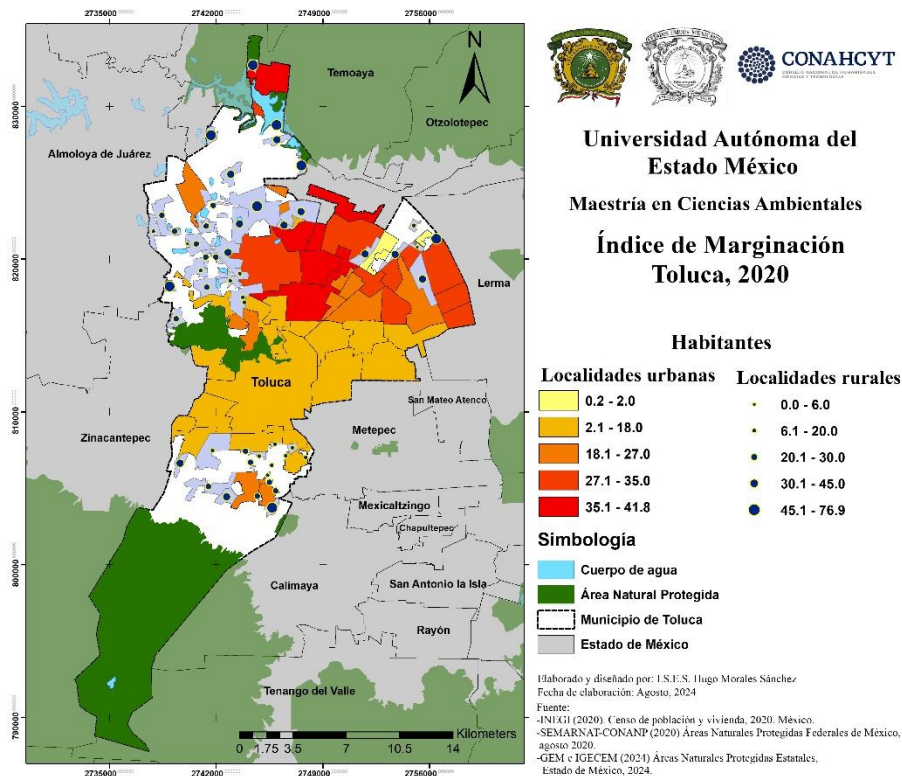
#### 4.1.1.3 Índice de Marginación

De acuerdo con el CONAPO (2023) el índice de marginación es *“una medida-resumen que permite diferenciar entidades federativas y municipios según el impacto global de las carencias que padece la población, como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas, la percepción de ingresos monetarios insuficientes y las relacionadas con la residencia en localidades pequeñas”*.

Este índice es de gran importancia para analizar el desarrollo social y territorial en la zona de estudio siendo un apoyo para evaluar el metabolismo urbano; ya que se incluyen indicadores necesarios en el ámbito de la habitabilidad tomando en cuenta los servicios básicos de las viviendas, así como indicadores en el tema de educativo y socioeconómico.

El Índice de Marginación 2020 del municipio de Toluca (CONAPO, 2020), a nivel de localidades, reporta que las zonas con una mayor marginación se hallan en la periferia norte del municipio. En contraste con las zonas urbanas ubicadas en el centro del municipio, donde se cuentan con mayores servicios y hay una mayor actividad económica debido a que existe mayor densidad poblacional y un mejor equipamiento urbano originando una dinámica socioeconómica más eficiente (Figura 20).

Figura 20. Índice de marginación 2020, Toluca.



Fuente: Elaboración propia con base en CONAPO (2020).

Las localidades del Barrio San Mateo, Rancho San Bartolo, el Ejido de Oxtotitlán y San Carlos son unas de las más marginadas, sin embargo, Las Misiones, Hacienda Santín, Villa Toscana, Sauces y Las Bugambillas son localidades que presentan un menor índice de marginación (Ver Anexo 6).

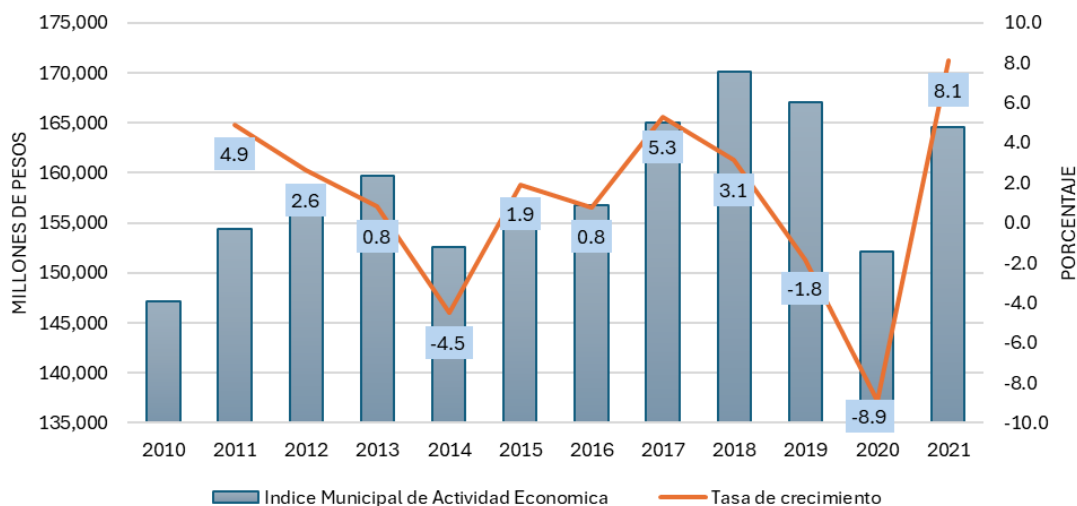
Comparando la Figura 12 y la Figura 20 es notorio el contraste que existe entre cada una de las localidades. Es decir, donde se halla menor población, ubicada más alejada de centro del municipio, existe una mayor marginación. Mientras que las zonas urbanas centrales tienen un menor índice de marginación, aunque éstas se encuentran más pobladas.

Esto puede proporcionar una premisa: las localidades centrales son quienes mayor participan en el comportamiento metabólico del municipio, ya que es donde hay una mayor dinámica social lo que genera una mayor necesidad de energía y recursos naturales; además, se tiene la infraestructura y equipamiento para aprovecharlos. Por otro lado, en las localidades periféricas no existe el sustento de servicios para que se lleve a cabo una habitabilidad digna y de calidad (Ayuntamiento de Toluca, 2018).

#### 4.1.2 Economía

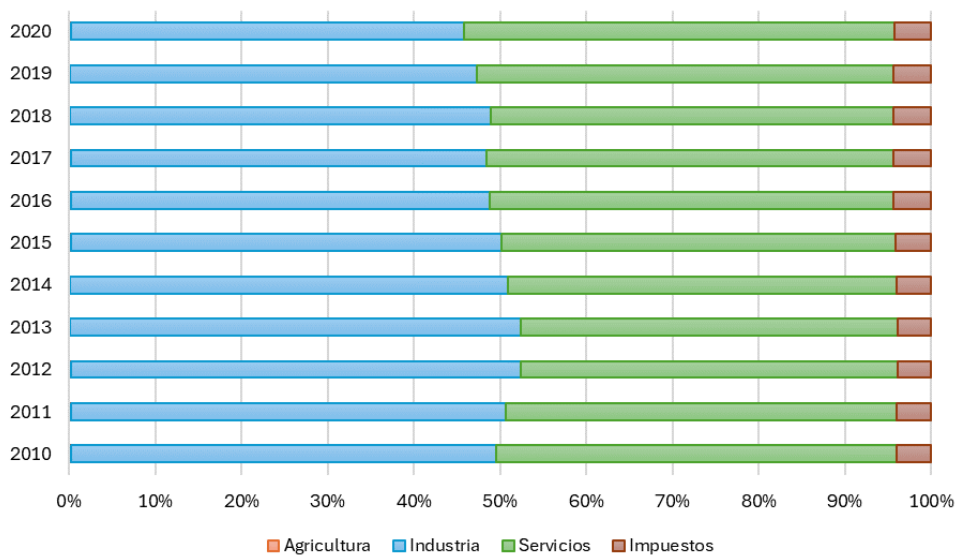
Una manera de medir el desarrollo económico municipal es a través del Índice Municipal de Actividad Económica (IMAE), desarrollado por el IGECEM. En el caso de Toluca, para el año 2020 tuvo un IMAE de 152,173.5 millones de pesos, siendo el más bajo después del año 2010 debido a la pandemia de COVID-19, donde el crecimiento económico se vio mermado por la crisis sanitaria (Figura 21). Las actividades terciarias o de servicios son las que más participación tuvieron con un 52%, la actividad industrial forma parte del 47.7%, posicionándolas como la base de la economía municipal, mientras que las actividades agropecuarias sólo participan con el 0.2% del IMAE (Figura 22) (Ver Anexo 7, para consultar por año).

Figura 21. Indicador Municipal de Actividad Económica 2010-2021



Fuente: Elaboración propia con base en IGECEM (2022).

Figura 22. Participación de las actividades económicas en Toluca en el periodo 2010 - 2020.



Fuente: Elaboración propia con base en IGECEM (2022).

#### 4.1.2.1 Actividades primarias

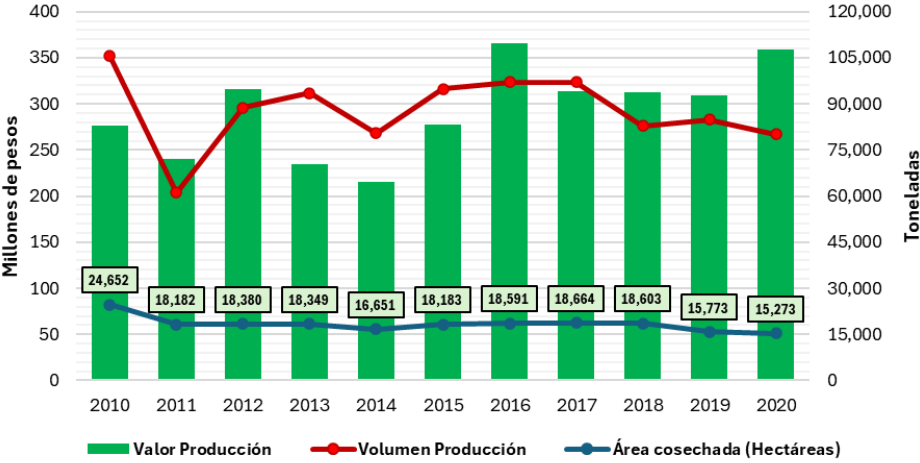
Las actividades primarias son responsables del aprovechamiento de recursos agrícolas, pecuarios, pesqueros y forestales, que son esenciales en la obtención de materias primas para después ser aprovechadas en la actividades secundarias y terciarias (Ayuntamiento de Toluca, 2022).

*Sector Agrícola.* El municipio de Toluca tiene como cultivo principal el maíz de grano con un rendimiento estimado de 4.60 toneladas por hectárea (ton/ha). Sin embargo, en los últimos años algunos de los problemas que presenta este recurso es su bajo valor agregado de producción. Esto se debe principalmente a que existen problemáticas en la producción y consumo, donde hay bajos procesos de producción, industrialización y comercialización (GEM, 2018b). Así mismo, este presenta vulnerabilidad ante la variabilidad climática, además las bajas temperaturas afectan a la producción, creando pérdidas totales o parciales (Jasso et al., 2022).

De acuerdo con el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el año 2010 tuvo un cierre agrícola con un volumen de producción de casi 106 mil toneladas y un valor de producción de 276 millones de pesos en un área sembrada de 24,752 ha y un área cosechada de 24,652 ha. Mientras que en año 2020, el volumen y valor de producción fue de 80 mil toneladas y 359 millones de pesos, respectivamente, es

decir, existió un decrecimiento de 24% en el primero, y un incremento de 30% en el segundo, respecto al 2010. La superficie sembrada y cosechada fue de 15,273 ha para el año 2020, decreciendo casi un 34% el uso de suelo para este tipo de actividad económica (SIAP, 2010 – 2020) (Figura 23).

Figura 23. Valor y volumen de producción agrícola, 2010 – 2020.



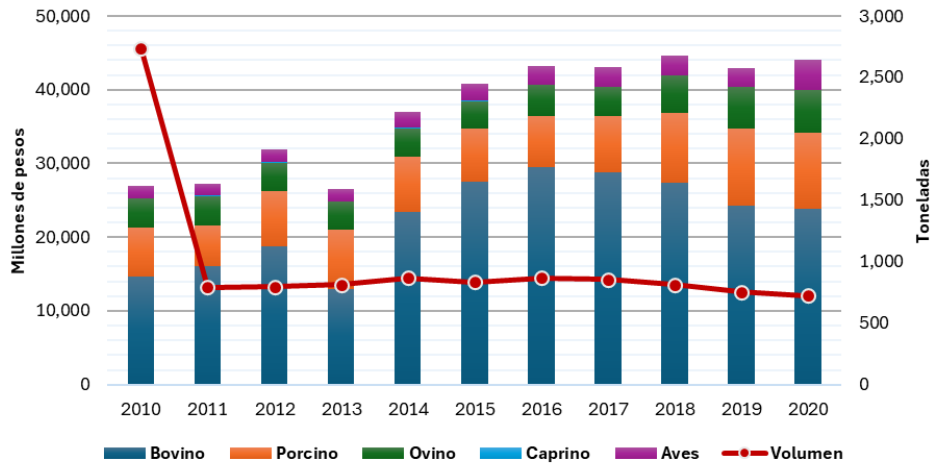
Fuente: Elaboración propia con base en SIAP (2010 – 2020).

*Sector Pecuario.* Conforme al Plan Regional XVII Toluca 2017 – 2023, el municipio es productor de leche de bovino, ganado bovino y ovino, carne bovina, porcina, ovina, caprina y aves; así mismo se produce huevo, miel, cera en greña y lana sucia (GEM, 2018b).

Algunas de las localidades protagonistas en la crianza de cabezas de ganado son: San Martín Totoltepec, San Juan Tilapa, San Pedro Totoltepec, Santiago Tlacotepec, Andrés Cuexcontitlán y Cacalomacán (Ayuntamiento de Toluca, 2022).

El año 2010 fue uno de los años que presentó mayor volumen de producción de carne, con 2,737.74 toneladas, encabezado por la carne bovina y porcina. Para el año 2020, este volumen se redujo a 724.58 toneladas (decreció un 73.5%), siendo el mismo tipo de carne la más producida. Económicamente, el año 2010 tuvo un valor de producción de casi 27 mil millones de pesos elevándose a casi 44 mil millones de pesos, creciendo casi un 63% en 2020 (Ayuntamiento de Toluca, 2022) (Figura 24).

Figura 24. Valor y volumen de producción pecuaria, 2010 – 2020.



Fuente: Elaboración propia con base en Ayuntamiento de Toluca (2022).

*Sector forestal.* No es una de las actividades principales en el municipio, ya que solo se reportan un total de 2987 m de rollo, en el 2017, lo que equivale a 2, 931 pesos.

#### 4.1.2.2 Actividades Secundarias

La actividad industrial es una de las más importantes que se realiza en el municipio de Toluca. Según el IMAE, en el 2009, esta actividad representó el 49% en la participación económica del municipio, siendo el sector de la industria manufacturera la que encabezó con un 86% en los ingresos. Para el año 2019 la industria participó con un 47% en la economía municipal, del cual el 91% se debía a la participación de la industria manufacturera.

De acuerdo con el PDMT 2022-2024 este sector es representado principalmente por tres subsectores como lo son:

1. Fabricación de equipo de transporte.
2. Industrial alimentaria
3. Industria de bebidas y tabaco.

Algunas de estas empresas que entran en este grupo son: Chrysler, General Motors, Bimbo, Nestlé, Unilever, Nissan, Bayer, entre otras.

Los demás sectores que se encuentran en este rubro son: minería, construcción y generación/distribución de energía eléctrica que para el año 2009 constituyeron su participación con el 0.03, 11.2 y el 2.9% respectivamente. En el 2019, la participación de la actividad minera y construcción decreció un 0.001 y 5.5%, respectivamente. Pero la actividad de generación de energía eléctrica aumentó a 3.5%. Esto es develador en el estudio, ya que se puede distinguir la transición de las actividades económicas dentro del municipio.

#### 4.1.2.3 Actividades terciarias

Estas actividades principalmente se conforman de los servicios, bienes y el comercio, englobando algunas actividades como: transporte, servicios profesionales, servicios financieros, servicios escolares, alimentos, artesanías, etc. (Ayuntamiento de Toluca, 2022).

En este ámbito las actividades que se clasifican en: comercio al por mayor, comercio al por menor, servicios profesionales, científicos y técnicos, servicios de salud y asistencia social y servicios de alojamiento y preparación de alimentos, son las que representan el mayor número de Unidades Económicas (UE) en el territorio (en comparación a las demás actividades realizadas).

El comercio al por mayor engloba la venta de materias primas agropecuarias y forestales, para la industria, y materiales de desecho, seguido por el comercio de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco, siendo ambos ramos lo que presentan un mayor personal ocupado.

Dentro del comercio al por menor se hallan actividades como el comercio de abarrotes, alimentos y bebidas que se posicionan como los más influyentes, seguido por el comercio al por menor de vehículos de motor, refracciones, combustibles y lubricantes, representando una mayor generación económica, y también los que ofrecen mayor personal ocupado.

Conforme a la investigación realizada por Gaspar y Orozco (2015) se puede mencionar que este tipo de sector económico es uno de los más importantes en el municipio, debido a que gran parte de los espacios urbanos actualmente tienden al consumo en lugar de la producción. Además, este tipo de actividades da

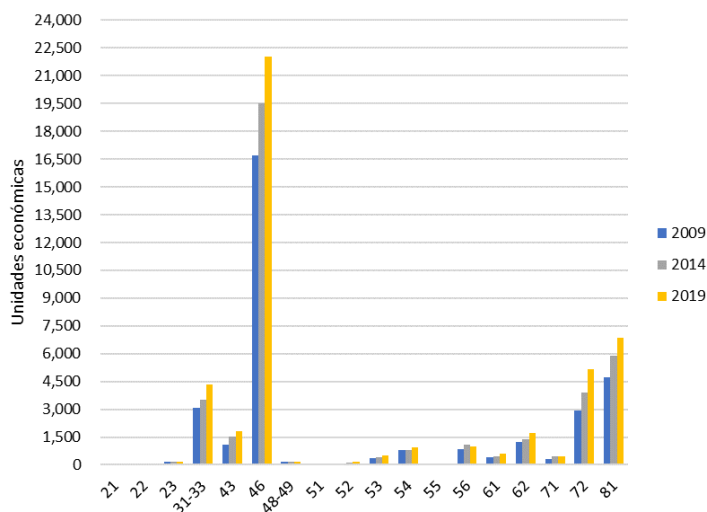
hincapié al incremento de la urbanización ya que constituye como una actividad principal en localidades periféricas sustentando el crecimiento de la población.

Aunado a lo anterior, las actividades de servicios como bibliotecas, museos, hoteles, así como algunos que están involucrados en actividades culturales y de recreación, son importantes para el municipio. Sin embargo, con la pandemia de la COVID-19 estas actividades tuvieron un decrecimiento de casi un 24.5% en el número de usuarios.

En el sector transporte, de acuerdo con el INEGI (2010-2020), en 2009, el municipio contaba con 148 UE, de los cuales el autotransporte de carga, servicios relacionados con el transporte y transporte terrestre de pasajeros eran las principales actividades que lo constituían, para el 2019, las UE aumentaron a 185, donde las actividades antes mencionadas seguían siendo las principales.

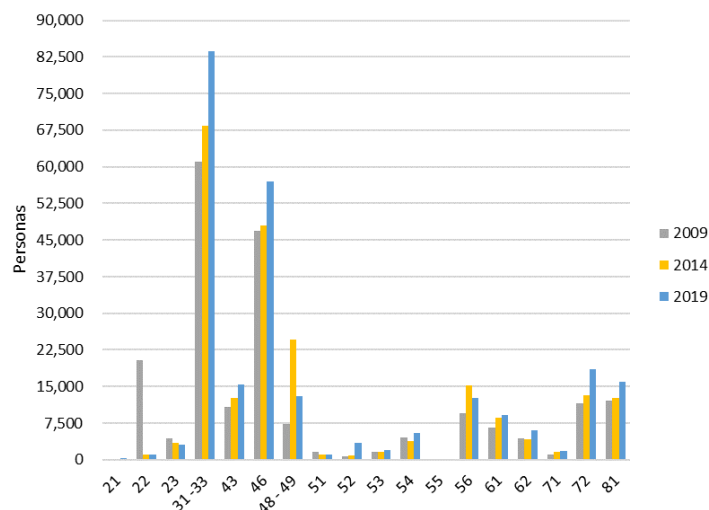
En resumen, es posible visualizar el comportamiento de las UE a través de los años censados, donde se puede notar que las actividades terciarias son un componente principal del municipio, el cual ha crecido significativamente (Figura 25). Así mismo, es posible observar que el incremento del personal ocupado en dichas actividades va relacionado al incremento de las UE en el último año censado (Figura 26). En la tabla 11 es posible consultar las respectivas claves para cada actividad económica (Ver Anexo 8 para observar datos por año).

Figura 25. Comportamiento de UE, 2009 – 2019, en el municipio según sector económico.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2010 – 2020).

Figura 26. Comportamiento de personal ocupado, 2009 – 2019, según sector económico.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2010 – 2020).

Tabla 11. Claves de los sectores económicos en México.

Clave	Sector económico
21	Minería
22	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final
23	Construcción
31 -33	Industrias manufactureras
43	Comercio al por mayor
46	Comercio al por menor
48 - 49	Transportes, correos y almacenamiento
51	Información en medios masivos
52	Servicios financieros y de seguros
53	Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles
54	Servicios profesionales, científicos y técnicos
55	Corporativos
56	Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación
61	Servicios educativos
62	Servicios de salud y de asistencia social
71	Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos
72	Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas
81	Otros servicios excepto actividades gubernamentales

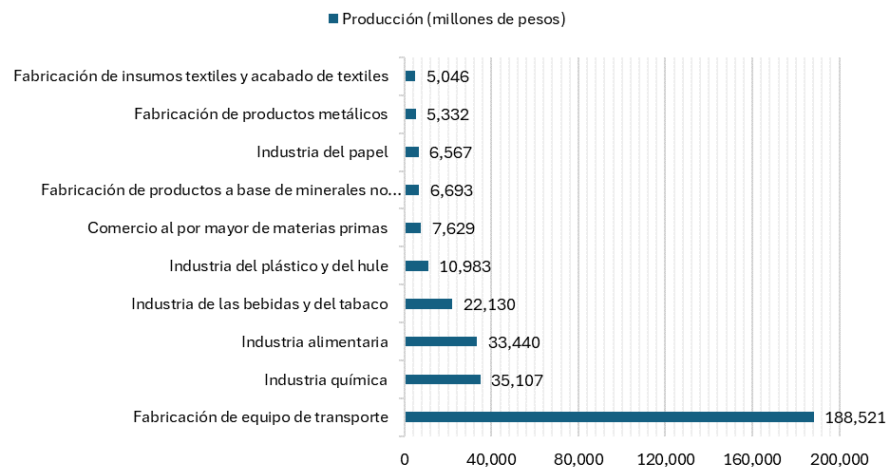
Fuente: Con base al SCIAN (INEGI, 2023).

#### 4.1.2.4 Principales actividades en el municipio de Toluca en el gasto de agua, energía y combustibles.

Con base a lo anterior, y mediante el Censo Económico 2019 realizado por el INEGI (2020), es posible identificar qué actividades económicas son primordiales para el desarrollo socioeconómico del municipio, tomando en cuenta su producción total y el número del personal ocupado. Sin embargo, esto también debe analizarse desde otra perspectiva, por ejemplo, el gasto monetario en el consumo de agua, energía y combustibles que van relacionados directamente al consumo físico de los recursos mencionados.

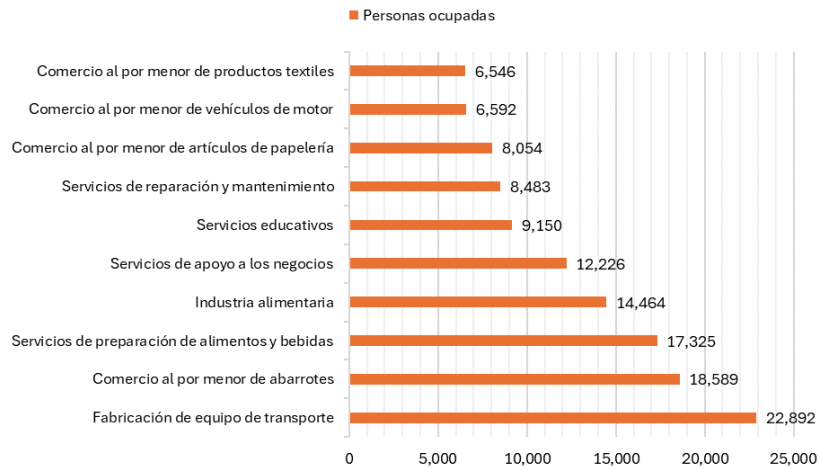
Para el municipio de Toluca, una de las principales actividades con mayor producción bruta en el 2019 fue la fabricación de equipo de transporte con una cantidad de 188,521 millones de pesos, seguido por la industria química y alimentaria con 35,107 y 33,440 millones de pesos, respectivamente (Figura 27). En el número de personal ocupado, la fabricación de equipo de transporte, el comercio al por menor de abarrotes y los servicios de preparación de alimentos tuvieron 22,892, 18,589 y 17,325 de empleados, respectivamente (Figura 28).

Figura 27. Actividades económicas con mayor producción bruta, Toluca.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2019).

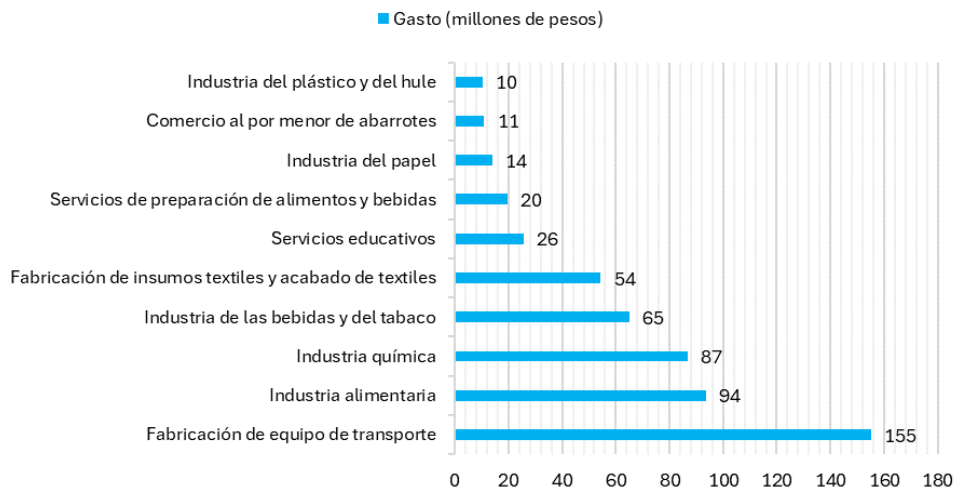
Figura 28. Actividades económicas con más personal total ocupado, Toluca.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2019).

En el caso del consumo de agua, las actividades que más contribuyeron a este gasto fueron: fabricación de equipo de transporte, industria alimentaria y la industria química con 155, 94 y 87 millones de pesos respectivamente (Figura 29).

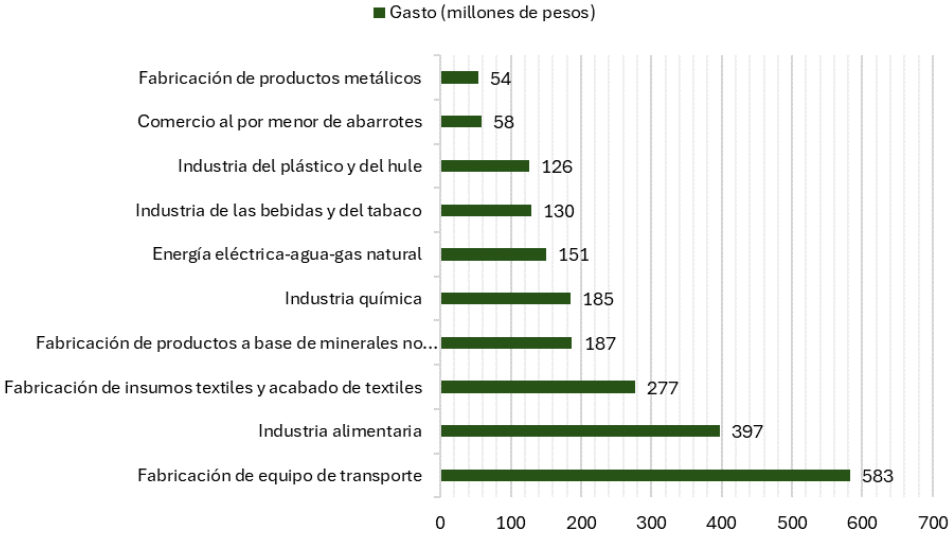
Figura 29. Actividades económicas con mayor gasto en el consumo de agua, Toluca.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2019).

En la temática del gasto de energía eléctrica, las actividades fueron: fabricación de equipo de transporte, industria alimentaria y fabricación de insumos y acabados textiles contando con 583, 397 y 277 millones de pesos, respectivamente (Figura 30).

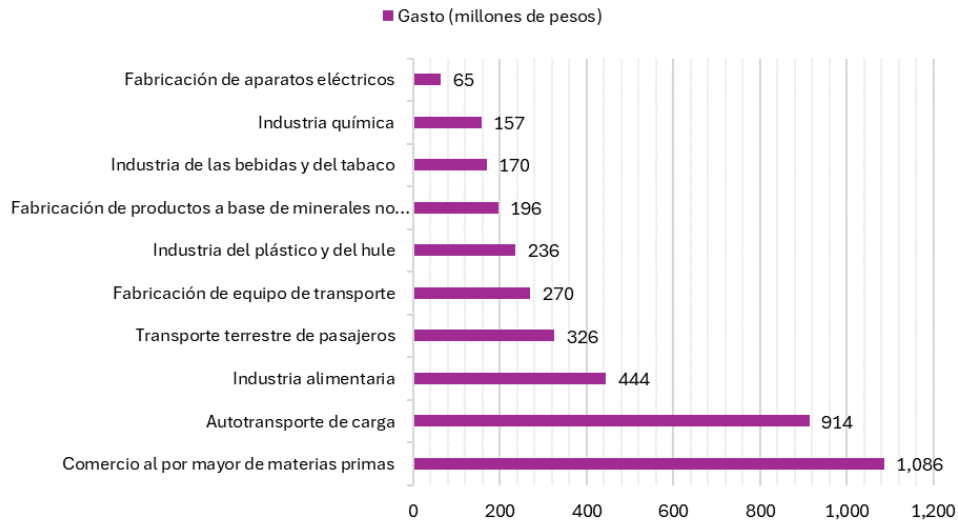
Figura 30. Actividades económicas con mayor gasto en el consumo de energía eléctrica, Toluca.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2019).

En el gasto en combustibles las actividades de comercio al por mayor de materias primas, autotransporte de carga e industria alimentaria encabezan la lista con 1,086, 914 y 444 millones de pesos, en ese orden (Figura 31).

Figura 31. Actividades económicas y su gasto en el consumo de combustibles, Toluca.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2019).

En resumen, se puede observar que la fabricación de equipo de transporte es una de las actividades que más participa en la actividad económica, siendo líder en producción y personal ocupado, encabeza también el gasto en el consumo de agua y energía eléctrica. Sin embargo, las industrias alimentaria y química, siendo unas de las más importantes en la participación económica, también se ubican dentro de las principales que más gastos tienen en agua y energía. Por otro lado, las actividades terciarias como: comercio al por mayor de materias primas y autotransporte de carga son las que encabezan el gasto en el consumo de combustibles, apareciendo la industria alimentaria en tercera posición. Esto es revelador para el estudio, ya que, si bien este no es el consumo físico de los recursos citados, es bien sabido que un gasto económico es directamente proporcional al consumo del material adquirido o requerido, lo que apoyaría a visualizar qué tipo de actividades participa más en este ejercicio. En este caso es posible deducir que las actividades secundarias y terciarias conllevan un mayor gasto en agua, y energía.

#### 4.1.3 Medio ambiente

Una vez estudiada la dinámica socioeconómica del municipio, como el fenómeno de la periurbanización, y las actividades económicas llevadas a cabo en el mismo, es posible remarcar los principales impactos

ambientales, como el uso del suelo, las emisiones de GEI, la calidad atmosférica y, por supuesto, la calidad y disponibilidad hídrica. A continuación, se presentarán algunas características ambientales del municipio.

#### 4.1.3.1 Uso de suelo

De acuerdo con el Ayuntamiento de Toluca, mediante el Plan de Desarrollo Municipal 2022-2024 (Ayuntamiento de Toluca, 2022) y el PROMACC (Ayuntamiento de Toluca, 2021), el uso de suelo y la vegetación que predomina en el territorio son: la agricultura de riego, agricultura de temporal, los asentamientos humanos y vegetación secundaria arbórea de bosque de pino (Tabla 12).

**Tabla 12. Distribución de vegetación y uso de suelo.**

Uso de suelo y vegetación	Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie (%)
Agricultura de temporal	109.72	25.7
Agricultura de riego	95.86	22.46
Agricultura de humedal	14.79	3.47
Agricultura de temporal y permanente	1.22	0.29
Asentamientos humanos	113.39	26.56
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	41.93	9.82
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	1.84	0.43
Pastizal inducido	24.38	5.71
Pradera de alta montaña	10.87	2.55
Cuerpo de agua	5.99	1.4
Sin vegetación aparente	5.6	1.31
Bosque de oyamel	0.73	0.17
Bosque de pino	0.54	0.13
<b>TOTAL</b>	<b>426.86</b>	<b>100</b>

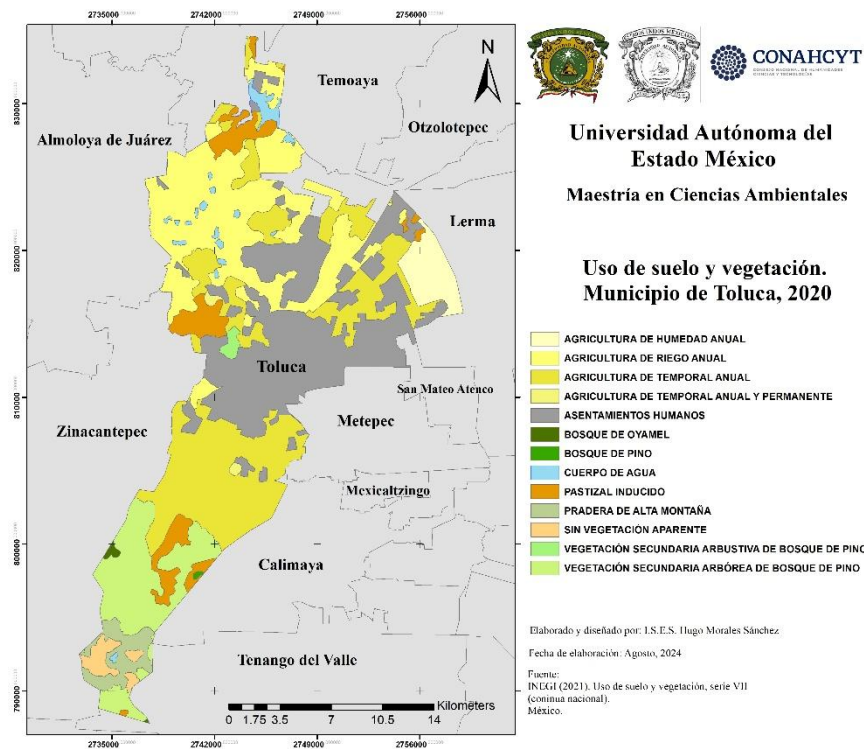
Fuente: Ayuntamiento de Toluca, (2022).

De acuerdo con esto, la vegetación secundaria y arbustiva, junto con el pastizal inducido y la pradera de alta montaña, se localizan al sur, principalmente en las faldas del Nevado de Toluca; las actividades agrícolas (englobando las tres citadas anteriormente) se ubican principalmente en el norte del municipio

y del Nevado de Toluca; los asentamientos humanos se concentran principalmente en el centro y en el norte del municipio. Los cuerpos de agua se encuentran dispersos al norte y noreste, y la vegetación de bosques de oyamel y pino se hallan en pequeñas cantidades en el área que comprende el Área de Flora y Fauna Nevado de Toluca (Figura 32).

De acuerdo con el PROMACC, la problemática más recurrente en las áreas de bosques, praderas y pastizales son los incendios, además la práctica de la agricultura ocasiona erosión e infertilidad en el suelo debido a prácticas intensivas y uso de agroquímicos, contaminando a su paso los cuerpos de agua.

Figura 32. Mapa de uso del suelo y vegetación de Toluca.



Fuente: Elaboración propia con base en información de INEGI (2021).

Dentro de las zonas urbanas, uno de los aspectos más importantes de conocer es la cantidad de áreas verdes existentes. Puesto que estas zonas no solo cumplen un rol estético o paisajístico en la ciudad, sino que contribuyen a diversos servicios ecosistémicos como: 1) la regulación de la temperatura, enfriando hasta 8°C (mitigando el fenómeno *isla de calor*); 2) atenuando la polución atmosférica, debido a que un árbol

en promedio absorbe cerca de 150 kg de CO<sub>2</sub> al año; y 3) aumentando la biodiversidad de la zona (UNECE, 2019).

De acuerdo con el Índice de Biodiversidad de Toluca (Ayuntamiento de Toluca, 2019) se determinó que el municipio presenta un índice de 6.9 m<sup>2</sup> de área verde por habitante, no obstante, quitando las áreas naturales protegidas, el índice disminuye a solo 0.14 m<sup>2</sup> por habitante. Este dato resulta preocupante ya que de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) por habitante debería existir entre 9m<sup>2</sup> y 15 m<sup>2</sup> de áreas verdes (González de Canales, 2011).

#### 4.1.3.2 Atmósfera

Las actividades urbanas son unas de las principales causantes del cambio climático. Según ONU-Habitat, el cambio climático es la alteración que existe en el efecto invernadero del planeta, donde la temperatura global se eleva año con año, aunado a este fenómeno existe una irregularidad en los ciclos naturales de los ecosistemas, ya que principalmente esta alteración es hecha por las actividades antropogénicas y los asentamientos urbanos (UN-Habitat, 2021).

La contaminación atmosférica es uno de los temas estructurales en el cambio climático. Según el PROMACC, en el municipio el principal emisor de GEI es la actividad energética con un 93.36% distribuido en los sectores de transporte con un 88.7%, posteriormente la industria manufactura con un 6.15%, y el sector residencial con un 5.15%.

Los RSU emiten 5.37% de GEI, siendo los procesos industriales y las actividades agropecuarias las que menos participan, con menos 0.64% y 0.30% respectivamente. Dentro de los procesos industriales, el manejo del vidrio es el único que genera emisiones, siendo de 35,58Gg de CO<sub>2eq</sub>

En las actividades primarias, dentro de la categoría de “Ganado” y “Fermentación entérica”, la actividad bovina es la que genera mayores emisiones, en segundo lugar, la parte ovina, en tercero la porcina y, como último elemento, los conejos y aves de corral, con 79.71%, 16.85%, 2.57%, 0.86%, respectivamente. Es importante mencionar que en este sector las emisiones solo son de metano (CH<sub>4</sub>).

En la categoría de “Gestión de estiércol”, el sector bovino representa el 73.79% de emisiones de metano y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), seguido por la actividad porcina que tiene 24.74%, y al final la parte ovina y conejos/aves de corral representan menos del 1% cada una.

La siguiente categoría: “Fuentes agregadas y fuentes de emisiones de CO<sub>2</sub> de la tierra/Emisiones de GEI por quemado de biomasa”, posiciona a la quema de biomasa de tierras forestales como la actividad más contaminante con el 91.89%, siendo el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso los principales compuestos emitidos. La aplicación de urea representa el 8.11% restante.

Las emisiones por parte de los residuos, se enfatiza que la quema a cielo abierto de residuos sólidos representa el 0.25%, mientras que el tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales, y el tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales representan el 87.65% y el 12.10 %, respectivamente, siendo el CO<sub>2</sub> uno de los compuestos más emitidos.

En síntesis, se puede observar que uno de los sectores donde más se emiten GEI es la parte energética, seguida por el sector de residuos (Tabla 13). Si bien la actividad primaria tiene diferentes categorías en donde se desarrollan las emisiones, estas no corresponden a una participación significativa, que iría relacionado con su poca participación económica.

**Tabla 13. Emisiones producidas por sector.**

Sector	Emisiones anuales de CO <sub>2</sub> eq [Gg/año]			Emisión de CO <sub>2</sub> eq [Gg/año]	
	Gas			Total	%
	C <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O		
Energía	5,028.69	16	163.42	5,208.11	93.36
Procesos industriales	35.58	0	0	35.58	0.64
Actividad agropecuaria	7.93	8.88	0.47	17.28	0.3
Residuos	0.41	302.57	14.25	317.23	5.7
<b>Total</b>	<b>5,072.61</b>	<b>327.45</b>	<b>178.14</b>	<b>5,578.2</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia con base a Plan Municipal de Cambio Climático de Toluca (2021).

Además del inventario de los GEI por parte del municipio, también es posible analizar la contaminación atmosférica mediante su calidad. De acuerdo con los datos obtenidos por la Red Atmosférica de Monitoreo del Aire de la ZMVT (RAMA) y mediante el Índice Metropolitano de la Calidad de Aire (IMECA), encargado de estimar los niveles de contaminantes atmosféricos criterio como: PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, ozono (O<sub>3</sub>),

monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en la zona metropolitana.

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) (2024) y con la NOM-025-SSA1-2021, el material particulado (PM) es un contaminante atmosférico resultado de la mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas, como polvo, suciedad, hollín o humo. Que permanecen suspendidas en la atmósfera por periodos variables de tiempo, dependiendo de su composición y su fuente de emisión. Principalmente este contaminante está constituido por: sulfatos, nitratos, amonio, carbono elemental y orgánico, elementos traza, sales, bioaerosoles y metales pesados. De acuerdo con su emisión, pueden clasificarse como primarias, aquellas que son emitidas directamente por alguna fuente contaminante, o secundarias, las cuales son resultado de diversas reacciones químicas entre gases y partículas primarias.

El ozono (O<sub>3</sub>), de acuerdo con la NOM-020-SSA1-2014, es un contaminante secundario que es formado por una reacción fotoquímica entre emisiones primarias de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), compuestos orgánicos volátiles (COV<sub>s</sub>) o hidrocarburos (HC<sub>s</sub>) en presencia de radiación solar, en conjunto a las condiciones geográficas, climatológicas y meteorológicas del ambiente.

La NOM-021-SSA1-2021, menciona que el monóxido de carbono (CO) se origina como resultado de la combustión incompleta del material que contiene carbono, como los combustibles (gasolina, gas natural, petróleo, carbón, tabaco, etc.).

Mientras tanto la NOM-023-SSA1-2021 enfatiza que el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es un contaminante de origen primario, a partir de la oxidación del nitrógeno atmosférico durante la combustión, o secundario, por la oxidación en la atmósfera de monóxido de nitrógeno (NO), que se origina a partir de la combustión de los vehículos. Dentro de sus principales efectos, es responsable en la formación de ozono troposférico de ambientes urbanos y rurales. Junto con el NO, forman parte del grupo de los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), de acuerdo con la EPA (2024) y a la NOM-022-SSA1-2010, se origina por actividades antropogénicas como: la combustión del carbón y el petróleo en plantas de energía eléctrica, principalmente, o en la fundición de cobre. Mientras tanto, se origina de manera natural por las erupciones volcánicas o en la combustión de compuestos ricos en azufre. Afecta áreas urbanas y rurales mediante la llamada "lluvia ácida" así como en la calidad del aire en su estado natural, o bien, por su contribución en formación de aerosoles inorgánicos secundarios, perjudiciales para la salud humana.

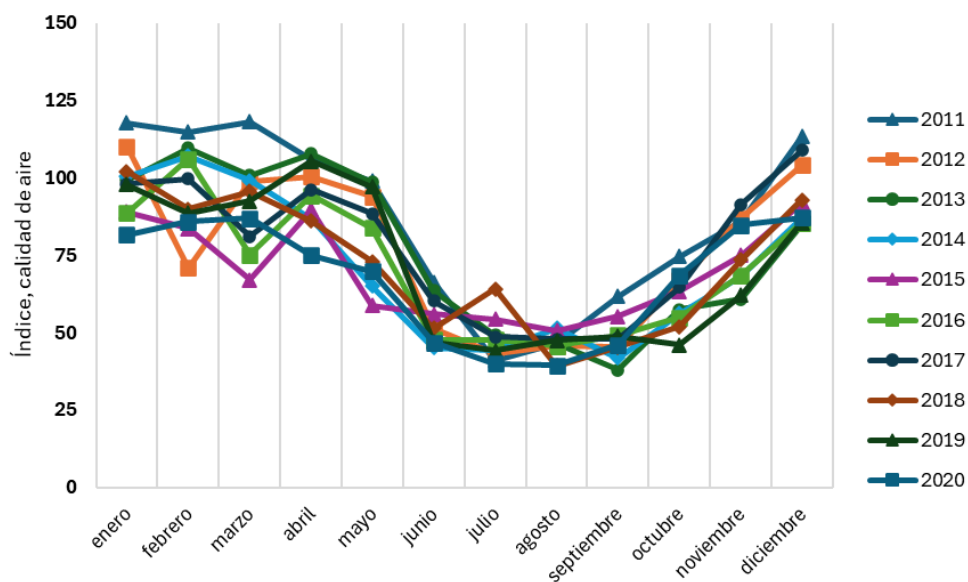
Del año 2010 al 2020, las concentraciones promedio al año de PM<sub>10</sub> son unas de las más elevadas en el municipio. Existe un comportamiento particular, en donde los meses de estiaje son los que presentan una elevación de este tipo de contaminante, teniendo un Índice de Calidad de Aire (Tabla 14) arriba de 115 puntos, equivalente a una condición “Mala” (de noviembre a mayo), la cual llega a descender en épocas de lluvias entre 40 y 50 puntos, manteniendo una condición “Buena”, aunque son pocos los meses que mantiene una condición “Regular” (de junio a octubre), por lo que se podría interpretar que la calidad del aire varía en el transcurso del año (Figura 33).

**Tabla 14. Escala de Índice de Calidad de Aire (IMECA).**

Intervalo	0 - 50	51- 100	101 - 150	151 - 200	201 - más de 300
Calidad de Aire	Buena	Regular	Mala	Muy mala	Extremadamente mala

Fuente: Con base a la norma NADF-009-AIRE-2017.

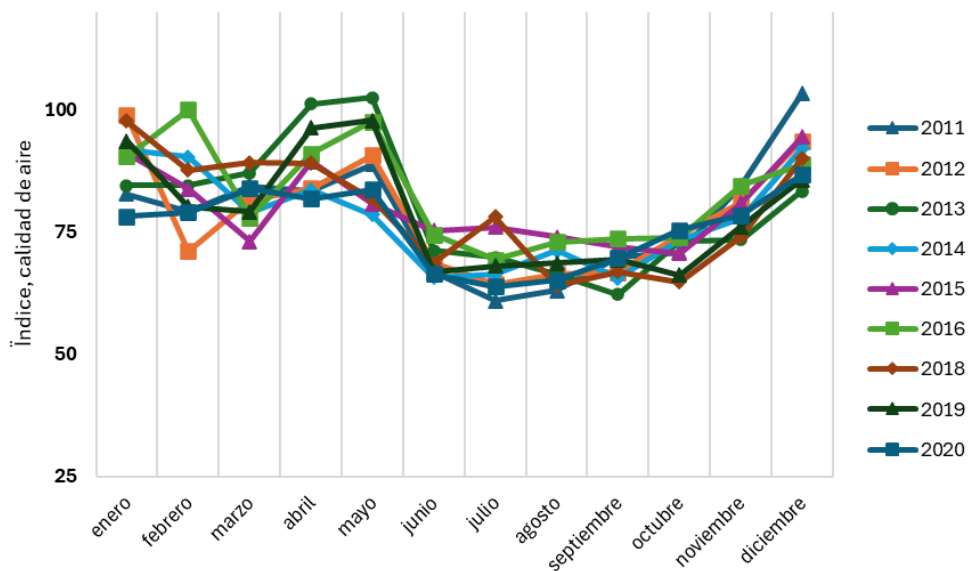
Figura 33. IMECA Toluca, PM<sub>10</sub>, 2011 - 2020.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la RAMA.

Bajo el mismo periodo también se analizó el comportamiento del contaminante  $PM_{2.5}$ , que es muy similar al anterior, sin embargo, este registró valores menores en el límite superior del índice, respecto al  $PM_{10}$ , pero valores más bajos en el límite inferior. Es decir, sus valores promedios más altos se aproximan a los 105 puntos y se registran entre diciembre- enero, abril y mayo, esto refleja una calidad de aire “Regular”, mientras sus valores más bajos oscilan entre los 60 y 70 puntos dentro del índice, y están en los meses de junio a octubre, sin embargo, la mayoría de estos valores siguen hallándose dentro de una calidad de aire “Regular”. En resumen, la calidad de aire respecto a este contaminante mantuvo una condición de “Regular” durante el periodo estudiado (Figura 34).

Figura 34. IMECA, Toluca,  $PM_{2.5}$ , 2011 – 2020.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la RAMA.

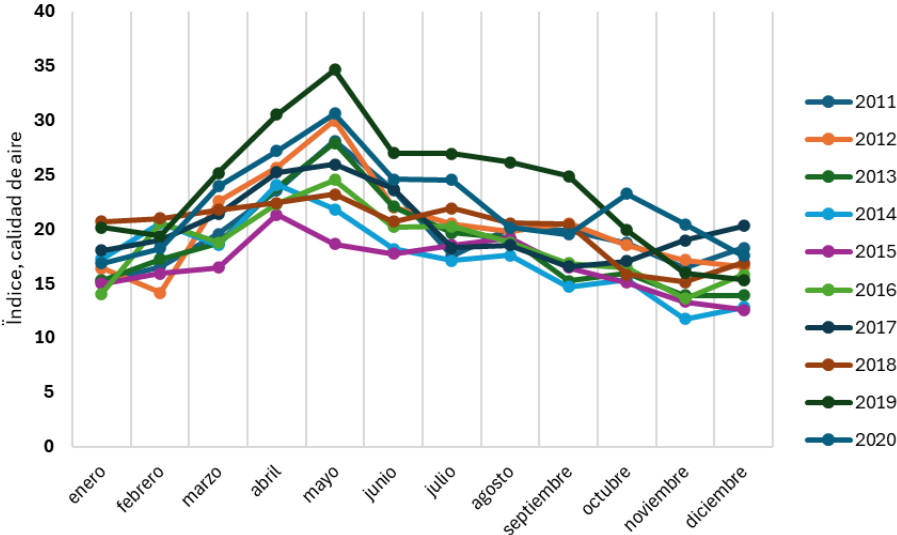
Aunque no es el objetivo analizar el comportamiento de estos contaminantes es posible observar que las épocas estacionales influyen en sus concentraciones. Es decir, en la época de lluvias la calidad de aire se ve beneficiada por el fenómeno llamado “deposición húmeda”. Donde la humedad atmosférica (en forma de lluvia, niebla, granizo, etcétera) juega un rol importante, disolviendo gases y partículas llevándolas al suelo. Esto se da principalmente en compuestos que componen los contaminantes PM. Además, durante este periodo, el crecimiento de la cobertura vegetal y arbórea también beneficia el ambiente asimilando y

absorbiendo algunos contaminantes, mediante los ciclos biogeoquímicos, y regulando la temperatura (Venfilter, 2024).

Para los contaminantes restantes ( $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ) se observó que existe un comportamiento diverso entre ellos, sin embargo, ninguno logra rebasar el intervalo de una condición de calidad de aire “Buena”, por lo que no afecta significativamente la calidad del aire.

En el caso del ozono ( $O_3$ ), los datos registrados más elevados son de casi 34 puntos y se presentan en el mes de mayo, un fenómeno que ocurre en casi todos los años, sin embargo, el 2019 tuvo valores más elevados en la década durante todos lo meses (Figura 35).

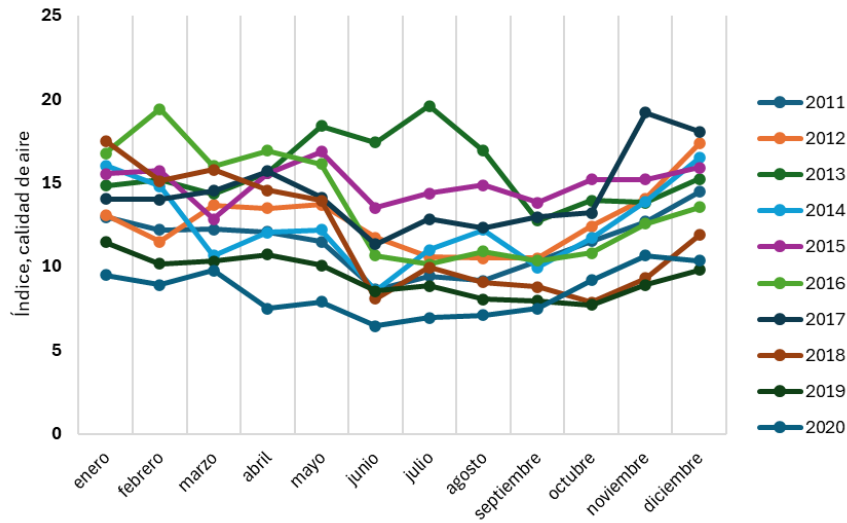
Figura 35. IMECA, Toluca,  $O_3$ , 2011 – 2020.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la RAMA.

En el caso del bióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), hay una dispersión en cada uno de los años, por lo que no existe un comportamiento en específico, sin embargo, sus valores máximos llegan cerca de los 20 puntos y los mínimos están cerca de los cinco puntos (Figura 36).

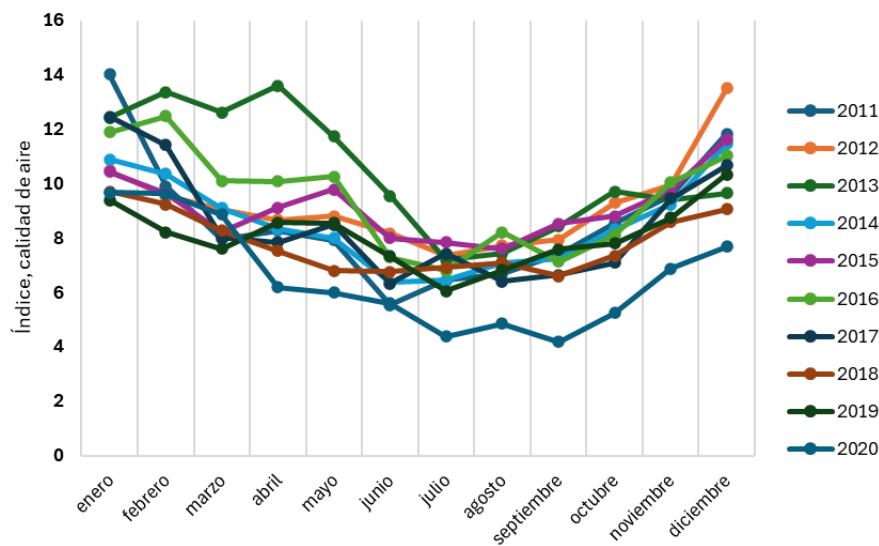
Figura 36. IMECA, Toluca, NO<sub>2</sub>, 2011 – 2020.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la RAMA.

Para el monóxido de carbono (CO), los datos promedios anuales mantienen un comportamiento parecido a los PM's, donde los valores máximos se presentan en los meses iniciales del año y los mínimos están en épocas de lluvia, sin embargo, estos no rebasan los 15 puntos (Figura 37).

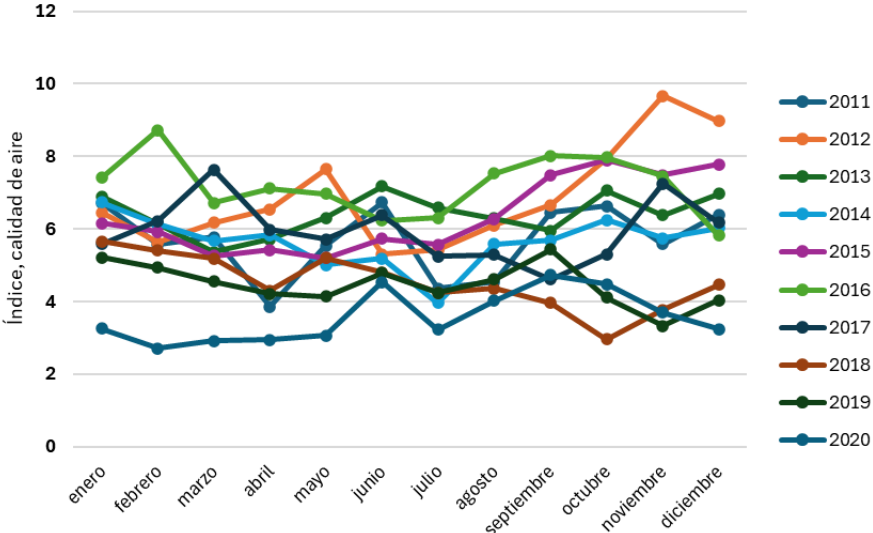
Figura 37. IMECA, Toluca, CO, 2011 - 2020



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la RAMA.

El comportamiento disperso también se presenta en el bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), donde no se rebasan los diez puntos del índice (Figura 38).

Figura 38. IMECA, Toluca, SO<sub>2</sub>, 2011 - 2020



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la RAMA.

En resumen, cada uno de los contaminantes anteriores no tiene concentraciones que afecten a la calidad del aire, según la RAMA. Esto puede deberse a que cada uno de los compuestos descritos se originan mediante procesos primarios y secundarios específicos que no se realizan dentro en el municipio. Por ejemplo, la quema de hidrocarburos u otros combustibles para la generación de energía no se realiza dentro del municipio, asimismo, no existen fuentes naturales de SO<sub>2</sub> presentes en la zona, ni actividades industriales que involucren la emisión de este compuesto. Para hallar el origen y comportamiento específico de cada uno de los contaminantes es necesario revisar con atención las actividades económicas y domésticas que se realizan dentro del municipio, ejercicio que queda fuera del alcance de esta investigación.

#### 4.1.3.3 Agua

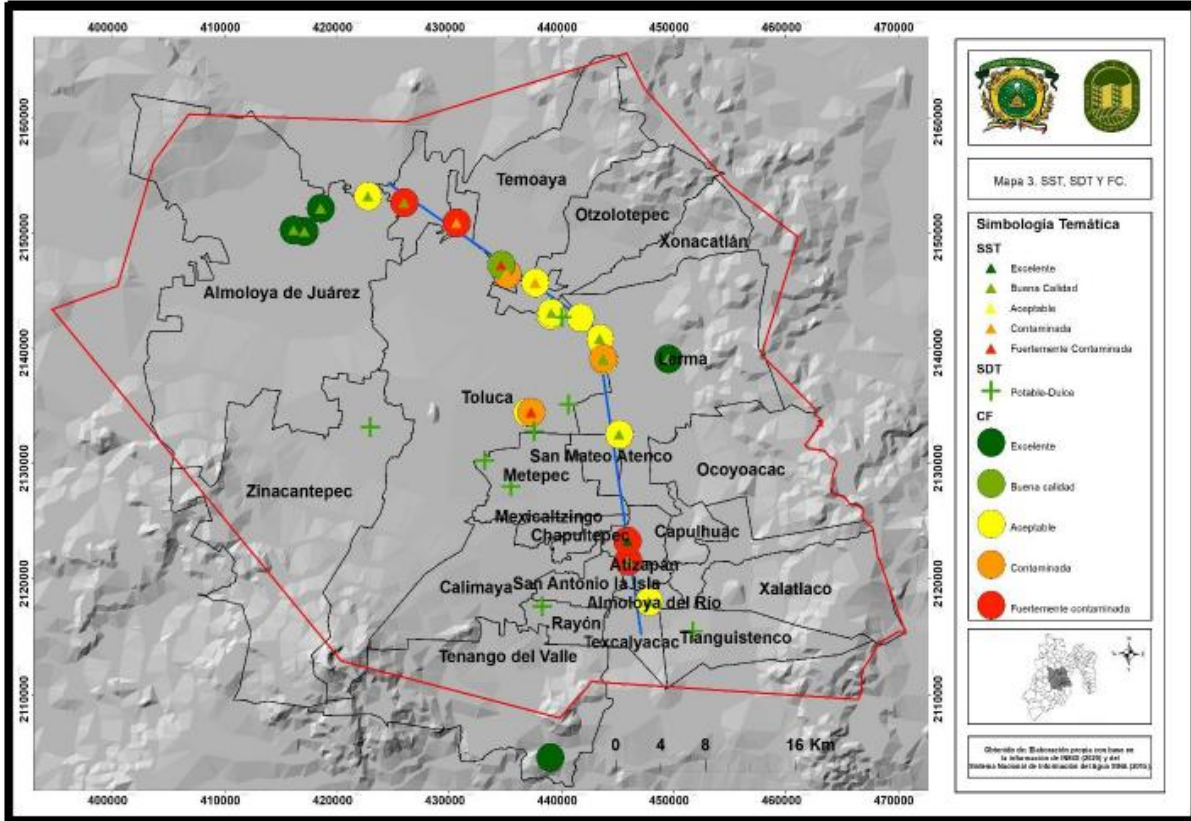
Uno de los principales factores para determinar el estado de vital líquido es la disponibilidad existente y su calidad. El municipio de Toluca se encuentra dentro de la región hidrológica RH12- Lerma. Santiago, en el acuífero 1501- Valle de Toluca, que de acuerdo con Cisneros (2021) se halla en una condición de sobreexplotación. Esto es debido a que la cantidad de extracción,  $425.136 \text{ hm}^3$ , sumada a la descarga natural comprometida,  $53.55 \text{ hm}^3$ , es superior a la recarga anual media, que es de  $336.6 \text{ hm}^3$ , teniendo una disponibilidad de  $-142.176 \text{ hm}^3$ , lo que quiere decir que se encuentra con un 40% sobreexplotado.

Además, Cisneros (2021) menciona que, dentro de la ZMT, el municipio es el que presenta con una menor calidad de agua dentro de sus cuerpos superficiales. La calidad de agua tiene como base estimar los parámetros que Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Disueltos Totales (SDT) y Coliformes fecales. Toluca presenta cinco puntos de muestreo en los cuales se tienen los siguientes resultados: 1) en el ámbito de la DQO, el municipio presenta dos puntos con una clasificación de “Contaminada” y tres puntos como “Fuertemente contaminada”; 2) respecto a la DBO, se hallan cuatro puntos clasificados como “Contaminada”, pero solo uno presenta clasificación de “Fuertemente contaminada”; 3) el parámetro de SST, presenta un punto clasificado con “Buena calidad”, un punto “Aceptable”, dos puntos como “Contaminada” y uno como “Fuertemente contaminada”; 5) dentro de los SDT, solo se encontraron ocho registros de los cuales Toluca presenta tres, estos últimos con una calificación de “Potable- dulce”; 6) en la medición de los coliformes fecales, Toluca presenta tres puntos como “Aceptable”, uno como “Contaminada” y otro como “Fuertemente contaminada” (Figura 39).

Esto evidencia que dentro del municipio la calidad y disponibilidad del vital líquido se hallan mermadas, la razón se encuentra en el crecimiento urbano, así como en la falta del tratamiento de aguas residuales. El consumo ha ido aumentando a través de los años debido al crecimiento de las viviendas, esto ha provocado cierta presión, generando acciones inmediatas, pero no sostenibles, por parte del ayuntamiento, perforando pozos para aumentar la disponibilidad y cubrir la demanda.

Por otro lado, la misma urbanización e industrialización del municipio ha originado que existan cantidades ingentes de aguas residuales, por lo que la PTAR no logran tener la capacidad de tratar dicho residuo, dando como resultado una afectación directa con la contaminación de cuerpos de agua, disminuyendo su calidad.

Figura 39. Puntos de muestreo de SST, SDT y CF de la ZMT.



Fuente: Tomado de Cisneros (2021).

## 4.2 Evaluación del metabolismo urbano

### 4.2.1 Agua potable y precipitación.

Se estimó el consumo de agua en el municipio y se obtuvieron los siguientes resultados. Para el año 2000 el consumo de agua era de 41.3 hm<sup>3</sup> aumentado cerca de 28.7% para el año 2010 con un estimado de 53.1 hm<sup>3</sup>. Y para el año 2020 se consumió cerca de 63.2 hm<sup>3</sup>, cerca de un 19% más que en 2010. Esto significa que para el año 2010, el consumo per cápita fue de 177.6 litros por día, creciendo casi un 7% para el 2020, con 190 litros al día.

**Tabla 15. Estimación de consumo de agua en Toluca, 2000-2020**

Año	Población	Consumo de agua anual (hm <sup>3</sup> /año)	Crecimiento consumo anual (%)	Consumo per cápita (m <sup>3</sup> /hab)	Consumo per cápita (L/hab)
2000	666,596	41.3	----	61.9	169.6
2005	747,512	46.5	12.6	62.2	170.4
2010	819,561	53.1	14.3	64.8	177.6
2015	873,536	59.2	11.3	67.7	185.5
2020	910,608	63.2	6.8	69.4	190.0

Fuente: Elaboración propia.

Además, de acuerdo con CONAGUA, mediante el Registro de Público de Derechos del Agua (REPD), se puede observar que el mayor volumen de agua concesionado en el municipio hasta el año 2023 era destinado para el sector doméstico, con cerca de 97 hm<sup>3</sup> por año, seguido del sector industrial con un poco más de 22 hm<sup>3</sup> anuales, posteriormente el uso agrícola tendría un volumen de casi 7 hm<sup>3</sup> y por último el sector de servicios tendría una concesión de 5.75 hm<sup>3</sup> (Tabla 16).

**Tabla 16. Volumen concesionado por año de acuerdo con el título otorgado.**

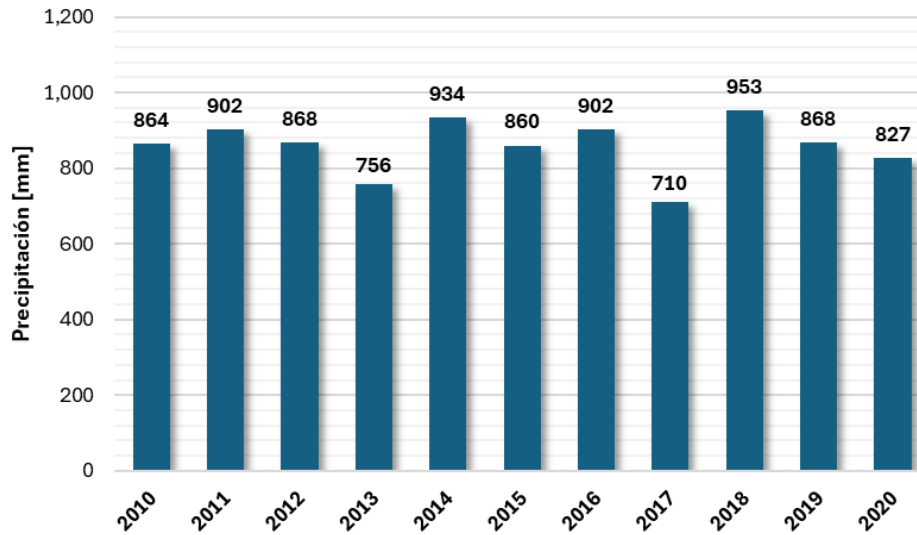
Año	Volumen (hm <sup>3</sup> )			
	Doméstico	Industrial	Servicios	Agrícola
2010	92.38	15.96	1.56	5.33
2011	0.10	0.00	0.00	0.00
2012	0.15	1.19	0.15	0.20
2013	1.48	0.57	0.00	0.06
2014	0.00	0.89	0.36	0.52
2015	0.37	0.00	0.06	0.05
2016	0.15	0.07	0.47	0.17
2017	0.00	0.16	0.42	0.02
2018	1.62	1.73	0.67	0.19
2019	0.33	0.27	0.01	0.64
2020	0.38	0.03	1.47	0.00
2021	0.00	0.07	0.00	0.00
2022	0.10	0.51	0.59	0.00
2023	0.81	0.72	0.00	0.00
<b>Total</b>	<b>97.87</b>	<b>22.17</b>	<b>5.75</b>	<b>7.17</b>

Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA (2023).

Mientras tanto la precipitación en el municipio fue la siguiente: en el territorio existió una acumulación de entre 700 y 1000 mm, siendo los años 2014 y 2018 quienes presentaron una mayor precipitación con 934 y 953 mm, equivalente a un volumen de 422 y 431 hm<sup>3</sup>, respectivamente. Sin embargo, los años con menor registro de precipitación son el 2013 y 2017, equivalente a un volumen de 342 y 321 hm<sup>3</sup>, respectivamente. En promedio, el municipio recibe 859 mm de agua en forma de precipitación al año con una variación de  $\pm 72.15$  mm, lo que es igual en volumen a  $388 \pm 33$  hm<sup>3</sup> (Figura 40).

Es importante mencionar que el agua pluvial se comporta como escorrentía en los suelos urbanizados ya que son impermeables. Este hecho dificulta la infiltración del agua al subsuelo, impidiendo una recarga de mantos acuíferos y haciendo que gran parte de la escorrentía se convierte en aguas grises que se dirigen al drenaje, aumentando el caudal, ocasionado que se sobrepase la capacidad de tratamiento de las PTAR. Ante esta problemática, las aguas residuales no reciben un tratamiento adecuado y deben ser liberadas a los cuerpos de agua correspondientes.

Figura 40. Comportamiento del agua pluvial en el municipio 2010- 2018.



Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA (2018).

#### 4.2.2 Reserva de agua

En el año 2016, el municipio contaba con 39 tanques elevados, de los cuales se hallaban en operación 32, sumando un volumen de 23, 156 m<sup>3</sup>. Si tomamos el consumo de agua estimado del año 2015, que son 59.2 hm<sup>3</sup>, es posible ver que este volumen de almacenamiento representa el 0.037% para el consumo del municipio, satisfaciendo las necesidades por un breve tiempo. En la Tabla 17, es posible observar la localización de estos, así como capacidad de almacenamiento y el material del que está hecho, mencionando su estado de funcionamiento.

**Tabla 17. Tanques elevados en el municipio de Toluca.**

<b>Numero</b>	<b>Nombre</b>	<b>Capacidad (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Material</b>	<b>Estado</b>
1	Sor Juana Inés de la Cruz	550	Concreto	Operando
2	Villa Santín I	330	Concreto	Operando
3	Geo Villas Centenario	550	Concreto	Operando
4	Sauces V	200	Concreto	Operando
5	Villa Santín II (Balcones)	450	Concreto	Operando
6	Villa Santín II (Paseos)	350	Concreto	Operando
7	Geo Villas Independencia	1, 750	Concreto	Operando
8	Geo Villas San Mateo	750	Concreto	Operando
9	El olimpo	300	Concreto	Operando
10	INFONAVIT La crespá	1, 500	Concreto	Operando
11	Héroes 1ª. Sección	300	Concreto	Operando
12	Geo Villas Independencia	450	Concreto	Operando
13	La Floresta	300	Concreto	Operando
14	Armando Neyra Chávez	190	Concreto	Operando
15	Paseo Toluca	80	Concreto	Operando
16	Sta. Mónica	90	Concreto	Operando
17	La Cruz Comalco	290	Concreto	Operando
18	Fuentes Independencia	450	Concreto	Operando
19	García Lovera	300	Concreto	Operando
20	Héroes 2ª. Sección	1, 350	Concreto	Operando
21	Rinconada del Pilar	750	Concreto	Operando
22	Las Herpérides	406	Concreto	Fuera de servicio
23	Real del Bosque	280	Concreto	Operando
24	San Jorge	250	Concreto	Fuera de servicio
25	Santa Isabel	150	Concreto	Operando
26	Las Flores	90	Concreto	Fuera de servicio
27	Las Flores	250	Concreto	Fuera de servicio
28	Bosques de Cantabria	50	Concreto	Operando
29	Galaxia Toluca	1, 250	Concreto	Operando
30	Izcalli Toluca	150	Concreto	Fuera de servicio
31	Geo Villas Los Cedros	50	Concreto	Fuera de servicio
32	Héroes 2ª. Sección	80	Metálico	Operando
33	Nueva San Francisco	180	Concreto	Fuera de servicio
34	Calvario Tlaxomulco	170	Mampostería	Operando
35	San Bernardino	300	Concreto	Operando
36	San Miguel Apinahuizco	1, 500	Concreto	Operando
37	Gigantes	1, 100	Concreto	Operando
38	Lomas altas	5, 600	Concreto	Operando
39	Santa Teresa	150	Concreto	Operando

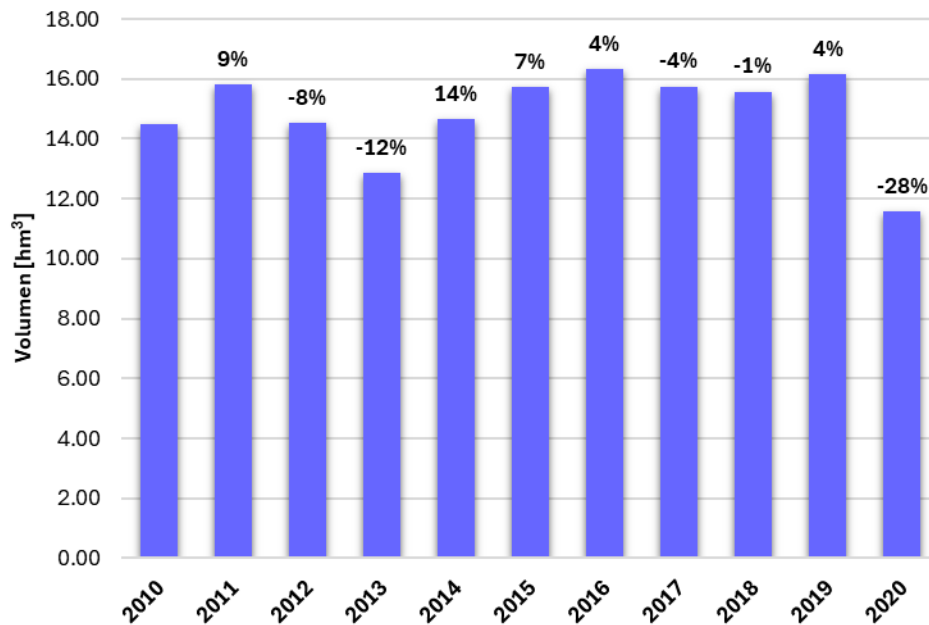
Fuente: Ayuntamiento de Toluca (2022) con base en OAyS (2016).

### 4.2.3 Aguas residuales

El promedio de las aguas residuales tratadas fue de aproximadamente 14.9 hm<sup>3</sup>, donde el año 2020 fue uno de los años con menor volumen tratado (12 hm<sup>3</sup>), sin embargo, cabe desatacar que los demás años presentan variaciones que se encuentran a  $\pm 1.48$  hm<sup>3</sup> del promedio (Figura 41).

De manera específica, en el año 2010, el tratamiento per cápita de agua residuales fue de 17.7 m<sup>3</sup>, manteniéndose para el año 2015 con 18 m<sup>3</sup> por habitante, habiendo un decrecimiento en el 2020 con 12.7 m<sup>3</sup> por habitante. Es importante recordar que en este ámbito los datos fueron proporcionados por el Departamento de Operaciones de las Plantas Tratadoras de Agua, por parte del OAyS, por lo que se estipula que la generación de aguas residuales real puede exceder de lo descrito anteriormente, ya que, de acuerdo con Plan Municipal de Toluca, cerca del 80% de las aguas residuales urbanas no son tratadas previo a su vertimiento al medio ambiente (Ayuntamiento de Toluca, 2022).

Figura 41. Generación de aguas residuales en el municipio, 2010-2020.



Fuente. Elaboración propia con base en OAST (2022).

De acuerdo con los datos del Ayuntamiento de Toluca (2022), la disposición final de las aguas residuales hasta el 2016 fue la cuenca Lerma – Toluca, donde el Río Verdiguel norte y el Canal Totoltepec reciben alrededor de 28 y 10 hm<sup>3</sup> por año de aguas residuales, respectivamente (Tabla 18).

**Tabla 18. Descargas de aguas residuales en la cuenca Rio Lerma – Toluca, 2016.**

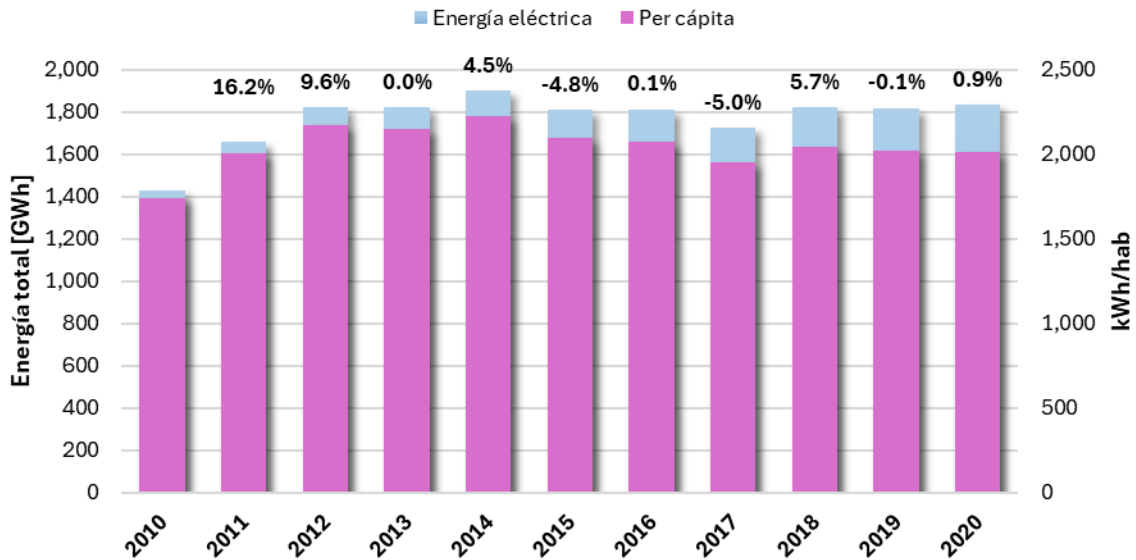
<b>Tipo de descargas</b>	<b>Volumen de descarga</b>	<b>Cuerpo Receptor</b>
<b>Municipal</b>	28, 188, 585 m <sup>3</sup> / anual	Río Verdiguel, norte
<b>Municipal</b>	7, 047, 055 m <sup>3</sup> / anual	Canal Totoltepec
<b>Municipal</b>	3, 092, 645 m <sup>3</sup> / anual	Canal Totoltepec

Fuente: Adaptado de Ayuntamiento de Toluca (2022).

#### 4.2.4 Energía eléctrica

La media consumida de energía eléctrica dentro del periodo estudiado fue de 1,769 ± 129 GWh. Cabe resaltar que a partir del año 2012 el consumo anual supera al promedio estimado, teniendo un comportamiento variable en el crecimiento, es decir, el consumo no presenta un aumento gradual, en los años 2015, 2017 y 2019 el crecimiento es negativo. Del año 2010 al 2020 del consumo de energía tuvo un crecimiento absoluto de 28.4% (Figura 42).

Figura 42. Consumo histórico de energía eléctrica en el municipio, 2010-2020.

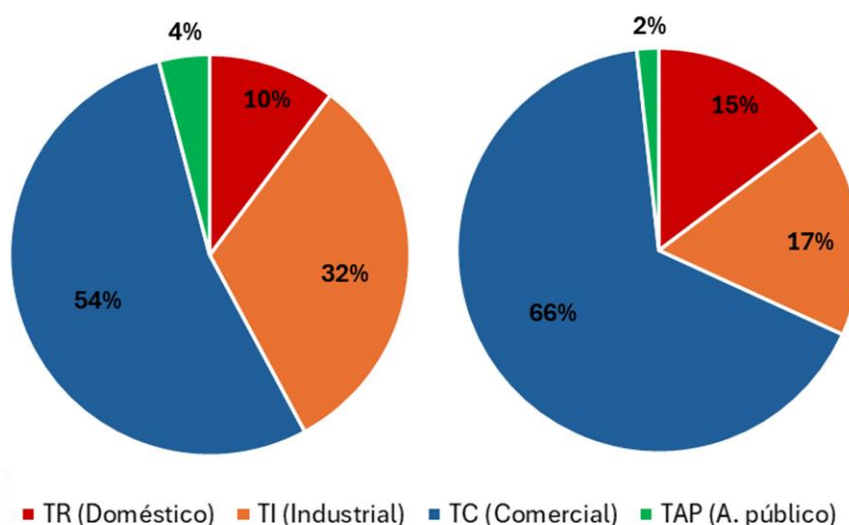


Fuente. Elaboración propia con base en SENER (2017).

Asimismo, es posible notar que, en todo el periodo estudiado, el consumo de la energía eléctrica es destinado principalmente a las actividades económicas secundarias y terciarias, seguido por el sector doméstico y, por último, el alumbrado público y las actividades primarias, principalmente la agricultura. Siendo más específicos, en el año 2010 la participación de la industria y servicios fue de 31.8% y 53.8%, respectivamente; la tarifa doméstica participó con un 10.3%, el alumbrado público y la actividad agrícola fue de 4.1% y 0.016%, respectivamente.

Para el año 2020, la participación de la industria y los servicios fue de 17% y 66.4%, respectivamente, el sector doméstico consumió cerca de 14.8%, el alumbrado público participó con un 1.8% y el sector agrícola con 0.0044% (Figura 43).

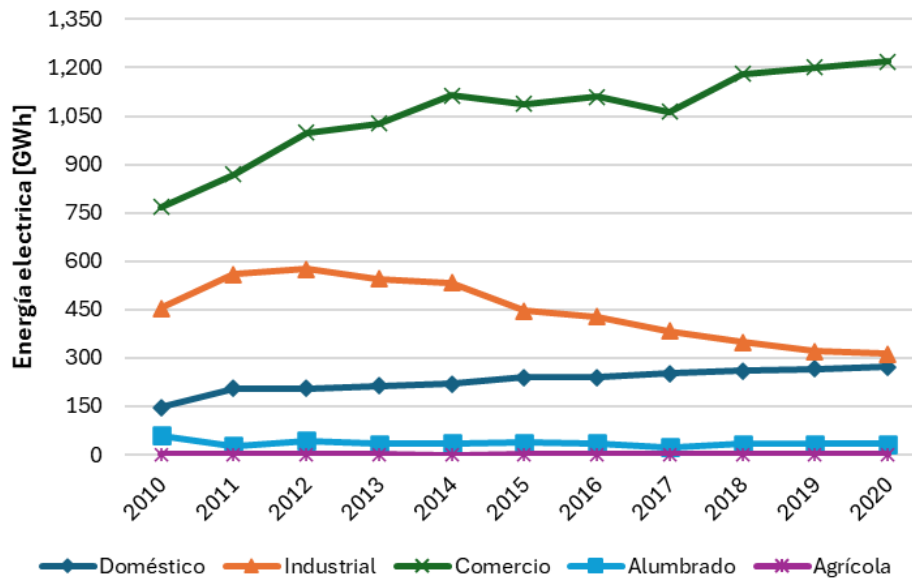
Figura 43. Comportamiento del consumo de energía eléctrica por tarifa, del año 2010 y 2020.



Fuente. Elaboración propia con base en SENER (2017).

En resumen, el comportamiento de cada tarifa fue el siguiente: el consumo en la industria decreció un 31% del 2010 al 2020, lo cual pudo deberse a las estrategias de eficiencia y optimización de las empresas, sin embargo, a partir el año 2020 fue el que más decremento registró, esto pudo ocurrir debido a la pandemia por COVID-19, donde gran parte de la población realizó trabajo en casa, sobre todo la parte administrativa. Por otro lado, el comercio creció un 59%, este comportamiento puede explicarse al hecho de que es la actividad económica principal del municipio y la cual ha mantenido un crecimiento en los últimos años. En el sector doméstico hubo un aumento del 84%, relacionado directamente al crecimiento de la población, pero también registrando un aumento por motivos de la pandemia antes citada. El consumo del alumbrado público decreció un 45%, este fenómeno puede explicarse por la ejecución de programas estatales de eficiencia energética con la transición de tecnología en el alumbrado público, cambiando la luminaria compuesta principalmente por lámparas de halógenos, a tipo LED combinada con tecnología solar (en algunos casos), y, por último, la energía en el sector agrícola descendió casi un 66%, esto puede relacionarse directamente al decrecimiento de la actividad económica primaria registrada en el municipio a lo largo de la década estudiada (Figura 44).

Figura 44. Distribución del consumo de energía eléctrica por tarifa, 2010 -2020.



Fuente. Elaboración propia con base en SENER (2017).

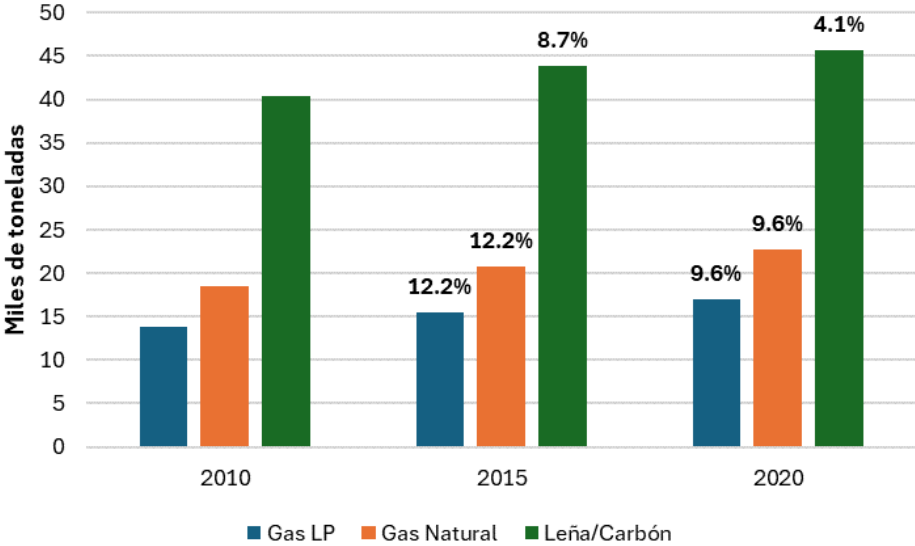
#### 4.2.5 Combustibles: sector doméstico y transporte.

De acuerdo con la consulta que se realizó a la ENCEVI, el Estado de México, ubicado dentro de las regiones templadas, tiene un estimado de 98.8% viviendas que cocinan con algún tipo de combustibles, donde el gas LP es el combustible que más se utiliza en dichas viviendas, participando con un 86.3%, seguido del uso de la leña/carbón con cerca de 6.3% y, por último, el uso de uso de gas natural y electricidad participan con un 5.9 y 1.5%, respectivamente.

Con base en estos datos, se estimó la cantidad de combustible consumido en el municipio de Toluca. Se halló que uno de los combustibles más consumidos, en cuestión de materia, es la leña/carbón con 40.3 mil toneladas en 2010, incrementando a un poco más de 45.6 miles de toneladas para el año 2020, es decir, mostró un incremento de casi 13%. El gas natural fue el segundo combustible más consumido con un crecimiento de casi 23%, pasando de 18.5 mil toneladas en el 2010 a 22.7 mil toneladas para el final de la década. Por último, a pesar de ser más utilizado por las viviendas, el gas LP presentó un menor consumo másico, con 13.8 mil toneladas para el 2010 y con un incremento a 17 mil toneladas para el 2020, esto

significó un incremento de 23% (Figura 45). Este comportamiento se debió a que el gas LP es un combustible que tiene un poder calorífico mayor que los demás combustibles, haciendo que el gasto másico sea menor para conseguir la energía necesaria.

Figura 45. Consumo de combustibles en el sector doméstico

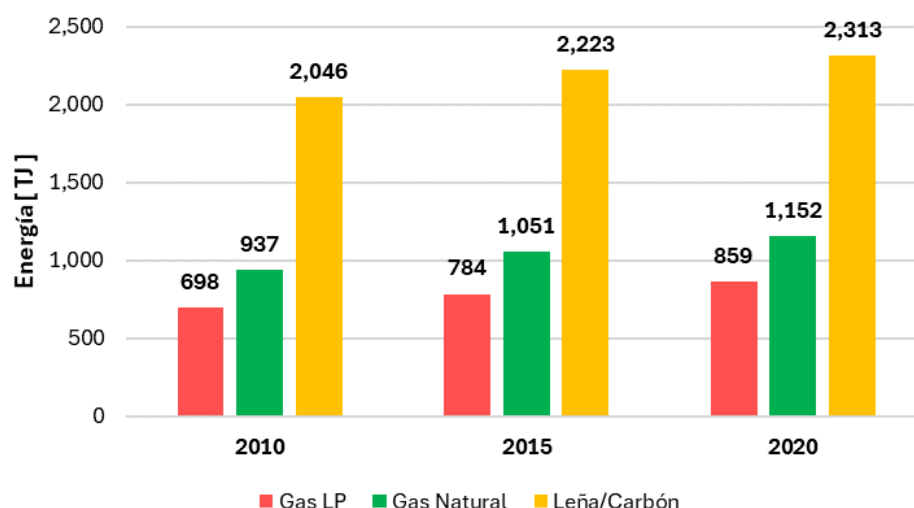


Fuente. Elaboración propia con base en INEGI (2018) y CONUEE (2018).

En términos de energía, en el 2010 existió un gasto energético total de casi 3,681 TJ en el sector doméstico, tomando en cuenta el uso del gas LP, gas natural y leña/carbón, creciendo un 13% para el 2020, es decir, se aumentó el consumo a cerca de 4,325 TJ.

Es importante señalar que el crecimiento del gasto energético, dentro del periodo estudiado, es directamente proporcional al comportamiento del consumo másico. Debido a ello es que el combustible que más gasto energético tuvo fue la leña/carbón, seguido del gas natural y por último el gas LP (Figura 46).

Figura 46. Consumo de energía por combustibles domésticos.

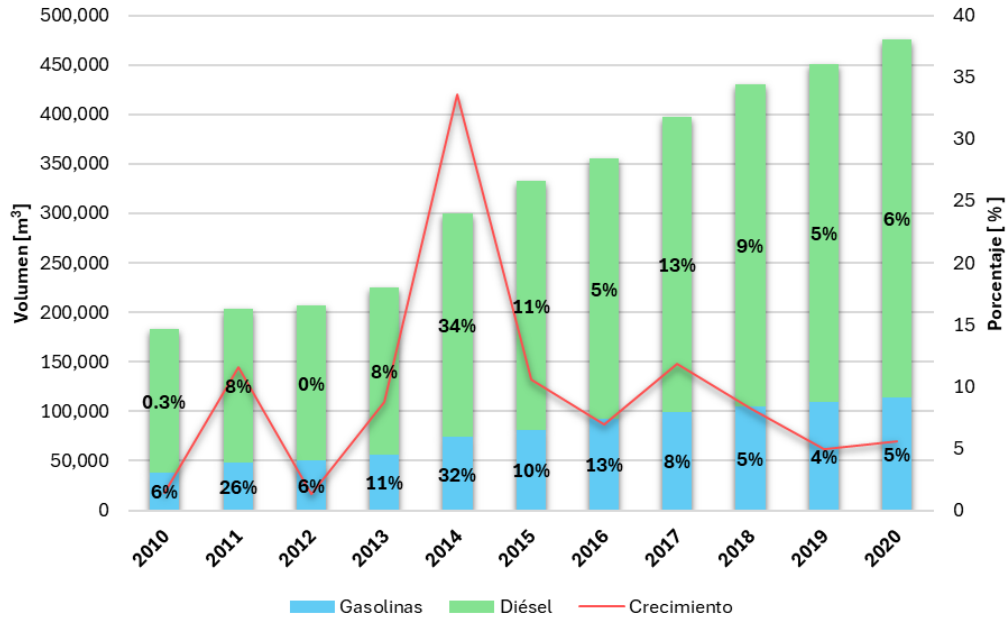


Fuente. Elaboración propia con base en INEGI (2018) y CONUEE (2018).

En el sector de movilidad o vehicular, la cantidad de gasolina fue inferior a consumo del diésel. En el año 2015 existió un incremento significativo de 34% en el consumo total de ambos combustibles, siendo el año que más creció respecto al resto.

El crecimiento porcentual de ambos combustibles es muy parecido, sin embargo, en los años 2010, 2011, 2012, 2013 y 2016 el crecimiento de la gasolina fue mayor que el diésel, deduciendo que también aumentó el parque vehicular en automóviles de tipo particular. Para los años restantes el diésel presentó un comportamiento de mayor crecimiento, sin embargo, no existió una diferencia significativa en el comportamiento y crecimiento entre ambos combustibles (Figura 47).

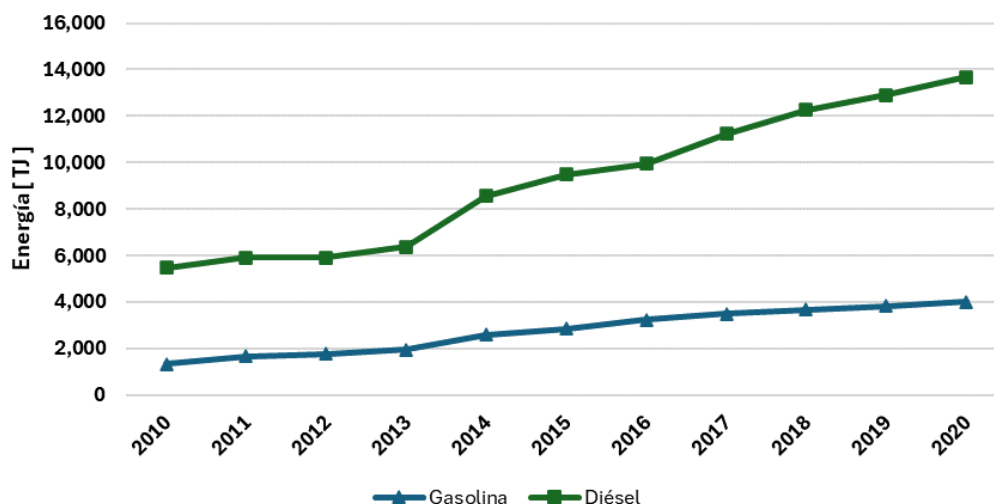
Figura 47. Consumo y crecimiento de los combustibles para vehículos.



Fuente. Elaboración propia con base en INEGI (2018) y CONUEE (2018).

El gasto energético total en combustibles para vehículos fue de 6,807 TJ en el año 2010, incrementándose a 17,663 TJ para el 2020, es decir, tuvo un crecimiento de casi un 160 %. Se puede notar en la Figura 48 que el diésel aportó más energía en el periodo, esto es debido a que el parque vehicular de autobuses y de carga son quienes recorrieron más distancia en sus rutas de trabajo dentro del municipio, además el rendimiento que presentan los vehículos de este tipo es cuatro veces menor a los vehículos particulares.

Figura 48. Gasto energético de la gasolina y combustible en el sector de movilidad.



Fuente. Elaboración propia con base en INEGI (2018) y CONUEE (2018).

Ante un panorama general, es importante resaltar que el diésel es uno de los combustibles que más se consumió en el municipio, comparándolo con los combustibles estudiados en el sector doméstico. En unidades másicas. para el año 2010, el diésel fue el más consumido con 123,282 toneladas, seguido de este, la leña/carbón con 40,321 toneladas, quedando la gasolina, el gas natural y gas LP con un consumo de 28,079, 18,464 y 13,768 toneladas, respectivamente. Para el año 2020, el diésel se incrementó a 307,426 toneladas, la gasolina con 84,593 toneladas, quedando la leña/carbón, el gas natural y el gas LP con 45,602, 22,709 y 16,933 toneladas respectivamente (Tabla 19).

**Tabla 19. Consumo total de combustible por tipo en el municipio.**

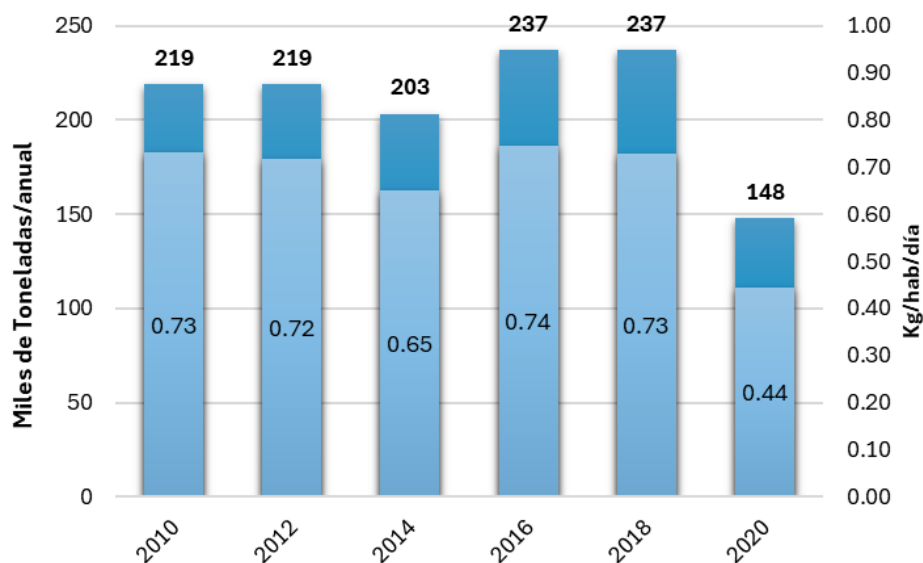
Año	Consumo total [ton/ año]						Consumo per cápita [kgcomb/ hab]				
	Gasolina	Diésel	Gas LP	Gas Natural	Leña/Carbón	Total	Gasolina	Diésel	Gas LP	Gas Natural	Leña/ carbón
2010	28,079	123,282	13,768	18,464	40,321	223,915	34	150	17	23	49
2015	60,217	213,279	15,446	20,714	43,816	353,471	69	244	18	24	50
2020	84,593	307,426	16,933	22,709	45,602	477,262	93	338	19	25	50

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.6 Residuos Sólidos

Los resultados reflejan que dentro del periodo estudiado hay un promedio de 210.6 mil toneladas de RSU anualmente, donde los años 2016 y 2018 registraron una cantidad de 237.2 mil toneladas, siendo los más elevados. El año 2020 tuvo el menor registro de residuos sólidos con 147.8 mil toneladas, decreciendo un 38%, sin embargo, esto pudo deberse a una carencia en su medición por falta de personal administrativo debido al COVID-19 ocurrido en ese mismo año (Figura 49).

Figura 49. Generación de residuos sólidos urbanos, 2010 -2020.



Fuente. Elaboración propia con base en INEGI (2011 - 2021).

Estos datos pueden develar que no existe un cambio significativo en la generación de los residuos sólidos urbanos lo cual puede deberse a cuestiones administrativas o que el municipio se ha mantenido estable metabólicamente respecto a sus recursos y procesos. Ya que este elemento no es el único que se mantiene sin un gradiente significativo, la cuestión energética e hídrica suelen tener un comportamiento similar, es decir, se presentan incrementos, pero no graduales ni significativos.

## 4.2.7 Contaminantes atmosféricos

### 4.2.7.1 Emisiones por consumo de energía eléctrica

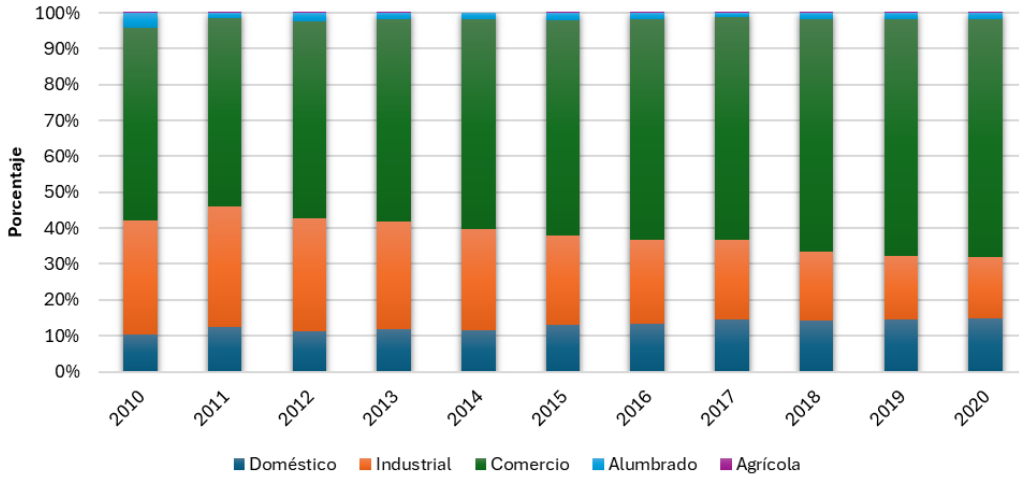
Los resultados en la estimación de emisiones indirectas por energía eléctrica demuestran que en el periodo estudiado el promedio fue de 868,653 toneladas de CO<sub>2eq</sub>, donde el año que presentó mayor cantidad emitida fue el 2017 (Tabla 20). Además, se presentó un incremento del 32% desde el 2010 al 2020, siendo el sector doméstico y comercial los que más crecerían durante el periodo. Sin embargo, el comercio y la industria son las tarifas que más CO<sub>2eq</sub> emiten (Figura 50).

**Tabla 20. Cantidad de CO<sub>2eq</sub> por tarifa eléctrica.**

Año	GEI [ tonCO <sub>2eq</sub> ]					
	Doméstico	Industrial	Comercio	Alumbrado	Agrícola	Total
2010	70,946	219,124	370,134	28,291	112	688,496
2011	98,821	269,915	418,568	13,104	74	800,407
2012	98,437	277,199	480,886	20,851	104	877,373
2013	102,725	262,896	495,113	16,437	37	877,172
2014	99,738	242,191	505,344	16,289	0	863,562
2015	109,454	204,176	498,532	17,251	49	829,414
2016	109,779	196,326	508,335	16,071	49	830,511
2017	147,056	222,813	619,413	13,520	70	1,002,801
2018	136,564	183,571	622,474	17,250	44	959,858
2019	134,030	161,963	606,529	16,397	41	918,919
2020	133,977	154,552	602,203	15,934	40	906,666

Fuente. Elaboración propia con base en SIE (2017) y SEMARNAT (2021).

Figura 50. Emisiones indirectas de GEI por tarifa.



Fuente. Elaboración propia con base en SIE (2017) y SEMARNAT (2021).

#### 4.2.7.2 Emisiones por consumo de combustibles

Para el periodo estudiado los resultados de las emisiones por consumo de combustibles fueron las siguientes: en el 2010 la actividad de transporte fue la que más emisiones aportó con una cantidad de 508 mil toneladas de CO<sub>2eq</sub>, donde el consumo de diésel fue el que más generó esta cantidad de emisiones. Posteriormente el calentamiento de agua emitió cerca de 112 mil toneladas de CO<sub>2eq</sub>, siendo el gas natural quien más participación tuvo y, por último, la cocción de alimentos generó una emisión de 61 mil toneladas de CO<sub>2eq</sub>, donde el uso de leña/carbón abarcó la mayor participación, esto debido a la naturaleza química del combustible.

Para el año 2020, las actividades mantuvieron su posición, donde el transporte aportó cerca de 1.3 millones de toneladas de CO<sub>2eq</sub>, aumentando cerca de un 160%. Así mismo, el calentamiento de agua produjo casi 137 mil toneladas de CO<sub>2eq</sub>, creciendo cerca de un 21% dentro del periodo, mientras que la cocción de alimentos presentó una emisión de 70 mil toneladas de CO<sub>2eq</sub>, con un 13.4% de aumento, siendo la actividad con menor crecimiento. Las tres actividades mantuvieron los mismos combustibles como principales generadores de CO<sub>2eq</sub> (Tabla 21).

**Tabla 21. Emisiones totales por tipo de actividad y participación por combustible.**

Año	Emisiones totales [Miles de tonCO <sub>2eq</sub> ]										
	Vehículos			Cocción				Calentamiento agua			
	Total	Participación		Total	Participación			Total	Participación		
		Gasolina	Diésel		Gas LP	Gas Natural	Leña/ Carbón		Gas LP	Gas natural	Leña/ Carbón
2010	508	19%	81%	61	0.13%	3.06%	96.81%	112	39%	49%	12%
2015	918	22%	78%	67	0.13%	3.15%	96.71%	126	39%	49%	12%
2020	1,316	22%	78%	70	0.14%	3.31%	96.55%	137	40%	49%	11%

Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2020, la actividad que más emisiones realizó, de acuerdo con a las estimaciones calculadas de esta investigación, fue la generación de energía eléctrica con 907 mil toneladas de CO<sub>2eq</sub> y una emisión per cápita de 996 kg de CO<sub>2eq</sub>. Posteriormente, el uso de los vehículos generó 1.3 millones de toneladas de CO<sub>2eq</sub> y 1,445 kg de CO<sub>2eq</sub> por habitante. En lo que respecta a las actividades domésticas, el calentamiento de agua emitió cerca de 137 mil toneladas de CO<sub>2eq</sub>, mientras que la cocción fue de 70 mil toneladas de CO<sub>2eq</sub>. Ambas actividades tuvieron una emisión per cápita de 150 y 77 kg de CO<sub>2eq</sub>, respectivamente. En resumen, el crecimiento de las emisiones totales generadas en 2010 al 2020 dentro del municipio fue de casi 77.3%, emitiendo cerca de 1,672 kg de CO<sub>2eq</sub> per cápita en 2010 y aumentando a 2,668 kg de CO<sub>2eq</sub> per cápita. (Tabla 22).

**Tabla 22. Emisiones totales netas y per cápita por tipo de actividad.**

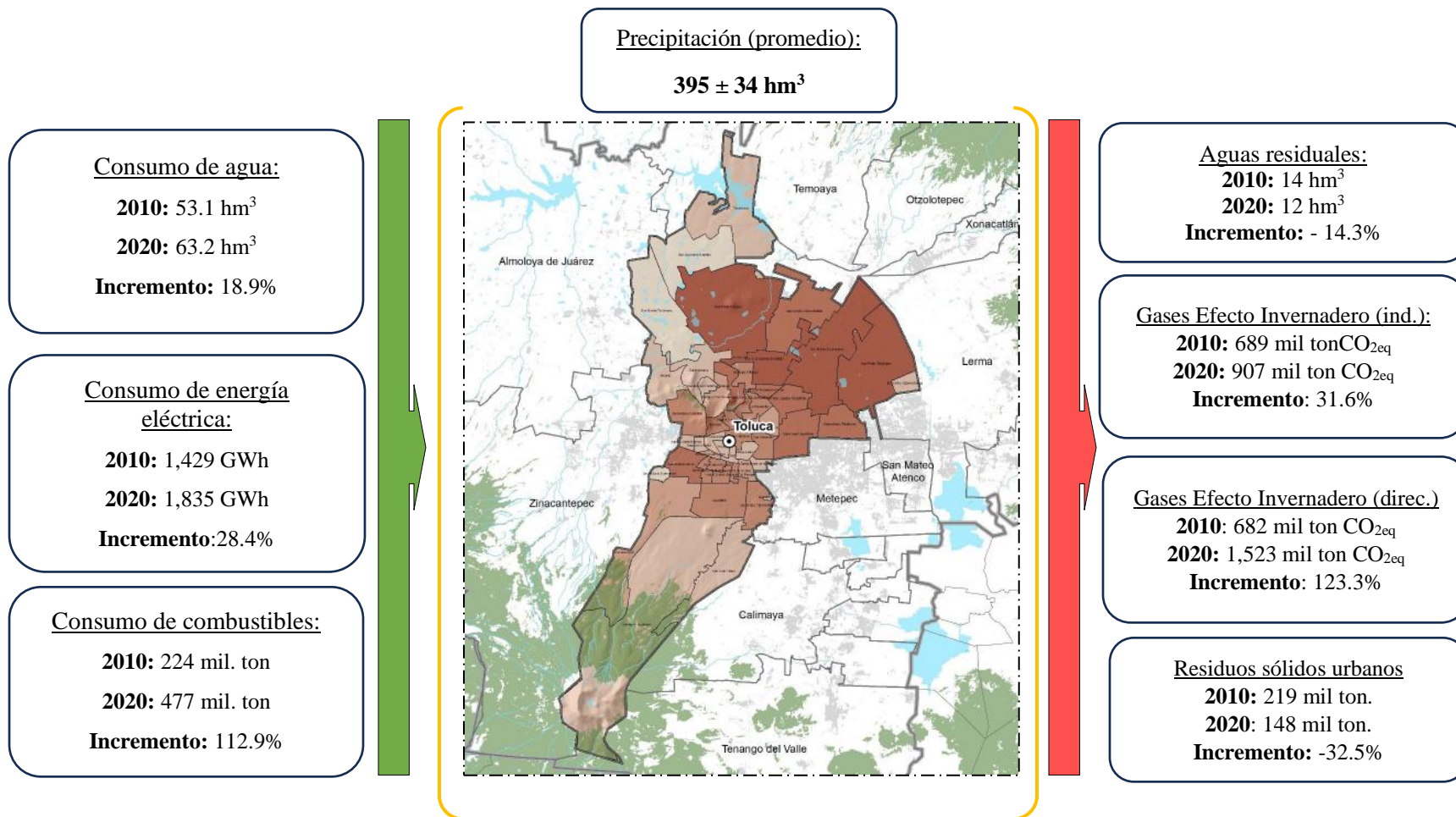
Año	Emisiones totales [ Miles de tonCO <sub>2eq</sub> ]					Emisiones per cápita [kg CO <sub>2eq</sub> /hab]				
	Vehicular	Cocción	Calentamiento de agua	Energía eléctrica	Total	Vehicular	Cocción	Calentamiento de agua	Energía eléctrica	Total
2010	508	61	112	689	1,370	620	75	137	840	1,672
2015	918	67	126	829	1,940	1,051	76	144	960	2,232
2020	1,316	70	137	907	2,429	1,445	77	150	996	2,668

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, el metabolismo urbano del municipio de Toluca puede visualizarse de la siguiente manera: por un lado se tienen datos de las entradas (*inputs*): **a) Agua:** en el 2010 hubo un consumo de 53.1 hm<sup>3</sup> mientras que para el 2020 este aumentó a 63.2 hm<sup>3</sup>, creciendo un 18.86%; **b) Energía eléctrica:** para el año 2010 existió un consumo promedio de 1,429 GWh, creciendo a 1,835 GWh para el 2020, incrementando un 28.41%; **c) Combustibles:** en el 2010 hubo una cantidad de 224 miles de toneladas consumidas, ascendiendo a 477 miles de toneladas, aumentando un 112.95%

Las salidas (*outputs*): **d) Agua residuales:** se registró una generación de 14 hm<sup>3</sup> de agua tratadas para el año 2010, y 12 hm<sup>3</sup> para el año 2020, es decir, en este caso existió un decremento de 14.3% en el tratamiento de las aguas residuales del municipio; **e) Emisiones de GEI (indirectas):** se emitieron cerca de 689 mil tonCO<sub>2eq</sub>, creciendo un 31.64% para el 2020, cerca de 907 mil tonCO<sub>2eq</sub>; **f) Emisiones de GEI (directas):** se emitieron por parte de la combustión de combustibles cerca de 682 mil tonCO<sub>2eq</sub> en 2010, y 1.5 millones de tonCO<sub>2eq</sub> para el 2020, creciendo un 123.3%; **g) Residuos Sólidos Urbanos:** en este parámetro hubo un decremento de -32.5%, ya que del 2010 al 2020, la generación fue casi 219 mil toneladas y 148 mil toneladas, respectivamente (Figura 51).

Figura 51. Esquema general de entradas y salidas en promedio en el municipio de Toluca, 2010 - 2020.



## 4.3 Análisis y discusión

### 4.3.1 Agua

Con base en el Plan de Desarrollo Urbano de Toluca (PDUT) (2018) y Romero et. al. (2018) el municipio de Toluca se abastece de 84 pozos ubicados dentro del mismo territorio estudiado, siendo 37 de naturaleza urbana, con una capacidad de 24.13 hm<sup>3</sup> por año (765 lps) y 47 ubicados en zonas rurales, con un volumen de extracción de 21.9 hm<sup>3</sup> por año (695 lps). Además, el sistema Cutzamala abastece cerca de 20.8 hm<sup>3</sup> por año (657 lps), aunque el PDUT menciona que, debido a la reducción del volumen de las presas, este abastecimiento se redujo a 15.8 hm<sup>3</sup> por año (500 lps) en los últimos años.

La cobertura que abarca esta fuente de agua es de un 89% para las zonas urbanas, 84% para las delegaciones conurbadas y suburbanas y un 62% en las áreas rurales. En resumen, el volumen total suministrado sería de 61.8 hm<sup>3</sup> al año (1960 lps), con un 25% de participación del sistema Cutzamala y el 75% restante por parte de los pozos mencionados.

Algunas de las problemáticas principales que presenta el servicio de agua potable, son las siguientes (PDUT, 2018):

- Las redes y tuberías carecen de mantenimiento por falta de inversión.
- Existen pozos que son clandestinos, es decir, no se encuentran concesionados ante CONAGUA. Así como pozos irregulares en el pago de los derechos de explotación o a los relativos a las descargas de aguas residuales.
- Existe baja presión en el suministro de agua potable debido a que no hay un seccionamiento adecuado, debido a la reestructuración de la red.
- Se requiere mantenimiento preventivo y correctivo en todo el equipamiento involucrado en el suministro de agua al municipio.
- Falta de planeación de los asentamientos humanos y las actividades económicas. En el primer caso, se manejan densidades elevadas en zonas donde la capacidad de abastecimiento es limitada, por ejemplo, la zona noreste del municipio; por otro lado, las actividades comerciales e industriales no respetan los consumos según las normas establecidas por la CONAGUA y la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM).

De acuerdo con Cisneros (2021), dentro de la ZMT, el municipio de Toluca es uno de los municipios que cuenta con mayor volumen concesionado, con un total de 135.3 hm<sup>3</sup> para el año 2019. El uso público (constituido por las concesiones del tipo doméstico y urbano) es uno de los más influyentes en el gasto y consumo del agua en el municipio, sin embargo, este registro concesionado solo se presenta para organismos gubernamentales y privados, por lo que los comités independientes de municipio no participan, es decir, no se sabe que volumen de agua realmente es consumida por los mismos, incumpliendo la Ley de Aguas Nacionales<sup>13</sup>.

Cadena y Morales (2020) mencionaron que una de las grandes problemáticas de esto es la existencia de conflictos de intereses entre los organismos gubernamentales y los comités, ya que existe un temor de que si el ayuntamiento interviniera en la distribución de agua el costo de este recurso podría incrementar o en su defecto existiría una privatización. No obstante, los comités suelen acudir al ayuntamiento cuando se requiere de soporte técnico, por ejemplo, en la reparación de bombas y equipamiento para el suministro de agua.

La falta de gobernanza afecta directamente en el metabolismo de recurso hídrico, ya que al no tener registrado o concesionado de las fuentes de abastecimiento tampoco se tiene una regulación. Aunque los pobladores se alternan el servicio de agua, a veces esta llega a faltar debido al adeudo que se tiene en la energía eléctrica utilizada en el bombeo de los pozos, manantiales u otro cuerpo de agua superficial (Cadena y Morales, 2020).

En el caso de la precipitación, en la investigación realizada por Vilchis y Garrocho (2018) se menciona que el comportamiento pluvial en el centro de la ZMT tiende al aumento desde el periodo 1984 -2009, con valores mínimos de 731.84 mm y máximos de 1081.90 mm, explicando que este fenómeno deriva de las islas de calor que se desarrollan en las ciudades centrales, que son las que albergan cerca del 70% de la población urbana, esto puede referirse a que existe una menor frecuencia, pero con mayor magnitud. Sin embargo, con los datos obtenidos en este trabajo se observa que del periodo 2010 al 2020, el comportamiento pluvial en el municipio de Toluca se mantiene de acuerdo con las estaciones estudiadas, con un promedio de 827 mm en el periodo. Cabe resaltar la importancia en la implementación de áreas

---

<sup>13</sup> De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales en el Artículo 17, se especifica que el aprovechamiento, uso y explotación de aguas nacionales superficiales es libre siempre y cuando este sea por medio manuales y para uso doméstico, incluyendo la conservación de su cauce, calidad y sin alterar una disminución significativa del caudal o almacenamiento.

verdes y acciones que mantengan los servicios ecosistémicos, coadyuvando a la estabilización de la variabilidad climática.

#### 4.3.2 Energía y combustibles

La discusión y análisis de energía y emisiones para el municipio de Toluca pueden dividirse en dos partes: 1) emisiones por transporte y uso de energía eléctrica y 2) emisiones por uso de combustibles residenciales (domésticos).

En el primer apartado, se consideró la información del PROMACC, de acuerdo con este inventario de emisiones, gran parte son generadas a partir del sector “Energía”, por la actividad de “Transporte”. Asimismo, mediante al Sistema de Información Energética (SENER), fue posible observar que los combustibles más utilizados en el municipio fueron la gasolina y el diésel. Dentro del mismo sistema fue posible obtener datos sobre la energía eléctrica consumida en los diferentes tipos de tarifas.

De acuerdo con esta información se realizó el cálculo de las emisiones, y fue notable observar que el uso de combustibles y consumo de energía eléctrica son las actividades que más tienden al crecimiento a través de los años. Si bien esto se relaciona directamente al aumento de la población, también refleja el comportamiento descrito por Pengue (2018) donde el incremento de la complejidad urbana ocasiona que las ciudades adquieran nuevas necesidades *tecnometabólicas*, consumiendo más recursos energéticos como la energía eléctrica y combustibles.

Al mismo tiempo, el incremento del consumo de estos recursos ha generado grandes cantidades de emisiones contaminantes, repercutiendo principalmente en la calidad del aire. En este caso se clasificaron en *directas* e *indirectas*. En las primeras el crecimiento a través del periodo es visible, siendo casi 4 veces más grande, debido al consumo constante de los combustibles y a las actividades domésticas, ambas relacionadas con el crecimiento de la población y el parque vehicular.

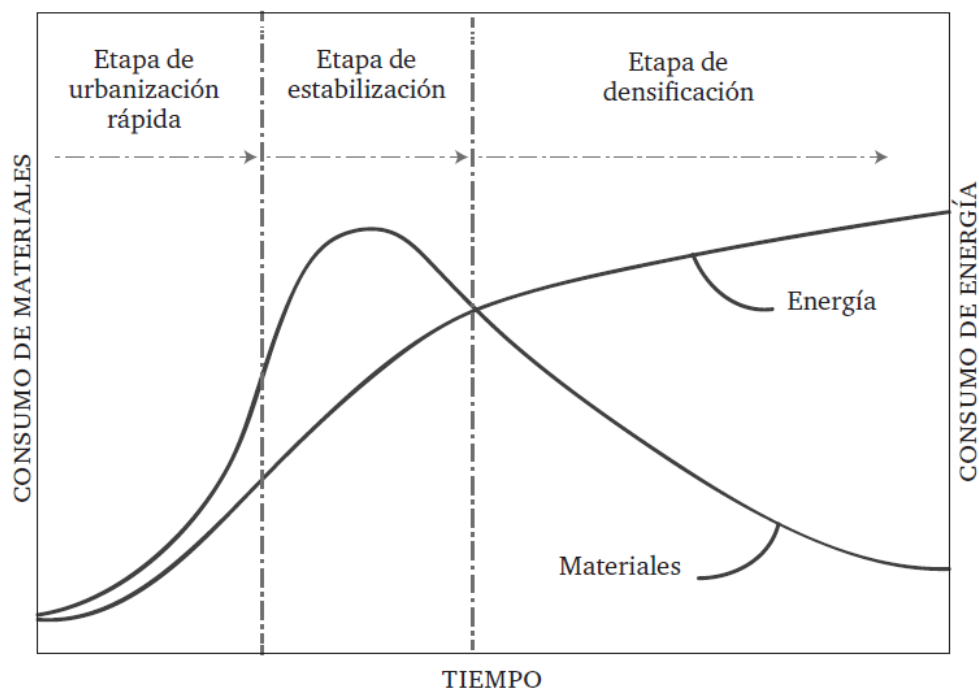
Además, las dificultades que enfrenta el tema de movilidad son complejas, como lo describe el Centro de Mario Molina (2014), algunas de ellas son: la falta de un sistema estructurado de transporte público (ineficiente y deteriorado), el aumento de la cantidad de viajes y distancias recorridas, la incentivación a la motorización y la estructura policéntrica de la ciudad de Toluca (como capital del estado y sus respectivas conurbaciones); esto ha provocado viajes intra e intermunicipales con destino al municipio

por necesidades laborales y de servicios, ocasionando congestión vial y el aumento en el tiempo de traslado.

Respecto al consumo de energía eléctrica, con base en los datos adquiridos, es notable observar una transición del municipio, donde la energía utilizada en la industria se ha reducido al año 2020, mientras el consumo por el sector comercial se halla en aumento. Si bien analizar este fenómeno a profundidad queda fuera de alcance para este trabajo de investigación, resulta importante mencionar que las unidades económicas de servicios y comercio presentan una participación significativa, que impacta tanto en la estructura urbana como en la cuestión energética, y por lo tanto toman un papel importante en el metabolismo de la ciudad.

Por otra parte, el aumento en el consumo de energía residencial evidencia una relación proporcional al crecimiento poblacional, sin embargo, este resultado también hace notar parte del tecnometabolismo, evidenciando que la ciudad se encuentra en una etapa de *estabilización* en camino a la *densificación* ya que esta tiende a crecer en habitantes, demandando energía, pero desacelerando su consumo de materiales locales (Figura 52).

Figura 52. Evolución de las ciudades a través de su demanda de energía y materiales.



Fuente: Pengue (2018) citando a Fernández (2007).

Respecto al uso de combustibles residenciales, este ha sido un tema poco explorado para la región, sin embargo, el IEECC (2015), realizó un reporte donde determinaba las emisiones por la quema de combustibles en casa habitación para algunas localidades, situadas en el municipio de Metepec. Entre los resultados se halló que el 73.5% de las emisiones eran por el uso de leña, mientras que el 26.4% era por el uso de carbón y el 0.1% por gas LP. No obstante, dentro del consumo (kilogramos al día) el gas LP fue el más utilizado, con cerca de 16,920 kg/día, la leña y carbón con 6,223 kg/día y 3,280 kg/día, respectivamente.

Este fenómeno es muy similar a lo ocurrido en el municipio de Toluca con base a los resultados obtenidos, donde el uso de leña y carbón son los combustibles más contaminantes, pero no los más utilizados por las viviendas. Ante esta situación es imperante generar estrategias para promocionar e implementar diversas tecnologías o ecotecnias en la eficiencia energética y/o ahorro energético. De acuerdo con la ENCEVI (2018), en la región templada del país (incluido Toluca), en promedio, el 19% de la población usa calentadores de tipo solar, contra un 76% que utiliza de tipo gas y tan solo un 2.6% aún sigue calentando con leña. El uso restante se distribuye entre calentadores de tipo eléctrico y de otro tipo (no especificado).

Con base a la información obtenida y calculada, es notable observar que las políticas públicas deben enfocarse en las actividades residenciales y de movilidad para establecer estrategias integrales e ininterrumpidas, con el objetivo de cumplir los ODS 7, energía asequible y no contaminante, 11, ciudades y comunidades sostenibles y 13, acción por el clima, para llegar a establecer una sostenibilidad urbana sólida.

### 4.3.3 Residuos sólidos

El estado actual en la generación de residuos sólidos representa un reto para el municipio ya que es uno de los aspectos que más atención requiere.

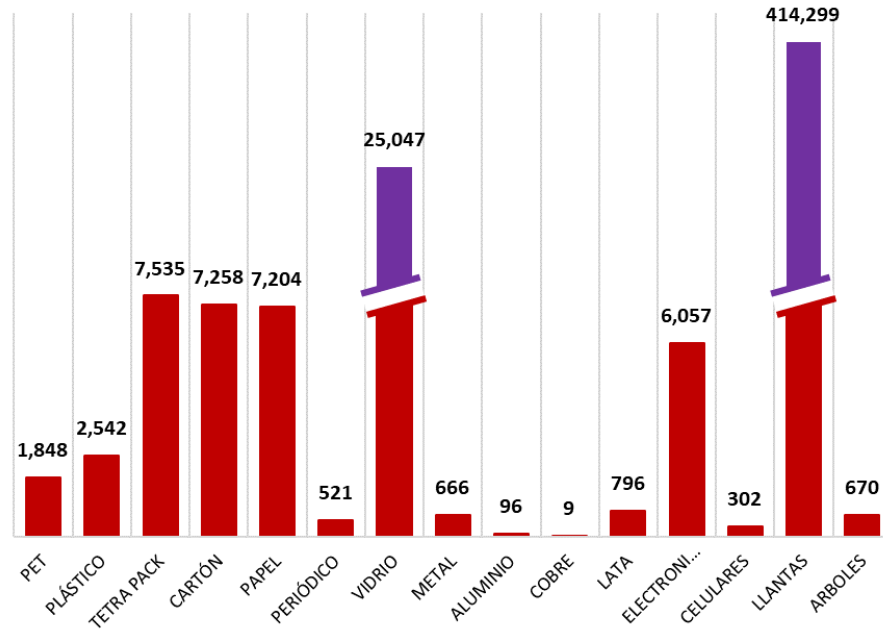
De acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal y a la Dirección General de Residuos Sólidos, se sabe que los residuos generados en el municipio tienen como destino final los rellenos sanitarios ubicados en los municipios vecinos de Zinacantepec y San Antonio la Isla, más allá de una falta de infraestructura, este hecho se debe al cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2021, donde se mencionan las especificaciones de las distancias requeridas para establecer un relleno sanitario, las cuales no cumple el municipio de Toluca. Sin embargo, esto no impide que se tenga un centro de transferencia, el cual sería una estrategia para disminuir gastos económicos, energéticos e impactos ambientales, otorgando al municipio la oportunidad de gestionar sus RSU.

De acuerdo con el Mtro. Víctor Hugo García (2024) la adopción de una cultura en el reciclaje y reúso es una tarea que necesita incentivarse mediante la educación ambiental, ya que si bien no se cuenta con la mayor infraestructura o equipamiento para gestionar la gran cantidad de RSU generada, se vuelve aún más difícil educar a la sociedad toluqueña para que desde sus hogares sean capaces de separar sus residuos o simplemente depositarla de manera correcta, evitando desecharla a los cuerpos de agua y al medio ambiente.

La existencia de los Ecocentros, es un programa que busca adoptar la cultura del reciclaje a cambio de puntos para posteriormente canjearlos por productos de la canasta básica con la estrategia de implementar varios puntos dentro del municipio para la recolección y acopio de los residuos de diferentes materiales como por ejemplo: PET (Polietileno de Tereftalato), diferentes tipo de polímeros (o bien, plástico duro), vidrio, papel, cartón, latas de metal y aluminio, envases de tetrapack, así como residuos electrónicos y electrodomésticos y aceite (comestible) usado.

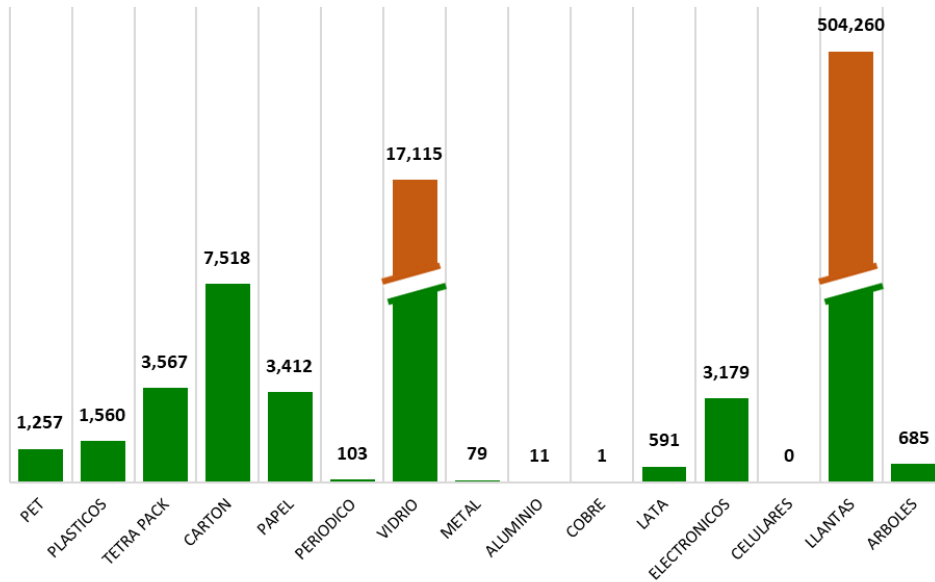
De acuerdo con los datos proporcionados por el Centro de Educación Ambiental (CEA) la cantidad de RSU recolectados por el Ayuntamiento de Toluca, en 2022, fue de 475 toneladas (Figura 53) y en el 2023, este aumentó a 543 toneladas (Figura 54), representando tan solo el 0.23% y 0.26%, respectivamente, del promedio (210, 605 toneladas) de generación de RSU en el municipio.

Figura 53. Cantidad de RSU recolectado, por tipo, 2022.



Fuente: Elaboración propia con base a datos proporcionado por el CEA (2024).

Figura 54. Cantidad de RSU recolectado, por tipo, 2023.



Fuente: Elaboración propia con base a datos proporcionado por el CEA (2024).

En ambas gráficas es posible notar que el vidrio y las llantas, son residuos que más se recolectan en los Ecocentros, sobrepasando por mucho a los demás. Seguido de esto, en el 2022 en tetrapack, el papel y el cartón son los residuos que más se recolectaron, mismos que para el 2023 descienden su cantidad. Algunas de las posibles causas de esto, explicada por el Mtro. Víctor Hugo García, se debe a que gran parte de la población ya no entrega sus residuos a menos que exista algún incentivo, como los puntos para canjearlos por productos de la despensa básica, y es poco el porcentaje que lleva sus residuos a los puntos de acopio, específicamente la gente de clase media-alta es la que más participa en el ejercicio del reciclaje.

Actualmente, CEA y los Ecocentros, son parte de proyectos de economía circular. Por ejemplo, la empresa Tetra-pack, mediante terceras empresas, desarrolla placas y láminas elaboradas principalmente con tetrapack reciclado, denominadas “láminas de polialuminio”, esto hace que tenga propiedades mecánicas y térmicas aceptables para construcción y prácticas afines, sustituyendo materiales como el cemento, polímeros o madera. Asimismo, los RSU recolectados son llevados a centros de reciclado específicos para cada tipo de material, entre ellos se encuentra PetStar.

Siguiendo con la problemática de los RSU, el Ing. José Alberto, director de Residuos Sólidos, en la Dirección de Servicios Públicos de Toluca, comenta que el municipio tiene como principal reto crear una cultura de limpieza y responsabilidad, debido a que son varias las localidades que presentan problemas para la recolección y gestión de la basura.

Comenta, además, que a pesar de que la cultura del reciclaje es muy pobre en el municipio de Toluca, los recolectores se encargan de separar los residuos y llevarlos a los centros correspondientes, esto para su propio beneficio, teniendo un ingreso extra a su salario, contribuyendo a la gestión de los RSU.

## Conclusiones

El estudio del metabolismo urbano de Toluca que se desarrolló el periodo del 2010 al 2020, permitió conocer de manera más detallada el comportamiento del municipio.

De acuerdo con los resultados se puede sostener que las actividades económicas son parte esencial en el cambio de uso de suelo y las dinámicas demográficas en el municipio. Esto se puede observar en el crecimiento de los asentamientos humanos en la periferia, donde existen localidades que han aumentado su población aun siendo un espacio rural o suburbano. Situación que genera problemas al suministrar los servicios básicos debido a que la cobertura de la infraestructura y el equipamiento son limitados, permitiendo que también existan externalidades en estas zonas, sobre todo en la parte sanitaria. Así también existen localidades que no cuentan con el servicio de agua y energía eléctrica.

Siendo puntuales, en el caso del agua, el consumo anual está fuertemente relacionado al aumento de la población, creciendo casi un 20% en 10 años. Además, gran parte de las aguas residuales no son tratadas, es decir, para el 2020 cerca del 80% se vertieron en cuerpos de agua, principalmente el Río Verdiguél y el canal de Totoltepec, generando una insostenibilidad en el municipio.

Aunado a esto, el crecimiento de las zonas urbanas no permite la infiltración, creando una falta en la recarga de los mantos acuíferos, lo que genera un círculo vicioso, ya que de no existir este proceso natural la disponibilidad de los pozos se ve mermada, provocando, a través del tiempo, fallas en la compactación de la tierra y desabastecimiento de agua a la población.

En el ámbito del consumo energético, es fundamental mencionar que Toluca no presenta centros de generación de energía eléctrica, es decir, toda su energía es importada, por parte de Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Mediante los datos hallados, es revelador la existencia de una transición de las actividades económicas. Si bien el consumo es mayormente en el sector de comercio y servicios, el sector doméstico, se encuentran en aumento, comparado con la industria que ha descendido su consumo en los últimos años. El uso de energía renovables en el municipio aun no es significativo por lo que el municipio depende fuertemente de diversas fuentes de energía pertenecientes al SEN, que trabajan con combustibles fósiles.

En el tema de los combustibles, el diésel y la gasolina son los más consumidos en Toluca por el sector de movilidad. Por otro lado, en el sector doméstico, el gas LP y la leña/carbón son lo más empleados. Si bien

el cálculo de la leña y carbón es una estimación a partir de la ENCEVI 2018, resulta importante mencionar que las emisiones que se generan por este tipo de combustibles son de mayor proporción que por las de gas LP, por lo que es vital revisar y analizar el uso de estos en los hogares de Toluca.

Bajo el mismo tenor, en las viviendas el calentamiento de agua fue la actividad que más demandó el uso de combustibles, asimismo, en el sector de movilidad, el parque vehicular pesado (autobuses) consumió mayor combustible, específicamente, diésel. Revisar los temas de seguridad pública y eficiencia en la movilidad dentro del municipio es esencial ya que a partir de aquí se derivan problemas como la congestión vial, aumento de parque vehicular particular y emisión de contaminantes, principalmente.

Los residuos sólidos urbanos generados por municipio es uno de los asuntos que necesitan ser estudiados más a fondo. De acuerdo con este trabajo de investigación, el traslado/recolección, el tratamiento y la disposición final son ejercicios que básicamente el municipio (gobierno y sociedad) no realizan de manera adecuada. Si bien existen programas de recolección y reciclaje estos no tienen un gran alcance, porque se carece de una cultura de reciclaje y economía circular.

El municipio no cuenta con centros de transferencia para RSU, por lo que son llevados directamente a los rellenos sanitarios de los municipios de Zinacantepec y San Antonio la Isla, sin tratamiento ni clasificación previa. Como consecuencia se genera un gasto energético (combustibles para los camiones recolectores) y económico para el ayuntamiento porque se realizan varios viajes cuando el camión recolector se ha llenado.

La generación de GEI del municipio está fuertemente relacionada al consumo de los combustibles y del parque vehicular. No obstante, el uso de energía eléctrica también genera emisiones, aunque no sean locales, por esta razón, se dividieron en dos clases para su estudio. En el consumo de energía, las emisiones se clasificaron como *indirectas* las cuales incrementaron casi 32% dentro del periodo, mientras que las *directas* crecieron un 123.3%

Como se mencionó anteriormente, el consumo de combustibles domésticos son uno de los principales factores contaminantes, que, si bien son esenciales, aun se recae en el uso de biomasa, gas LP y gas natural, existiendo opciones como los calentadores solares o en su defecto estufas eléctricas. Sin embargo, cabe resaltar que el uso o la transición a este tipo de tecnologías muchas veces se ve mermado por cuestiones económicas. Bajo la cuestión de movilidad, el parque vehicular (particular y público, principalmente) es uno de los parámetros que tiende al aumento año con año, por lo que es importante impulsar políticas

públicas que regulen y hagan eficiente la circulación dentro del municipio. Con base a los datos de la RAMA, los contaminantes  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  son los más recurrentes en la degradación de la calidad del aire, siendo los más producidos por el uso de los combustibles antes mencionados.

De acuerdo con la hipótesis planteada y con los resultados obtenidos se puede decir lo siguiente:

- 1) Si bien los índices de consumo de agua han ido incrementándose año con año, este mantiene un incremento lineal, relacionado con el aumento de la población, de acuerdo con la estimación realizada. Es importante mencionar que dicho cálculo se realizó mediante un dato fijo de la dotación suministrada por habitante. Tomando en cuenta la situación real del suministro hídrico por cada localidad es posible encontrar un dato más preciso, sin embargo, esta incertidumbre se origina debido a la falta de datos existentes, aunado a la falta de transparencia de información del ayuntamiento en este ámbito, creando así un obstáculo para llegar a una sostenibilidad urbana.
- 2) Los índices de consumo de energía eléctrica, de acuerdo con la serie temporal realizada, no presentan un incremento gradual, es decir, existen variaciones en el consumo de cada tarifa, lo que origina que exista una cierta estabilidad en el consumo total. No obstante, es evidente el aumento de energía año con año por parte de la tarifa doméstica y comercial, por lo que resulta importante implementar programas de autosuficiencia energética.
- 3) Dentro del consumo de los combustibles, estos están estrechamente relacionados al parque vehicular, donde su crecimiento es uno de los más observables a través de los años. De acuerdo con los datos obtenidos este es uno de los parámetros que más crece año con año. Mostrando la insostenibilidad dentro del municipio, reflejado en la movilidad ineficiente y la contaminación atmosférica.
- 4) Mientras tanto el crecimiento de las emisiones directas, divididos entre el sector doméstico y el transporte, muestran ser 4 veces más grande que las emisiones indirectas, siendo responsables de la baja calidad atmosférica en las diversas épocas del año. Esto refleja la importancia del sector residencial dentro del municipio en la participación de emisiones, motivo por el cual se deben implementar acciones y estrategias a nivel social y local.
- 5) Los RSU son un parámetro que resulta muy complejo de estudiar, ya que intervienen diversos actores dentro de su gestión y disposición, y este trabajo se ve limitado para tener una estimación cercana a la real. De acuerdo con los datos del INEGI, es notable que no existe un incremento sustancial en la generación de residuos, no obstante, no hay información que avale la existencia de

medidas o estrategias creadas para solucionar los problemas de gestión. Por el contrario, hay muy poca información brindada por parte del ayuntamiento, así como una participación pobre por parte de los habitantes. Estas características afectan directamente a los modelos de la sostenibilidad urbana, provocando un ambiente insano y contaminado, debido a un proceso ineficiente para mitigar y solucionar estos problemas.

- 6) La generación de aguas residuales está directamente relacionada al crecimiento de población y consumo de agua. Con base en los datos proporcionados por el Organismo de Agua y Saneamiento de Toluca, la tasa de aguas residuales tratadas se mantiene entre el 20 y 25% con respecto al agua consumida. Esto refleja la inadaptabilidad y baja autosuficiencia del municipio por atenuar los impactos en la generación y disposición de sus residuos. Implementar estrategias y planes para reciclar y reutilizar el vital líquido es pilar para la sostenibilidad urbana.

Aunque no se puede negar el crecimiento de los parámetros estudiados, es importante mencionar que el municipio no se halla dentro de un metabolismo urbano acelerado, pero sí lineal, refutando la hipótesis establecida. No obstante, esto no significa que los impactos ambientales y sociales no existan, el daño ambiental está presente y aumenta, creando una insostenibilidad local, pero puede ser mitigado si se aplican las estrategias correspondientes, existiendo una sinergia entre la ciudadanía y el gobierno, estableciendo metas claras a largo plazo, más allá de las administraciones políticas.

## Recomendaciones

De acuerdo con las condiciones del municipio de Toluca y mediante la presente investigación es prioridad mencionar que se debe trabajar en la sostenibilidad urbana a través de la autosuficiencia hídrica y energética. Es decir, se debe implementar soluciones eco-tecnológicas como sistemas de aprovechamiento pluvial, sistemas de drenaje urbano sostenible, energías renovables, movilidad sostenible y no contaminante, entre otros.

Otra solución es mejorar la infraestructura y el equipamiento existente, así como en la mejora continua de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), con el objetivo de aumentar el caudal tratado o incrementando el número de unidades que operen con regularidad. Ejerciendo adecuadamente procesos secundarios y terciarios, involucrando tratamientos avanzados para la degradación de los compuestos contaminantes (tóxicos y orgánicos) y así minimizar los impactos en la calidad ambiental.

De acuerdo con Wolman (1964) las principales problemáticas de las ciudades modernas es la generación de contaminación atmosférica e hídrica que se origina a partir del propio metabolismo. Por ello es prioridad atender, monitorear y controlar las emisiones de fuentes fijas y móviles del municipio, estableciendo políticas públicas sólidas con base en la legislación ambiental mexicana.

La movilidad es una de las actividades protagonistas dentro del municipio por lo que debe vigilarse. El parque vehicular particular y de transporte público son parámetros que más aumentan año con año. El incremento de la seguridad y la mejora de las rutas son acciones esenciales que deben ejecutarse para minimizar tiempo y distancia.

Transitar hacia una tecnología superior y un equipamiento más eficiente en el servicio de transporte público requiere de una logística bien planificada para evitar una sobreoferta de unidades, congestión sobre principales vialidades y la hibridación de autobuses antiguos con los modernos.

En el contexto de los RSU, una de las estrategias base es implementar un centro de transferencia para el ahorro de viajes de los recolectores. Además, esto permitirá clasificar y valorizar de manera adecuada los residuos, recuperando cierto porcentaje para que este sea reincorporado en la línea de producción de ciertos productos, disminuyendo el uso de materia prima, coadyuvando el modelo de la economía circular.

El estudio de metabolismo urbano es una herramienta que requiere de información para poder visualizar el comportamiento del sistema estudiado. Por esta razón, es necesario que el gobierno ejerza una alta

transparencia en tiempo y forma. No solo para un estudio metabólico sino para analizar, cuantificar y replantear las acciones ejecutadas. Establecer soluciones mediante la información adquirida y proporcionada ofrece una perspectiva objetiva sobre la realidad de las condiciones del municipio, permitiendo esclarecer las rutas para transitar hacia una sostenibilidad urbana a través de un metabolismo urbano circular.

## Referencias bibliográficas

- Abubakar, I. R. (2017). *Access to sanitation facilities among Nigerian households: Determinants and sustainability implications*. College of Architecture and Planning, University of Dammam, Saudi Arabia; Sustainability, 9(4), 547. <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/4/547>
- Agencia Ambiental Europea (European Environment Agency). (2023) *Urban sustainability in Europe*. <https://www.eea.europa.eu/themes/sustainability-transitions/urbanenvironment/urban-sustainability-in-europe>
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (2024) *Conceptos básicos sobre el material particulado*. <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (s.f.) *Dióxido de azufre*. [https://r2data.response.epa.gov/viewers\\_public/Map/Documents/PHRT/23P-0010c\\_Sulfur\\_Dioxide\\_SPA.pdf](https://r2data.response.epa.gov/viewers_public/Map/Documents/PHRT/23P-0010c_Sulfur_Dioxide_SPA.pdf)
- Allen P, D (2006) *Comemos combustibles fósiles*. For the Wilderness. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2242795>
- Ayuntamiento de Toluca (2019) *Índice de biodiversidad en el municipio de Toluca*.
- Ayuntamiento de Toluca (2019) *Plan de Desarrollo Municipal de Toluca 2019- 2021*.
- Ayuntamiento de Toluca (2022) *Índice Municipal de Actividad Económica (IMAE) 2021*.
- Ayuntamiento de Toluca (2022) *Plan de Desarrollo Municipal de Toluca 2022- 2024*.
- Ayuntamiento de Toluca (2022) *Programa Municipal de Acción Climática, visión 2030 (PROMACC)*.
- Beloin Saint Pierre, D., Rugani, B., Lasvaux, S., Mailhac, A., Popovici, E., Sibiude, G., Benetto, E. y Schiopu, N. (2017) *A review of urban metabolism studies to identify key methodological choices for future harmonization and implementation*, Journal of Cleaner Production,163. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.014>
- Bermejo, Gómez de Segura, R. (2010) *Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis*. Cuadernos de Trabajo Hegoa. [https://publicaciones.hegoa.ehu.eus/uploads/pdfs/253/Sostenibilidad\\_DHL.pdf?1488539808](https://publicaciones.hegoa.ehu.eus/uploads/pdfs/253/Sostenibilidad_DHL.pdf?1488539808)
- Cadena Inostroza, C. y Morales Fajardo, M. E. (2020) *Conflictos entre ayuntamiento y comités independientes en Toluca por la gobernanza del agua*. Carta Económica Regional, 127, 25-53. <http://www.cartaeconomicaregional.cucea.udg.mx/index.php/CER/article/view/7790/6909>
- Cadena Vargas, E. y Mancino, M. (2010) *Índice de marginación por localidad Estado de México 2010*. Repositorio UAEMEX. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/58841>

- Camacho Anguiano, Iván (2009) *Ecología y medio ambiente: bachillerato*. ST editorial. 3ra. Edición.
- Carreño, Meléndez, F., Carrasco Aquino, R., coord. (2015) *Epistemología de la sustentabilidad*. México. UAEMex.
- Carreño Campo, C., y Alfonso, W. H. (2018). *Relación entre los procesos de urbanización, el comercio internacional y su incidencia en la sostenibilidad urbana*. Cuadernos de Vivienda y Urbanismo, 11(22) <https://doi.org/10.11144/javeriana.cvu11-22.rpuc>
- Carreño Meléndez, F. (2018) *Sustentabilidad: Un paradigma crítico*, en Carreño Meléndez, F.; Iglesias Piña, D.; Barreto Sánchez, R.; Carrasco Aquino, R.; Calderón, A.; Platas López, F. (coords) *Discusión epistemológica entorno a la sustentabilidad y el desarrollo*. Universidad Autónoma del Estado de México. Editorial Colofón.
- Centro Mario Molina (2014) *Estudio del sistema integral de movilidad sustentable para el valle de Toluca*. <https://centromariomolina.org/estudio-del-sistema-integral-de-movilidad-sustentable-para-el-valle-de-toluca>
- Cerin, P. (2006). *Bringing economic opportunity into line with environmental influence: A discussion on the coase theorem and the Porter and van der Linde hypothesis*. *Ecological Economics*, 56, 209–225 <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.01.016>
- Carrere Seguiel, M. (2022) *Metabolismo urbano: estado de arte, metodologías y cuantificación del metabolismo urbano del carbono para Santiago, Chile*. [Tesis para obtener grado magister. Universidad de Chile] <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/188004>
- Céspedes Restrepo, J.D. y Morales Pinzón, T. (2018) *Urban metabolism and sustainability: Precedents, genesis and research perspectives*. *Resources, Conservation and Recycling*, 131, 216–224. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.12.023>
- Chikere, Cornell C. y Nwoka, Jude (2018) *The Systems Theory of Management in Modern Day Organizations. A Study of Aldgate Congress Resort Limited Port Harcourt*; *Int J Sci Res Publ* 5(9). <http://www.ijsrp.org/research-paper-0915.php?rp=P454540>
- Cisneros Cortázar, A. (2021) *Hidropolítica: Procesos Ambientales y Conflictos por el Agua en la Zona Metropolitana de Toluca* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México] <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/111417/UAEM-FaPUR-TESIS-ARIEL%20CISNEROS%20CORTAZAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (10 de octubre 2024) *Objetivos de Desarrollo del milenio*. <https://www.cepal.org/es/temas/objetivos-de-desarrollo-del-milenio-odm/objetivos-desarrollo-milenio>.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2023) *Información Estadística Climatológica*. Gobierno de México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2023) *Sistema de Información Hidrológica*. Gobierno de México. <https://sih.conagua.gob.mx/hidros.html>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2023) *Registro de Público de Derechos del Agua*. Gobierno de México. <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>
- Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2021) *Índices de Marginación 2020*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>
- Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2023) *Índice de marginación 2020 por Entidad Federativa y Municipio*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>
- Contreras, M., Serrano-Medrano, M. y Masera O. (2022) *Patrones de consumo energético en el sector residencial de México: Un análisis desde la perspectiva de los usos finales*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. [https://secihti.mx/wp-content/uploads/pronaces/micrositios/energia\\_y\\_cambio\\_climatico/energia/cuadernos\\_tematicos/Cuaderno\\_Tematico\\_I\\_Pronaces\\_ECC\\_ISBN\\_final.pdf](https://secihti.mx/wp-content/uploads/pronaces/micrositios/energia_y_cambio_climatico/energia/cuadernos_tematicos/Cuaderno_Tematico_I_Pronaces_ECC_ISBN_final.pdf)
- Cruz García, J.A. (2018) *Diagnóstico del transporte público de pasajeros en la ruta Toluca-Metepec línea ATR*. Quivera. Revista de Estudios Territoriales, 20(1), 53–69 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40156035008>
- Czerny, M. (2021) *Desarrollo sostenible para las ciudades contemporáneas* en J.R. Calderón, C.A. Pérez, y M. Czerny (Coords.) *Ciudad y ambiente: Procesos y transformaciones en contextos urbanos*. Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- D'Amico, Gaspare; Taddeo, Raffaella; Shi, Lei; Yigitcanlar, Tan y Ioppolo, Giuseppe (2020) *Ecological indicators of smart urban metabolism: A review of the literature on international standards*. Ecological Indicators, 118, Article number: 106808. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106808>
- Delgado Ramos, G. C. (2011) *Metabolismo y Ecología Política de las megaurbes Latinoamericanas*. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. [https://ru.ceiich.unam.mx/bitstream/123456789/3300/1/Jornadas2010\\_Cap2\\_Metabolismo\\_y\\_ecologia\\_politica.pdf](https://ru.ceiich.unam.mx/bitstream/123456789/3300/1/Jornadas2010_Cap2_Metabolismo_y_ecologia_politica.pdf)
- Delgado Ramos, G. C. (2014) *Metabolismo social y el bien común de la humanidad: ecología, economía y política*. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. [https://ru.ceiich.unam.mx/bitstream/123456789/3299/1/BuenaVida\\_BuenVivir\\_Cap5\\_Metabolismo\\_social.pdf](https://ru.ceiich.unam.mx/bitstream/123456789/3299/1/BuenaVida_BuenVivir_Cap5_Metabolismo_social.pdf)
- Delgado Ramos G. C. (2015) *Complejidad e interdisciplina en las nuevas perspectivas socio-ecológicas: el caso de la ecología política urbana anclada en nociones metabólicas* en Gómez de la Torre, Blanco, Gómez. (Eds.) Letras verdes, 17, 108-130. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/6811/1/RFLACSO-LV17-06-Delgado.pdf>

- Delgado Ramos G. C. (2015) *Water and the political ecology of urban metabolism: the case of Mexico City*. Journal of Political Ecology. 1(22), 98-114. <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/JPE/article/download/21080/20668>
- Delgado, G. C., Campos Chávez, C., y Rentería Juárez, P. (2012) *Cambio climático y el metabolismo urbano de las Megaurbes Latinoamericanas*. Hábitat Sustentable, 2(1), 2-25. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/409>
- Derrible, S., Cheah, L., Arora, M. y Yeow, L. (2021). *Urban Metabolism*. In: Shi, W., Goodchild, M.F., Batty, M., Kwan, MP., Zhang, A. (eds) Urban Informatics. The Urban Book Series. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6_7)
- Di Salvo, Anunziata, Briceño, José y Romero, Nick, (2009). *Estudio de los ecosistemas desde la perspectiva de la complejidad*. Multiciencias, 9(3), 242-248. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90412325003>
- Díaz Álvarez, C. (2014). *Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades*. Inter Disciplina, 2(2). <http://dx.doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2014.2.46524>
- Diesendorf, M. (2000). *Sustainability and sustainable development*. In D. Dunphy, J. Benveniste, A. Griffiths, & P. Sutton (Eds.), *Sustainability: The corporate challenge of the 21st century* (pp. 2, 19–37). Sydney: Allen & Unwin. [https://www.researchgate.net/publication/307957424\\_Sustainability\\_and\\_sustainable\\_development](https://www.researchgate.net/publication/307957424_Sustainability_and_sustainable_development)
- Dinarès, Marta (2014) *Urban Metabolism: A review of recent literature on the subject*. Universidad de Barcelona. Documents d'Anàlisi Geogràfica. <https://dag.revista.uab.cat/article/view/v60-n3-dinares>
- Dubois, Alfonso (2006) *Dimensión normativa del desarrollo en la globalización: una visión crítica de los objetivos del milenio*. Departamento de Economía Aplicada I, Instituto Hegoa. [https://biblioteca.hegoa.ehu.es/downloads/16161/%2Fsystem%2Fpdf%2F3919%2FDimension\\_normativa\\_del\\_Desarrollo\\_en\\_la\\_Globalizacion.pdf](https://biblioteca.hegoa.ehu.es/downloads/16161/%2Fsystem%2Fpdf%2F3919%2FDimension_normativa_del_Desarrollo_en_la_Globalizacion.pdf)
- Duvigneaud P., Denaeyer-De Smet S. (1977) *L'ecosystème urbain Bruxellois*. en: Duvigneaud P, Kestemont P (eds) *Productivité biologique en Belgique*. Duculot, Paris, pp 608–613.
- Egerton, N. F. (2017) *History of Ecological Sciences, Part 59: Niches, Biomes, Ecosystems and Systems*. University of Wisconsin. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bes2.1337>
- Elmqvist, T., Alfsen, C. y Colding, J. (2008) *Urban Systems*, en *Encyclopedia of Ecology*. Elsevier, 452–458. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63768-0.00364-4>
- Enkerlin, E. C., Cano, G. Garza, R., Vogel, E., (1997) *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible*. Thompson.
- Escobedo Guerreo, Gabriela G. y Andrade Vallejo, María A. (2015) *Desarrollo sustentable: estrategia en las empresas para un futuro mejor*. Business & Economics. Alfaomega.

- Evers, B. A. (2018) *Why adopt the Sustainable Development Goals? The case of multinationals in the Colombian coffee and extractive sector*. [Master Thesis Erasmus. University Rotterdam]. <https://thesis.eur.nl/pub/41819/Evers-Bas.pdf>
- Fernández, John (2007). *Materials for Aesthetic, Energy-Efficient, and Self-Diagnostic Buildings*. Science, 315.
- Fisher-Kowalski, Marina (1997). *Society's metabolism: on the childhood and adolescence of a rising conceptual star*. En Redclift, Michael y Woodgate, Graham (eds.), *The International Handbook of Environmental Sociology*. Londres: Edward Elgar. [https://www.researchgate.net/publication/313762388\\_Society's\\_Metabolism\\_On\\_the\\_Childhood\\_and\\_Adolescence\\_of\\_a\\_Rising\\_Conceptual\\_Star](https://www.researchgate.net/publication/313762388_Society's_Metabolism_On_the_Childhood_and_Adolescence_of_a_Rising_Conceptual_Star)
- Galindo-Bianconi, A.S. y Victoria-Uribe, R. (2012) *La vegetación como parte de la sustentabilidad urbana: beneficios, problemáticas y soluciones, para el Valle de Toluca*, Quivera. Revista de Estudios Territoriales, 14(1), 98–108. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894006>
- García Valerio, Abigail (2021) *Evaluación del manejo de residuos sólidos urbanos en la megalópolis mexicana (2010 – 2020)*. [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/112657>
- Gárfias, J., Bibiano, L. & Llanos, H. (2008) *Uso racional y sostenible de los recursos hídricos del acuífero del valle de Toluca*. CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 15(1), 61–72. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10415107>
- Gaspar Sánchez, N., y Orozco Hernández, M. E. (2015). *Configuración terciaria de la zona metropolitana de Toluca*. Revista Bitácora Urbano Territorial, 25(1), 9-18. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/39853>
- Global Footprint Network (2024) *Ecological Footprint vs Biocapacity*. México. <https://data.footprintnetwork.org/#/countryTrends?cn=138&type=BCpc,EFCpc>
- Gobierno del Estado de México (GEM) (2018a) *Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Toluca (PMDUT) 2018*.
- Gobierno del Estado de México (GEM) (2018b) *Programa Regional XVII Toluca 2017-2023*.
- Gobierno del Estado de México (GEM) (2022) *Programa Metropolitano para la Zona Metropolitana del Valle de Toluca*.
- Gómez Cruz, Moisés (2021) *Manejo integral de residuos sólidos urbanos a través de la basura en la Zona Metropolitana de Toluca*. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/111544>
- González de Canales, Carlos (2011) *Áreas verdes den las ciudades, nuevas formas de entender la naturaleza*. Revista Ambienta. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3800774>
- Gray, R. (2010). *Is accounting for sustainability actually accounting for sustainability ... and how would we know? An exploration of narratives of organisations and the planet*. Accounting, Organizations and Society, 35(1), 47–62.

[https://www.researchgate.net/publication/46492886\\_Is\\_accounting\\_for\\_sustainability\\_actually\\_accounting\\_for\\_sustainability\\_and\\_how\\_would\\_we\\_know\\_An\\_exploration\\_of\\_narratives\\_of\\_organisations\\_and\\_the\\_planet](https://www.researchgate.net/publication/46492886_Is_accounting_for_sustainability_actually_accounting_for_sustainability_and_how_would_we_know_An_exploration_of_narratives_of_organisations_and_the_planet)

- Guerrero, Fiorella (2022) *Metabolismo urbano de la ciudad de Huancavelica, Perú*. [Tesis de licenciatura. Pontificia Universidad Católica de Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/23118>
- Guimarães, Roberto P y Bárcena, Alicia (2003) *El desarrollo sustentable de América Latina y el Caribe desde Rio 1992 y los nuevos imperativos de institucionalidad*. La transición hacia el desarrollo sustentable perspectivas de América Latina y el Caribe 13-24. <https://www.ingentaconnect.com/contentone/ieal/meda/2003/00000059/00000001/art00003?crawler=true>
- Haberl H., Wiedenhofer, D., Pauliuk, S., Krausmann, Müller, D. y Fischer- Kowalski, M (2019) *Contributions of sociometabolic research to sustainability science*. *Nat Sustain* 2(3),173–184. <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0225-2>
- Hanya, T., y Ambe, Y. (1975). *A study on the metabolism of cities. Science for better environment, proceedings of the international congress on the human environment* (Hesc) Kyoto, 1975, 228–233.
- Hassan, Uusow,A. (2024) *History of Ecology*. University of Russia. [https://www.researchgate.net/publication/378857878\\_HISTORY\\_OF\\_ECOLOGY](https://www.researchgate.net/publication/378857878_HISTORY_OF_ECOLOGY)
- Hernández Romero, J.C., Morales Méndez, C. y Madrigal Uribe, D. (2004) *Comportamiento del monóxido de carbono y el clima en la ciudad de Toluca, de 1995 a 2001*. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 11(3), 263–274. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10411306>
- Herrera, José (2023) *Migraciones Climáticas: cuando el cambio climático aleja de casa*. UNAM Global Revista. [https://unamglobal.unam.mx/global\\_revista/migraciones-climaticas/](https://unamglobal.unam.mx/global_revista/migraciones-climaticas/)
- Ho, M.-W. (2015) *Sustainable cities as organisms, a circular thermodynamics perspective*. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 10,127–139. <https://doi.org/10.2495/DNE-V0-N0-1-13>.
- Hoekman, P. y von Blottnitz, H. (2016) *Cape Town's Metabolism: Insights from a Material Flow Analysis*. *Journal of Industrial Ecology*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jiec.12508>
- IEECC (2022) *Inventario Estatal de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero, 2020*. Gobierno del Estado de México (GEM). [https://iecc.edomex.gob.mx/sites/iecc.edomex.gob.mx/files/files/Publicaciones%20Hist%C3%B3ricas/1\\_Inventario\\_Emisiones/IE%20GEI%202020.pdf](https://iecc.edomex.gob.mx/sites/iecc.edomex.gob.mx/files/files/Publicaciones%20Hist%C3%B3ricas/1_Inventario_Emisiones/IE%20GEI%202020.pdf)
- IPCC (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Vol. 1 al 8*. Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. <https://www.ipccngip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>

- IPCC (2023) *Summary for Policymakers*. En: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Geneva, Switzerland, 1-34. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf)
- IPCC (2024) *History of International Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/about/history/>
- Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (IGECEM) (2022) *Índice municipal de Actividad económica (IMAE)*. Gobierno del Estado de México (GEM). [https://igecem.edomex.gob.mx/indole\\_economica](https://igecem.edomex.gob.mx/indole_economica)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2000) *Censo de Población y Vivienda 2000*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2005) *Conteo de Población y Vivienda 2005*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010) *Censo de Población y Vivienda 2010*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2015) *Encuesta Intercensal 2015*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2018) *Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares*
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2020) *Censo Económico 2019*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2020) *Censo de Población y Vivienda 2020*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2021) *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2023) *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2023*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2023) *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México. SCIAN*.
- International Institute of Sustainable Development (IISD) (2012) *Sustainable Development Timeline*. [https://www.iisd.org/system/files/publications/sd\\_timeline\\_2012.pdf](https://www.iisd.org/system/files/publications/sd_timeline_2012.pdf)
- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) (2022) *Índice de Ciudades Sostenibles (ICS) 2021*. <https://imco.org.mx/indice-de-ciudades-sostenibles-2021/>
- Jasso-Miranda, Maricarmen, Soria-Ruiz, Jesús y Antonio-Némiga, Xanat (2022) *Pérdida de superficies cultivadas de maíz de temporal por efecto de heladas en el valle de Toluca*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13 (2) 2007- 2022. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2587>
- John, B. Luederitz, C., Lang, D. y von Wehrden, H. (2019) *Toward Sustainable Urban Metabolisms. From System Understanding to System Transformation*. *Ecological Economics*, 157, 402–414. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2018.12.007>

- Kane, M., y Erickson, J. D. (2007). *Urban metabolism and payment for ecosystem services: History and policy analysis of the New York City water supply*. *Advances in the Economics of Environmental Resources* 7, 307– 328. [https://doi.org/10.1016/S1569-3740\(07\)07013-7](https://doi.org/10.1016/S1569-3740(07)07013-7)
- Kaviti Musango, J., Currie, P., Smit, S. y Kovacic, Z. (2020) *Urban metabolism of the informal city: Probing and measuring the “unmeasurable to monitor Sustainable Development Goal 11 indicators*. *Ecological Indicators*, 119. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2020.106746>
- Kennedy, C., Cuddihy, J., y Engel-yan, J. (2007). *The changing metabolism of cities*. *The Changing Metabolism of Cities*, 11(2), 43–59. [https://www.researchgate.net/publication/227616973\\_The\\_Changing\\_Metabolism\\_of\\_Cities](https://www.researchgate.net/publication/227616973_The_Changing_Metabolism_of_Cities)
- Lanau, Maud; Mao, Ruichang y Liu, Gang (2021) *Cities as organisms: Urban metabolism of the four main Danish cities*. *Cities*, 118. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103336>
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (LGEEPA) Reformada, Diario Oficial de la Federación. (Primero de abril del 2024) México. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- Li, Huan y Kwan, Mei-Po (2018) *Advancing analytical methods for urban metabolism studies*. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 239-245 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.005>.
- Luna Nemecio, Josemanuel (2022) *Sustentabilidad, historia y ambiente: análisis sobre el metabolismo urbano-industrial del estado de Morelos, México (1980 – 2021)*. *Revista de Historia*. 1(29), 182 – 208. <https://revistas.udec.cl/index.php/historia/article/view/7753/6948>
- Marten, G.G. (2001) *Human Ecology: Basic Concepts for Sustainable Development*. Earthscan Publications Ltd., London, 256. <https://www.gerrymarten.com/ecologia-humana/indice.html>
- Martínez Alier, Joan (2004) *Los conflictos ecológico-distributivos y los indicadores de sustentabilidad*. *Revibec. Revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica*, n° 1, pp. 21-30. <https://journals.openedition.org/polis/5359>
- Martínez Flores, L. (2015) *Introducción a los ecosistemas urbanos*. Ciudad de México: Universidad Iberoamericana.
- Mensah, Justice (2019) *Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review*. *Cogent Social Sciences*, 5:1. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311886.2019.1653531>
- México ante el cambio climático (2023) *Impactos del cambio climático en México*. <https://cambioclimatico.gob.mx/impactos-del-cambio-climatico-en-mexico/>
- Miller, G T. y Spoolman, S. E. (2019) *Ciencia ambiental*. Cengage.

- Montoya García, D., Adame Martínez, S., Cadena Vargas, E. Martínez Miranda, V. y Díaz Álvarez, C. (2022) *Metabolismo urbano en los municipios de Toluca y Metepec, Estado de México, México*. Quivera, Revista de Estudios Territoriales. <https://quivera.uaemex.mx/article/view/19063>
- Newcombe, B. K., Kalma, J. D., & Aston, A. R. (1978). *The metabolism of a city: The case of Hong Kong* vol. 7(1), 3–15. <http://www.jstor.org/stable/4312330>
- Newman, P. W. G. (1999) *Sustainability and cities: Extending the metabolism model*. Landscape and Urban Planning, 44(4), 219226. [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*, (3rd ed.). W.B. Saunders. Philadelphia, Estados Unidos.
- Odum, H.T. (1983) *Systems Ecology: an Introduction*. Wiley, New York.
- Olvera Lara, Yaomautzin y Olvera Lara, Yetlanetzi (2018) *Objetivo 11 de desarrollo sostenible: ciudades y comunidades sustentables*. [https://www.researchgate.net/publication/327664099\\_Objetivo\\_11\\_de\\_Development\\_Sostenible\\_Ciudades\\_y\\_Comunidades\\_Sustentables](https://www.researchgate.net/publication/327664099_Objetivo_11_de_Development_Sostenible_Ciudades_y_Comunidades_Sustentables)
- Organización de Naciones Unidas (ONU) (1976) *Report of habitat: United nations conference on human settlements*. (25 de septiembre 2023) <https://docs.un.org/en/A/CONF.70/15>
- Organización de Naciones Unidas (ONU) (1996) *Report of United nations conference on human settlements (Habitat II)*. (25 de septiembre 2023) <https://docs.un.org/en/A/CONF.165/14>
- Organización de Naciones Unidas (ONU) (2015) *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (25 de septiembre 2023). <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Organización de Naciones Unidas (ONU) (1996) *Quito declaration on sustainable cities and human settlements for all (Habitat III)*. (25 de septiembre 2023) <https://docs.un.org/en/A/RES/71/256>
- Organización de Naciones Unidas (ONU) (2023) *Si no actuamos ahora, no alcanzaremos los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. (1 de julio 2024) <https://news.un.org/es/story/2023/04/1520432>
- Organización Internacional para las Migraciones (OIM) (2019). *Glosario de la OIM sobre Migración*. Ginebra: Organización Internacional para las Migraciones. <https://publications.iom.int/system/files/pdf/iml-34-glossary-es.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2018) *Objetivos del Desarrollo del Milenio (ODM)*. (10 de octubre del 2024) [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/millennium-development-goals-\(mdgs\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/millennium-development-goals-(mdgs))
- Organización Mundial del Comercio (OMC) (s/f) *Objetivos del Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas*. (10 de octubre del 2024) [https://www.wto.org/spanish/thewto\\_s/coher\\_s/mdg\\_s/mdgs\\_s.htm](https://www.wto.org/spanish/thewto_s/coher_s/mdg_s/mdgs_s.htm)
- Orozco Hernández, M.E., Venancio Flores, A. & Gutiérrez, S.F. (2022) *Metabolismo de la gestión del agua en la ciudad de Toluca, México*. Revista de Direito da Cidade, 14(2). <https://doi.org/10.12957/rdc.2022.65660>

- Ornés Vásquez, S., (2014). *La gestión urbana sostenible: conceptos, rol del gobierno local y vinculación con el marketing urbano*. Provincia, (31), 147-171. <https://www.redalyc.org/pdf/555/55532603006.pdf>
- Pallathadka, Arun, Chang, Heejun, Ajibade, Idowu. (2023) *Urban sustainability implementation and indicators in the United States: A systematic review*. City and Environment Interactions. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2023.100108>
- Pengue Walter, Alberto (2018) *El metabolismo social urbano: la base de recursos de la ciudad y los de materiales y energía*. Edit. Coraggio, José Luis, Muñoz Ruth. Economía de las ciudades de América Latina hoy. [https://www.researchgate.net/publication/329402528\\_Capitulo\\_10\\_El\\_metabolismo\\_social\\_urbano\\_la\\_base\\_de\\_recursos\\_de\\_la\\_ciudad\\_y\\_los\\_flujos\\_de\\_materiales\\_y\\_energia331\\_a\\_363\\_Walter\\_Alberto\\_Pengue](https://www.researchgate.net/publication/329402528_Capitulo_10_El_metabolismo_social_urbano_la_base_de_recursos_de_la_ciudad_y_los_flujos_de_materiales_y_energia331_a_363_Walter_Alberto_Pengue)
- Pérez-González, David, Delgado-Ramos, G. C. Cedillo Ramírez, Lilia, Loreto López Rosalva, Ramos Cassellis, María Elena, Tamariz Flores, José y Peña Moreno, Ricardo. (2023) *Puebla City Water Supply from the Perspective of Urban Water Metabolism*. Sustainability 14549 (15). <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/19/14549>
- Perrotti, D, (2020) *Urban metabolism: old challenges, new frontiers, and the research agenda ahead*, Editor(s): Pramit Verma, Pardeep Singh, Rishikesh Singh, A.S. Raghubanshi, Urban Ecology, Elsevier. 17-32 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820730-7.00002-1>
- Szabo, Peter. (2015) *Historical ecology: past, present and future*. Biol Rev Camb Philos Soc. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/brv.12141>
- Pigna, A. (2023) *¿Cuántos kilómetros rinde un litro de gasolina?* <https://www.kavak.com/mx/blog/cuantos-kilometros-rinde-un-litro-de-gasolina>
- Piña, W. H., Alfonso, y Martínez, C. I., Pardo (2014). *Urban material flow analysis: An approach for Bogotá, Colombia*. Ecological Indicators, 42, 32. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.035>
- Pulselli, M. F, (2019) *System Sustainability*, Editor(s): Brian Fath, Encyclopedia of Ecology (Second Edition) Elsevier <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10610-4>
- Purvis, B., Mao, Y., Robinson, D. (2016) *Thermodynamic entropy as an indicator for urban sustainability?* Procedia Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.131>
- Rabie, M. (2016). *A Theory of Sustainable Sociocultural and Economic Development* <https://link.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-1-137-57952-2%2F1.pdf>
- Roberson, Margaret (2021) *Sustainability, principles and practice*. Routledge. 3a. edición.
- Rodríguez, D.G.E., y Montesillo, C.J.L. (2017). *Propuesta para la gestión sustentable de los residuos sólidos urbanos en la zona central conurbada de Toluca*. Revista Legado de Arquitectura y Diseño, (21) <https://www.redalyc.org/journal/4779/477948279059/477948279059.pdf>

- Romero Guzmán, E.T., de Hoyos Martínez, J.E. y Romero-Guzmán, L. (2018) *Ciudades sustentables a partir de un paradigma hídrico emergente, caso de estudio: Toluca, México*. Revista Legado de Arquitectura y Diseño, (23), 107–118. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477954382032>
- Sabogal, D., Carlos, G. y Willems, B. (2018) *El nexo agua-energía-alimentos en paisajes urbanos-Amazónicos: un estudio de caso del Tarapoto y la microcuenca del río Cumbaza, Perú*. Medio Ambiente y Urbanización, 88, 123-148. <https://www.ingentaconnect.com/contentone/iieal/meda/2018/00000088/00000001/art00006>
- Sahely, H. R., Dudding, S., y Kennedy, C. A. (2003). *Estimating the urban metabolism of Canadian cities: Greater Toronto area case study*. Canadian Journal of Civil Engineering, 30(2), 468–483. <https://doi.org/10.1139/102-105>.
- Sánchez Barreto, R. (2018) *La construcción de la sustentabilidad: del reduccionismo al holismo. Apuntes para una reflexión*, en Carreño Meléndez, F.; Iglesias Piña, D.; Barreto Sánchez, R.; Carrasco Aquino, R.; Calderón, A.; Platas López, F. (coords) *Discusión epistemológica entorno a la sustentabilidad y el desarrollo*. Universidad Autónoma del Estado de México. Editorial Colofón.
- Sánchez, Vargas, A. (2021) *Efectos del cambio climático en el crecimiento Económico de México*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) -Instituto de Investigaciones Económicas. [https://ru.iiec.unam.mx/5355/1/ECC\\_ASV.pdf](https://ru.iiec.unam.mx/5355/1/ECC_ASV.pdf)
- Secretaría de Energía (SENER) (2021) *Sistema de Información Energética*. Gobierno de México. <https://sie.energia.gob.mx/inicio/#/>
- Seghezzeo, Lucas. (2009). *The Five Dimensions of Sustainability. Environmental Politics*. 18. 539-556. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09644010903063669>
- Serrano, O.S; Huertas, J.I.; Mogro, A.E.; Quiram, L.F; (2023). *Consumo energético de vehículos pesados en México*. Informador Técnico, 87(1), 29-39. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8901949.pdf>
- Servicio de Información Agroalimentario y Pesquera (2024) *Estadística de producción agrícola (Datos abiertos)*. Consultado en agosto 2024. [http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos\\_a.php](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php)
- Servicio Geológico Mexicano (SGM) (2017) *Vulcanismo*. Gobierno de México. <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Vulcanismo.html>
- Stanners D, Bourdeau P. (1995) *Europe's environment: the DobriS assessment*. Copenhagen: Eur Environ Agency.
- Suarez, Ma. Verónica y González Vázquez, Arturo. (2018) *Desarrollo sustentable: Un nuevo mañana*. Editorial Patria. 2da. Edición.
- Sustainable Development Goals Fund (SDGF) (s/f) *Objetivos del Desarrollo del Milenio*. (10 de octubre del 2024) <https://www.sdgifund.org/es/de-los-odm-los-ods>.
- Svirejeva-H. A, (2019) *Urbanization as a Biospheric Process: Carbon, Nitrogen, and Energy Fluxes*, Editor(s): Brian Fath, *Encyclopedia of Ecology (Second Edition)*, Elsevier, 209-218. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11178-9>

- Teferi, Z, y Newman, P. (2017) *Slum Regeneration and Sustainability: Applying the Extended Metabolism Model and the SDGs*. Sustainability 9, no. 12: 2273. <https://doi.org/10.3390/su9122273>
- Thrall, P. H., Bever, J. D., y Burdon, J. J. (2010). *Evolutionary change in agriculture: the past, present and future*. Evolutionary applications, 3(5-6), 405–408. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2010.00155.x>
- Toledo, Víctor M. (2008) *Metabolismos rurales: hacia una teoría económico-ecológica de la apropiación de la naturaleza*. Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica 7,1-26. <https://raco.cat/index.php/Revibec/article/view/87196>
- Toledo, Víctor M. (2013) *Metabolismo social: una nueva teoría socioecológica*. Relaciones 136, 41 – 71. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-39292013000400004](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-39292013000400004)
- Toledo, Víctor Manuel, Pablo Alarcón-Chaires y Lourdes Barón (2002) *La modernización rural de México: un análisis socio-ecológico*. México, SEMARNAT, UNAM. <http://140.84.163.2:8080/xmlui/handle/publicaciones/326>
- Torres-González, L. y Salvador-Benítez, J.L. (2022) *La Metrópoli del Valle de Toluca y sus retos hacia la sustentabilidad*. Procesos Urbanos, 9(1), p. e550. <https://doi.org/10.21892/2422085X.550>.
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) (20 de marzo 2019) 10 facts to fall in love with forests. <https://unece.org/forestry/news/10-facts-fall-love-forests>
- United Nations Environment Programme and United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) (2021). *Global Environment for Cities-GEO for Cities: Towards Green and Just Cities*. UNEP, Nairobi. <https://www.unep.org/resources/report/geo-cities-towards-green-and-just-cities>.
- Urteaga, Eguzki (2010) *La teoría de la complejidad de Edgar Morin: contribuciones y límites*. Dialogo filosófico, 26 (78). <https://www.dialogofilosofico.com/index.php/dialogo/article/view/263>
- Valdes García, David y Jiménez Sánchez, Pedro (2021): *Proceso de metropolización, dinámica económica y demográfica en la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT)*. En: Wong González, P., Isaac Egurrola, J. E., Morales García de Alba, E. R. y Treviño Aldape, A. [Coords.] (2021). *La dimensión global de las regiones y sus reconfiguraciones económicas y urbanas*. (Vol. II). Edit. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional.
- Valdez Nieto, Abigail (2020) *Basura cero. Propuesta de manejo sostenible para el municipio de Toluca*. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/110121>
- Venfilter (s.f) *La lluvia y la contaminación, los efectos que puede causar la sequía*. <https://venfilter.es/es/la-lluvia-y-la-contaminacion-los-efectos-que-puede-causar-la-sequia/>

- Vergara Herrera, Alejandra M. (2018) *Una aproximación del consumo energético a través del metabolismo urbano. El caso de México de 1990 -2015*. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional].
- Vilchis Mata, Iván, y Garrocho Rangel, Carlos Félix. (2018). *Comportamiento termopluiométrico en la zona metropolitana de Toluca: el deterioro ambiental de las ciudades*. *Sociedad y ambiente*, (18), 145-173. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-65762018000300145&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-65762018000300145&lng=es&tlng=es)
- Viloria, D. (2009) *Sustentabilidad Urbana en Venezuela. Capitales Urbanos para el desarrollo y políticas públicas*. Tesis Doctoral, Cap.I, Venezuela, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Central de Venezuela.
- Willis, A.J. (1997) *The ecosystem: An evolving concept viewed historically*. *Functional Ecology* 11, 268-271. <https://www.jstor.org/stable/2390328>
- Winkless, L. (2018) *Ciencia de la ciudad. La técnica que esconde la metrópoli*. Biblioteca nueva.
- Winterhalder, Bruce (1994) *Concepts in historical ecology. The view from evolutionary ecology*. En Crumley Carore L., *Historical ecology*. [https://www.researchgate.net/publication/200459423\\_Concepts\\_in\\_Historical\\_Ecology\\_The\\_view\\_from\\_evolutionary\\_ecology](https://www.researchgate.net/publication/200459423_Concepts_in_Historical_Ecology_The_view_from_evolutionary_ecology)
- Wu J. (2014) *Urban ecology and sustainability: The state of the science and future directions*. *Landsc Urban Plan.* 125, 209–221. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.018>
- Zhang, Y. (2019) *Urban Metabolism*, en *Encyclopedia of Ecology*. Elsevier, 441–451. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10756-0>

**Anexo 1. Factores de emisión indirecta por consumo de energía eléctrica anuales.**

<b>Año</b>	<b>Factor [TonCO<sub>2</sub>/MWh]</b>
<b>2010</b>	0.482
<b>2011</b>	0.482
<b>2012</b>	0.482
<b>2013</b>	0.482
<b>2014</b>	0.454
<b>2015</b>	0.458
<b>2016</b>	0.458
<b>2017</b>	0.582
<b>2018</b>	0.527
<b>2019</b>	0.505
<b>2020</b>	0.494
<b>2021</b>	0.423
<b>2022</b>	0.435

## Anexo 2. Consideraciones y factores de conversión para el cálculo en el consumo de combustibles domésticos y sus emisiones

<b>Cantidad considerada de combustible para cocción de alimentos</b>		
<b>Combustible</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
Gas LP	150	kg/ viv/año
Gas natural	73	m <sup>3</sup> /viv/año
Leña	2.1	kg/pers/día
Carbón	1.4	kg/pers/día

<b>Cantidad considerada para calentar agua</b>		
<b>Combustible</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
Gas LP	186.7	kg/viv/año
Gas natural	327.7	m <sup>3</sup> /viv/año
Leña	1.1	kg/pers/día

<b>Poder calorífico de combustibles</b>		
<b>Combustibles</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
Gas LP	4,153	MJ/bl
Gas natural	40,333	KJ/m <sup>3</sup>
Leña	14,486	MJ/ton
Carbón	19,432	MJ/ton

<b>Factor de emisión</b>			
<b>Combustibles</b>	<b>CO<sub>2</sub>(ton/MJ)</b>	<b>CH<sub>4</sub>(ton/MJ)</b>	<b>NO<sub>2</sub>(ton/MJ)</b>
Gas LP	6.31E-05	1.00E-09	1.00E-10
Gas natural	5.61E-05	1.00E-09	1.00E-10
Leña	1.12E-04	3.00E-08	4.00E-09
Carbón vegetal	1.12E-04	2.00E-07	4.00E-09

<b>Densidad</b>		
<b>Gas LP</b>	<b>510</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Gas natural</b>	<b>0.74</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Factor de conversión</b>		
<b>Barriles a m<sup>3</sup></b>	<b>6.23</b>	<b>bl/m<sup>3</sup></b>
<b>kJ a MJ</b>	<b>1000</b>	<b>kJ/MJ</b>

### Anexo 3. Consideraciones y factores de conversión para el cálculo en el consumo de combustibles en vehículos y sus emisiones

<b>Rendimiento promedio Sedan/combis (Gasolina) [km/L]</b>	10
<b>Distancia promedio recorrida Sedan/combis [km/año]</b>	23,520
<b>Movilidad en la ciudad sedan</b>	100%
<b>Rendimiento promedio Autobuses (Diesel) [km/L]</b>	2.5
<b>Distancia promedio recorrida autobús [km/año]</b>	77,760
<b>Movilidad en la ciudad autobuses</b>	100%

<b>Poder calorífico</b>		
<b>Combustible</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
Gasolina	5,613	MJ/bl
	34,969	MJ/m <sup>3</sup>
Diesel	6,065	MJ/bl
	37,785	MJ/m <sup>3</sup>

<b>Factor de emisión</b>			
<b>Combustibles</b>	<b>CO<sub>2</sub>(ton/MJ)</b>	<b>CH<sub>4</sub>(ton/MJ)</b>	<b>NO<sub>2</sub>(ton/MJ)</b>
Gasolina	0.0000693	2.5E-08	8E-09
Diesel	0.0000741	3.9E-09	3.9E-09

<b>Densidad</b>		
<b>Combustible</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
Gasolina	0.74	kg/L
	740	kg/m <sup>3</sup>
Diesel	850	kg/m <sup>3</sup>

## Anexo 4. Población y disposición de servicios en vivienda por localidades, municipio de Toluca, 2010.

Localidad	Población	Viviendas totales particulares habitadas	Viviendas Particulares habitadas con energía eléctrica	Porcentaje de viviendas con energía eléctrica	Viviendas particulares con agua entubada	Porcentaje de viviendas con agua entubada	Viviendas particulares con drenaje	Porcentaje de viviendas con drenaje
Toluca de Lerdo	489,333	124,925	120,328	96.32	114,309	91.50	119,495	95.65
Cacalomacán	12,001	2,803	2,733	97.50	2,617	93.36	2,727	97.29
Calixtlahuaca	8,993	2,001	1,884	94.15	1,705	85.21	1,859	92.90
Colonia Arroyo Vista Hermosa	3,208	715	701	98.04	485	67.83	603	84.34
El Cerrillo Vista Hermosa	8,699	1,915	1,889	98.64	1,708	89.19	1,783	93.11
La Constitución Tolupec	6,402	1,359	1,322	97.28	705	51.88	841	61.88
Guadalupe Totoltepec	1,755	401	398	99.25	13	3.24	254	63.34
Jicaltepec Cuexcontitlán	4,318	887	867	97.75	417	47.01	736	82.98
Palmillas	1,717	406	404	99.51	364	89.66	381	93.84
San Andrés Cuexcontitlán	18,005	3,846	3,741	97.27	1,519	39.50	3,338	86.79
San Antonio Buenavista	5,937	1,289	1,269	98.45	1,224	94.96	1,264	98.06
San Cayetano Morelos	4,439	997	988	99.10	885	88.77	854	85.66
San Diego de los Padres Cuexcontitlán	8,362	1,689	1,646	97.45	1,184	70.10	1,235	73.12
San Diego Linares	2,914	585	551	94.19	450	76.92	373	63.76
San Felipe Tlalmimilolpan	9,512	2,313	2,290	99.01	2,182	94.34	2,282	98.66
San Francisco Totoltepec	840	191	189	98.95	147	76.96	154	80.63
San José Guadalupe Otzacatipan	31,299	8,858	8,679	97.98	8,514	96.12	8,587	96.94
San Juan Tilapa	8,420	1,888	1,807	95.71	1,511	80.03	1,766	93.54
Ejido San Marcos Yachihualtepec	847	190	179	94.21	161	84.74	164	86.32
San Marcos Yachihualtepec	5,917	1,284	1,245	96.96	1,209	94.16	1,224	95.33
San Martín Tolupec	2,753	634	625	98.58	341	53.79	573	90.38
San Mateo Otzacatipan	22,656	4,854	4,722	97.28	4,271	87.99	4,514	93.00
San Nicolás Tolentino	6,798	1,435	1,417	98.75	973	67.80	1,273	88.71
San Pablo Autopan	35,141	7,414	7,238	97.63	3,937	53.10	6,869	92.65
San Pedro Totoltepec	21,076	4,997	4,899	98.04	4,589	91.84	4,842	96.90
Santa Cruz Otzacatipan	5,152	1,229	1,180	96.01	1,064	86.57	1,145	93.17
Sebastián Lerdo de Tejada	1,673	364	357	98.08	339	93.13	287	78.85
Tecaxic	3,177	702	668	95.16	380	54.13	635	90.46
Santiago Tlacotepec	15,853	3,543	3,473	98.02	3,435	96.95	3,446	97.26
Tlachaloya Primera Sección	3,563	757	702	92.73	665	87.85	676	89.30
Tlachaloya Segunda Sección	5,829	1,178	1,129	95.84	1,095	92.95	945	80.22

continuación

<b>Residencial Campestre (San Miguel Zacango)</b>	774	206	171	83.01	95	46.12	170	82.52
<b>Barrio del Cajón</b>	1,242	257	254	98.83	206	80.16	137	53.31
<b>La Palma Totoltepec</b>	2,407	533	529	99.25	212	39.77	446	83.68
<b>San Carlos Autopan</b>	1,202	260	259	99.62	160	61.54	258	99.23
<b>San Miguel Totoltepec</b>	5,471	1,248	1,232	98.72	659	52.80	991	79.41
<b>Colonia el Refugio</b>	1,790	415	395	95.18	394	94.94	381	91.81
<b>El Cerrillo Piedras Blancas</b>	1,986	429	416	96.97	362	84.38	327	76.22
<b>Colonia Guadalupe</b>	730	165	157	95.15	155	93.94	132	80.00
<b>Colonia Aviación Autopan</b>	1,444	323	320	99.07	308	95.36	305	94.43
<b>Barrio de Balbuena</b>	461	83	82	98.80	79	95.18	55	66.27
<b>El Dorado</b>	9	4	4	100.00	4	100.00	4	100.00
<b>Jicaltepec Autopan</b>	5,228	1,055	1,039	98.48	560	53.08	840	79.62
<b>Ojo de Agua Autopan</b>	906	194	192	98.97	159	81.96	166	85.57
<b>Hacienda Santín (Rancho Santín)</b>	24	7	7	100.00	7	100.00	7	100.00
<b>Barrio de San Carlos</b>	665	139	136	97.84	100	71.94	67	48.20
<b>San Diego de los Padres Otzacatipan</b>	1,774	358	352	98.32	325	90.78	333	93.02
<b>Rancho San Pablo (Ejido de Capultitlán)</b>	105	26	25	96.15	7	26.92	26	100.00
<b>Ejido Santa Cruz Atzacapozaltongo</b>	275	66	66	100.00	52	78.79	65	98.48
<b>Ejido de Santiago Tlaxomulco (Zimbrones)</b>	336	69	69	100.00	5	7.25	57	82.61
<b>Ejido de Almoloya de Juárez</b>	421	95	92	96.84	84	88.42	84	88.42
<b>San Isidro Ejido de Calixtlahuaca</b>	360	88	86	97.73	53	60.23	76	86.36
<b>Ranchería San Isidro</b>	86	19	19	100.00	19	100.00	19	100.00
<b>Barrio Bordo Nuevo</b>	1,718	371	365	98.38	311	83.83	293	78.98
<b>La Loma Cuexcontitlán</b>	1,084	219	211	96.35	195	89.04	87	39.73
<b>Xicaltepec Tepaltitlán (Ejido San Lorenzo)</b>	399	81	80	98.77	8	9.88	18	22.22
<b>Ejido de Xicaltepec Otzacatipan</b>	289	57	53	92.98	44	77.19	15	26.32
<b>Barrio de Jesús Fracción Primera</b>	2,174	434	429	98.85	115	26.50	292	67.28
<b>Barrio de Jesús Fracción Segunda</b>	1,404	286	277	96.85	272	95.10	231	80.77
<b>Colonia San Blas Totoltepec</b>	189	43	42	97.67	33	76.74	15	34.88
<b>San Diego los Padres Cuexcontitlán Sección 5 B</b>	3,242	661	643	97.28	575	86.99	481	72.77
<b>Barrio de la Cruz</b>	510	112	109	97.32	84	75.00	110	98.21
<b>Barrio la Venta</b>	597	124	124	100.00	122	98.39	124	100.00
<b>Ejido de Nova (Barrio del Museo)</b>	345	86	76	88.37	47	54.65	63	73.26
<b>Barrio la Joya</b>	71	20	15	75.00	5	25.00	13	65.00
<b>Colonia del Durazno</b>	196	46	45	97.83	39	84.78	42	91.30
<b>La Macaria</b>	368	89	74	83.15	28	31.46	84	94.38
<b>Colonia Dos Ríos (Paraje el Cornejal)</b>	341	74	73	98.65	59	79.73	72	97.30

continuación

La Planada (El Arenal)	1,117	246	242	98.37	143	58.13	242	98.37
Barrio Santa María	790	171	165	96.49	159	92.98	155	90.64
Rancho San José Terán	224	50	44	88.00	41	82.00	48	96.00
Barrio de San José Buenavista el Chico	849	157	156	99.36	150	95.54	82	52.23
San José la Costa	925	201	182	90.55	182	90.55	148	73.63
Ejido de Oxtotitlán (Nova)	124	32	24	75.00	11	34.38	24	75.00
Rancho la Esperanza	5	*	*	*	*	*	*	*
Rancho San Bartolo (Rancho Grande)	26	5	3	60.00	2	40.00	3	60.00
El Arenal	101	19	18	94.74	3	15.79	19	100.00
Barrio Santa Cruz	3,757	798	766	95.99	579	72.56	721	90.35
Barrio de Santa María	940	198	193	97.47	170	85.86	136	68.69
Santiago Tlaxomulco (Tumbaburros)	195	43	41	95.35	35	81.40	38	88.37
Colonia Guadalupe (La Loma)	557	130	105	80.77	19	14.62	88	67.69
Colonia la Cañada	337	78	77	98.72	36	46.15	77	98.72
Colonia el Mirador (Barrio del Canal)	902	195	194	99.49	192	98.46	192	98.46
Joya de Cacalomacán (Hacienda San Antonio Cano)	488	103	93	90.29	89	86.41	90	87.38
Lomas de Vista Hermosa	351	79	76	96.20	75	94.94	76	96.20
El Mirador	72	17	12	70.59	9	52.94	11	64.71
Colonia las Palmas	298	73	68	93.15	34	46.58	54	73.97
Santa Juanita de Santiago Tlacotepec	1,009	261	258	98.85	259	99.23	255	97.70
Galaxias Toluca	1,669	519	517	99.61	513	98.84	511	98.46
Rancho el Rosedal	4	*	*	*	*	*	*	*
Ejido del Cerro del Murciélago	90	19	16	84.21	11	57.89	18	94.74
Pueblo Nuevo	475	105	99	94.29	70	66.67	97	92.38
San Blas Oztzacatipan	642	129	128	99.22	127	98.45	123	95.35
Fraccionamiento Real de San Pablo	2,967	875	871	99.54	860	98.29	868	99.20
Fraccionamiento San Diego	1,587	472	469	99.36	450	95.34	465	98.52
Colonia Acuxtilla	139	29	26	89.66	21	72.41	20	68.97
Colonia la Joya	600	137	133	97.08	124	90.51	127	92.70
Colonia Loma Bonita	640	151	145	96.03	112	74.17	144	95.36
Rancho Shuli (El Socavón)	247	58	51	87.93	52	89.66	48	82.76
Ejido de Tlachaloya (Las Jaras San Nicolás)	222	46	44	95.65	42	91.30	33	71.74
<b>Total</b>	<b>819,561</b>	<b>199,787</b>	<b>193,254</b>	<b>96.73</b>	<b>172,910</b>	<b>86.55</b>	<b>186,924</b>	<b>93.56</b>

## Anexo 5. Población y disposición de servicios en vivienda por localidades, municipio de Toluca, 2020.

Localidad	Población	Viviendas totales particulares habitadas	Viviendas particulares habitadas con energía eléctrica	Porcentaje de viviendas con energía eléctrica	Viviendas particulares con agua entubada	Porcentaje de viviendas con agua entubada	Viviendas particulares con drenaje	Porcentaje de viviendas con drenaje
Toluca de Lerdo	223,876	66,037	65,822	99.67	65,722	99.52	65,786	99.62
Cacalomacán	13,796	3,232	3,227	99.85	3,217	99.54	3,222	99.69
Calixtlahuaca	9,396	2,278	2,268	99.56	2,231	97.94	2,262	99.30
Capultitlán	20,703	5,566	5,538	99.50	5,469	98.26	5,546	99.64
Arroyo Vista Hermosa	4,721	1,092	1,088	99.63	1,010	92.49	1,028	94.14
El Cerrillo Vista Hermosa	9,118	2,214	2,194	99.10	2,178	98.37	2,168	97.92
La Constitución Tultepec	9,209	2,074	2,042	98.46	1,924	92.77	1,892	91.22
Guadalupe Totoltepec	1,721	397	396	99.75	178	44.84	354	89.17
Jicaltepec Cuexcontitlán	5,399	1,258	1,239	98.49	1,199	95.31	1,199	95.31
Palmillas	966	257	256	99.61	257	100.00	256	99.61
San Andrés Cuexcontitlán	18,180	3,892	3,839	98.64	3,420	87.87	3,753	96.43
San Antonio Buenavista	5,758	1,353	1,351	99.85	1,346	99.48	1,349	99.70
San Buenaventura	26,968	6,731	6,710	99.69	6,651	98.81	6,711	99.70
San Cayetano Morelos	3,988	1,048	1,042	99.43	1,033	98.57	1,025	97.81
San Cristóbal Huichochitlán	42,320	9,466	9,372	99.01	9,046	95.56	9,250	97.72
San Diego de los Padres Cuexcontitlán	13,381	2,951	2,932	99.36	2,888	97.87	2,810	95.22
San Diego Linares	3,726	837	826	98.69	828	98.92	779	93.07
San Felipe Tlalmimilolpan	13,310	3,519	3,497	99.37	3,477	98.81	3,499	99.43
San Francisco Totoltepec	3,206	761	760	99.87	738	96.98	756	99.34
San José Guadalupe Otzacatipan	7,984	1,797	1,786	99.39	1,734	96.49	1,743	96.99
San Juan Tilapa	9,395	2,135	2,125	99.53	2,097	98.22	2,128	99.67
San Lorenzo Tepaltitlán	35,292	9,810	9,789	99.79	9,712	99.00	9,794	99.84
Ejido de San Marcos Yachihualtepec	840	194	192	98.97	191	98.45	184	94.85
San Marcos Yachihualtepec	6,250	1,466	1,461	99.66	1,457	99.39	1,456	99.32
San Martín Tultepec	2,738	687	684	99.56	682	99.27	674	98.11
San Mateo Otzacatipan	22,574	5,293	5,257	99.32	5,113	96.60	5,190	98.05
San Mateo Oxtotitlán	22,500	6,234	6,218	99.74	6,191	99.31	6,217	99.73
San Nicolás Tolentino	8,406	1,901	1,897	99.79	1,837	96.63	1,850	97.32
San Pablo Autopan	47,932	10,709	10,604	99.02	9,790	91.42	10,458	97.66
San Pedro Totoltepec	22,374	5,715	5,664	99.11	5,616	98.27	5,663	99.09
Santa Ana Tlapaltitlán	33,089	8,349	8,238	98.67	8,189	98.08	8,283	99.21
Santa Cruz Atzacapotzaltongo	13,812	3,848	3,839	99.77	3,828	99.48	3,835	99.66

*continuación*

<b>Santa Cruz Oztacatipan</b>	3,822	893	891	99.78	861	96.42	880	98.54
<b>Santa María Totoltepec</b>	31,689	8,887	8,870	99.81	8,849	99.57	8,859	99.68
<b>Santiago Miltepec</b>	13,546	3,921	3,915	99.85	3,909	99.69	3,906	99.62
<b>Santiago Tlaxomulco</b>	6,178	1,521	1,510	99.28	1,508	99.15	1,500	98.62
<b>Sebastián Lerdo de Tejada</b>	1,694	386	379	98.19	380	98.45	377	97.67
<b>Tecaxic</b>	3,687	962	961	99.90	939	97.61	951	98.86
<b>Santiago Tlacotepec</b>	19,744	4,466	4,455	99.75	4,446	99.55	4,453	99.71
<b>Tlachaloya</b>	4,215	880	871	98.98	866	98.41	862	97.95
<b>Tlachaloya Segunda Sección</b>	6,778	1,471	1,461	99.32	1,420	96.53	1,292	87.83
<b>Rancho San Miguel Zacango</b>	1,396	386	386	100.00	333	86.27	381	98.70
<b>La Palma Toltepec</b>	2,439	558	556	99.64	540	96.77	540	96.77
<b>San Carlos Autopan</b>	1,274	331	331	100.00	326	98.49	306	92.45
<b>San Miguel Totoltepec</b>	7,892	1,961	1,942	99.03	1,915	97.65	1,909	97.35
<b>El Refugio</b>	3,188	747	745	99.73	745	99.73	746	99.87
<b>Cerrillo Piedras Blancas</b>	2,577	537	531	98.88	506	94.23	420	78.21
<b>Colonia Guadalupe</b>	1,208	340	333	97.94	340	100.00	339	99.71
<b>Aviación Autopan</b>	1,327	362	359	99.17	360	99.45	349	96.41
<b>Balbuena</b>	564	126	124	98.41	121	96.03	105	83.33
<b>Jicaltepec Autopan</b>	6,730	1,457	1,432	98.28	1,353	92.86	1,338	91.83
<b>Ojo de Agua</b>	600	167	165	98.80	165	98.80	160	95.81
<b>Hacienda Santín (Rancho Santín)</b>	4,203	1,444	1,444	100.00	1,443	99.93	1,442	99.86
<b>San Carlos</b>	910	194	192	98.97	172	88.66	123	63.40
<b>San Diego de los Padres Oztacatipan</b>	2,545	520	516	99.23	491	94.42	499	95.96
<b>Colonia San Pablo</b>	160	37	34	91.89	31	83.78	36	97.30
<b>Ejido Santa Cruz Atzacapozaltongo</b>	520	128	128	100.00	124	96.88	127	99.22
<b>Barrio Zimbrones</b>	312	77	77	100.00	77	100.00	63	81.82
<b>Ejido de Almoloya de Juárez</b>	448	116	116	100.00	109	93.97	90	77.59
<b>San Isidro Ejido de Calixtlahuaca</b>	211	63	63	100.00	58	92.06	57	90.48
<b>Rancho las Lupitas</b>	4	*	*	*	*	*	*	*
<b>San Isidro</b>	88	17	17	100.00	17	100.00	17	100.00
<b>Barrio Bordo Nuevo</b>	1,606	385	384	99.74	380	98.70	356	92.47
<b>La Loma Cuexcontitlán</b>	579	122	120	98.36	120	98.36	118	96.72
<b>Xicaltepec</b>	3,300	762	749	98.29	640	83.99	591	77.56
<b>De Jesús Ira. Sección</b>	2,052	500	496	99.20	492	98.40	461	92.20
<b>De Jesús 2da. Sección</b>	397	129	127	98.45	128	99.22	128	99.22
<b>San Blas Totoltepec</b>	241	58	53	91.38	51	87.93	47	81.03
<b>Barrio la Cruz</b>	779	184	183	99.46	182	98.91	181	98.37
<b>Barrio la Venta</b>	789	198	197	99.49	196	98.99	195	98.48
<b>Ejido de Nova (Barrio del Museo)</b>	260	69	68	98.55	37	53.62	65	94.20
<b>Barrio la Joya</b>	437	115	115	100.00	99	86.09	107	93.04

*continuación*

Colonia del Durazno	246	68	66	97.06	64	94.12	66	97.06
Colonia Dos Ríos	576	141	141	100.00	141	100.00	141	100.00
La Planada (El Arenal)	1,558	418	416	99.52	407	97.37	414	99.04
San José Buenavista	1,074	232	231	99.57	228	98.28	202	87.07
San José la Costa	1,021	238	236	99.16	236	99.16	226	94.96
Ejido de la Y Sección Siete A Revolución	7,016	1,504	1,488	98.94	1,480	98.40	1,349	89.69
Ejido de Oxtotitlán (Nova)	112	29	27	93.10	4	13.79	22	75.86
Rancho la Esperanza	14	*	*	*	*	*	*	*
Rancho San Bartolo	30	7	7	100.00	7	100.00	5	71.43
San Judas Tadeo	1,925	504	502	99.60	491	97.42	501	99.40
Guadalupe	1,022	248	245	98.79	124	50.00	230	92.74
La Cañada	323	91	90	98.90	91	100.00	90	98.90
Joya de Cacalomacán	804	168	163	97.02	144	85.71	168	100.00
Barrio el Mirador	291	69	69	100.00	64	92.75	65	94.20
Colonia las Palmas	467	121	121	100.00	119	98.35	118	97.52
Galaxias Toluca	3,090	928	928	100.00	928	100.00	928	100.00
Rancho San Alberto	3	*	*	*	*	*	*	*
Ejido del Cerro del Murciélago	104	29	29	100.00	29	100.00	29	100.00
Pueblo Nuevo (Serratón)	614	159	159	100.00	158	99.37	159	100.00
San Blas Oztzacatipan	827	201	201	100.00	200	99.50	201	100.00
Fraccionamiento Real de San Pablo	4,090	1,212	1,210	99.83	1,211	99.92	1,212	100.00
Fraccionamiento San Diego	3,746	1,119	1,119	100.00	1,119	100.00	1,119	100.00
Colonia Acuxtilla	267	63	62	98.41	60	95.24	63	100.00
Colonia la Joya	1,181	286	284	99.30	274	95.80	284	99.30
Colonia Shingade	348	150	150	100.00	150	100.00	150	100.00
Rancho Shuli (El Socavón)	298	69	69	100.00	69	100.00	69	100.00
Las Jaras San Nicolás	183	43	40	93.02	41	95.35	37	86.05
Las Bugambilias [Conjunto Habitacional]	761	246	246	100.00	246	100.00	245	99.59
Paseos San Martín [Conjunto Urbano]	4,257	1,335	1,334	99.93	1,335	100.00	1,335	100.00
Villa Toscana [Conjunto Urbano]	1,600	515	515	100.00	515	100.00	515	100.00
Las Misiones [Conjunto Urbano]	5,229	1,847	1,846	99.95	1,846	99.95	1,845	99.89
Barrio la Soledad	317	72	72	100.00	60	83.33	71	98.61
El Calvario	130	28	28	100.00	26	92.86	28	100.00
Crespa Floresta	32,307	9,271	9,254	99.82	9,196	99.19	9,207	99.31
La Magdalena Oztzacatipan	2,568	624	618	99.04	618	99.04	617	98.88
Sauces	27,628	8,828	8,822	99.93	8,823	99.94	8,822	99.93
Francisco Villa	1,220	277	272	98.19	261	94.22	259	93.50
Barrio San Mateo	37	9	6	66.67	6	66.67	8	88.89
Toluca 2000 [Parque Industrial]	7	*	*	*	*	*	*	*

*continuación*

<b>Localidades de una vivienda</b>	<b>3</b>	<b>*</b>	<b>*</b>	<b>*</b>	<b>*</b>	<b>*</b>	<b>*</b>	<b>*</b>
<b>Localidades de dos viviendas</b>	<b>25</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>83.33</b>	<b>5</b>	<b>83.33</b>	<b>5</b>	<b>83.33</b>
<b>Total</b>	<b>910,636</b>	<b>239,733</b>	<b>238,520</b>	<b>99.49</b>	<b>234,754</b>	<b>97.92</b>	<b>236,301</b>	<b>98.57</b>

## Anexo 6. Índice y grado de marginación por localidades en el año 2010 y 2020, municipio de Toluca.

Localidad	Grado de Marginación, 2010	Índice de Marginación, 2010 (escala de 0 a 100)	Grado de Marginación, 2020	Índice de Marginación, 2020 (escala de 0 a 100)
<b>Toluca de Lerdo</b>	Muy bajo	12	Muy bajo	9
<b>Cacalomacán</b>	Bajo	19	Muy bajo	16
<b>Calixtlahuaca</b>	Bajo	24	Muy bajo	18
<b>Capultitlán</b>	*	*	Muy bajo	11
<b>Colonia Arroyo Vista Hermosa</b>	Medio	36	Bajo	30
<b>El Cerrillo Vista Hermosa</b>	Medio	29	Muy bajo	27
<b>La Constitución Tultepec</b>	Alto	41	Bajo	33
<b>Guadalupe Totoltepec</b>	Medio	40	Bajo	40
<b>Jicaltepec Cuexcontitlán</b>	Alto	60	Bajo	41
<b>Pamillas</b>	Bajo	23	Muy bajo	17
<b>San Andrés Cuexcontitlán</b>	Alto	51	Bajo	37
<b>San Antonio Buenavista</b>	Bajo	16	Muy bajo	16
<b>San Buenaventura</b>	*	*	Muy bajo	15
<b>San Cayetano Morelos</b>	Medio	37	Muy bajo	22
<b>San Cristóbal Huichochitlán</b>	*	*	Bajo	36
<b>San Diego de los Padres Cuexcontitlán</b>	Alto	55	Bajo	35
<b>San Diego Linares</b>	Alto	55	Bajo	38
<b>San Felipe Tlalmimilolpan</b>	Muy bajo	11	Muy bajo	12
<b>San Francisco Totoltepec</b>	Medio	33	Muy bajo	22
<b>San José Guadalupe Oztacatipan</b>	Muy bajo	7	Bajo	32
<b>San Juan Tilapa</b>	Medio	31	Muy bajo	27
<b>San Lorenzo Tepaltitlán</b>	*	*	Muy bajo	11
<b>Ejido San Marcos Yachihuacaltepec</b>	Medio	38	Muy bajo	23
<b>San Marcos Yachihuacaltepec</b>	Bajo	26	Muy bajo	20
<b>San Martín Tultepec</b>	Medio	33	Muy bajo	18
<b>San Mateo Oztacatipan</b>	Medio	38	Muy bajo	25
<b>San Mateo Oxtotitlán</b>	*	*	Muy bajo	10
<b>San Nicolás Tolentino</b>	Alto	43	Bajo	32

continuación

<b>San Pablo Autopan</b>	Alto	42	Bajo	31
<b>San Pedro Totoltepec</b>	Bajo	18	Muy bajo	17
<b>Santa Ana Tlapaltitlán</b>	*	*	Muy bajo	15
<b>Santa Cruz Atzacapotzaltongo</b>	*	*	Muy bajo	11
<b>Santa Cruz Oztacatipan</b>	Bajo	20	Muy bajo	27
<b>Santa María Totoltepec</b>	*	*	Muy bajo	11
<b>Santiago Miltepec</b>	*	*	Muy bajo	11
<b>Santiago Tlaxomulco</b>	*	*	Muy bajo	18
<b>Sebastián Lerdo de Tejada</b>	Alto	46	Muy bajo	23
<b>Tecaxic</b>	Medio	37	Muy bajo	24
<b>Santiago Tlacotepec</b>	Bajo	26	Muy bajo	24
<b>Tlachaloya Primera Sección</b>	Medio	40	Bajo	32
<b>Tlachaloya Segunda Sección</b>	Alto	56	Bajo	42
<b>Residencial Campestre (San Miguel Zacango)</b>	Muy bajo	7	Muy bajo	11
<b>Barrio del Cajón</b>	Alto	58		*
<b>La Palma Toltepec</b>	Medio	37	Muy bajo	23
<b>San Carlos Autopan</b>	Alto	56	Muy bajo	27
<b>San Miguel Totoltepec</b>	Medio	38	Muy bajo	27
<b>Colonia el Refugio</b>	Alto	44	Muy bajo	29
<b>El Cerrillo Piedras Blancas</b>	Alto	45	Bajo	31
<b>Colonia Guadalupe</b>	Alto	54	Bajo	43
<b>Colonia Aviación Autopan</b>	Bajo	23	Muy bajo	23
<b>Barrio de Balbuena</b>	Alto	67	Bajo	47
<b>El Dorado</b>	Muy bajo	0		*
<b>Jicaltepec Autopan</b>	Alto	59	Bajo	40
<b>Ojo de Agua Autopan</b>	Alto	43	Muy bajo	24
<b>Hacienda Santín (Rancho Santín)</b>	Bajo	22	Muy bajo	1
<b>Barrio de San Carlos</b>	Alto	70	Medio	58
<b>San Diego de los Padres Oztacatipan</b>	Medio	41	Bajo	34
<b>Rancho San Pablo (Ejido de Capultitlán)</b>	Medio	30	Muy bajo	26
<b>Ejido Santa Cruz Atzacapotzaltongo</b>	Bajo	18	Muy bajo	16
<b>Ejido de Santiago Tlaxomulco (Zimbrones)</b>	Alto	49	Muy bajo	21
<b>Ejido de Almoloya de Juárez</b>	Bajo	27	Muy bajo	25

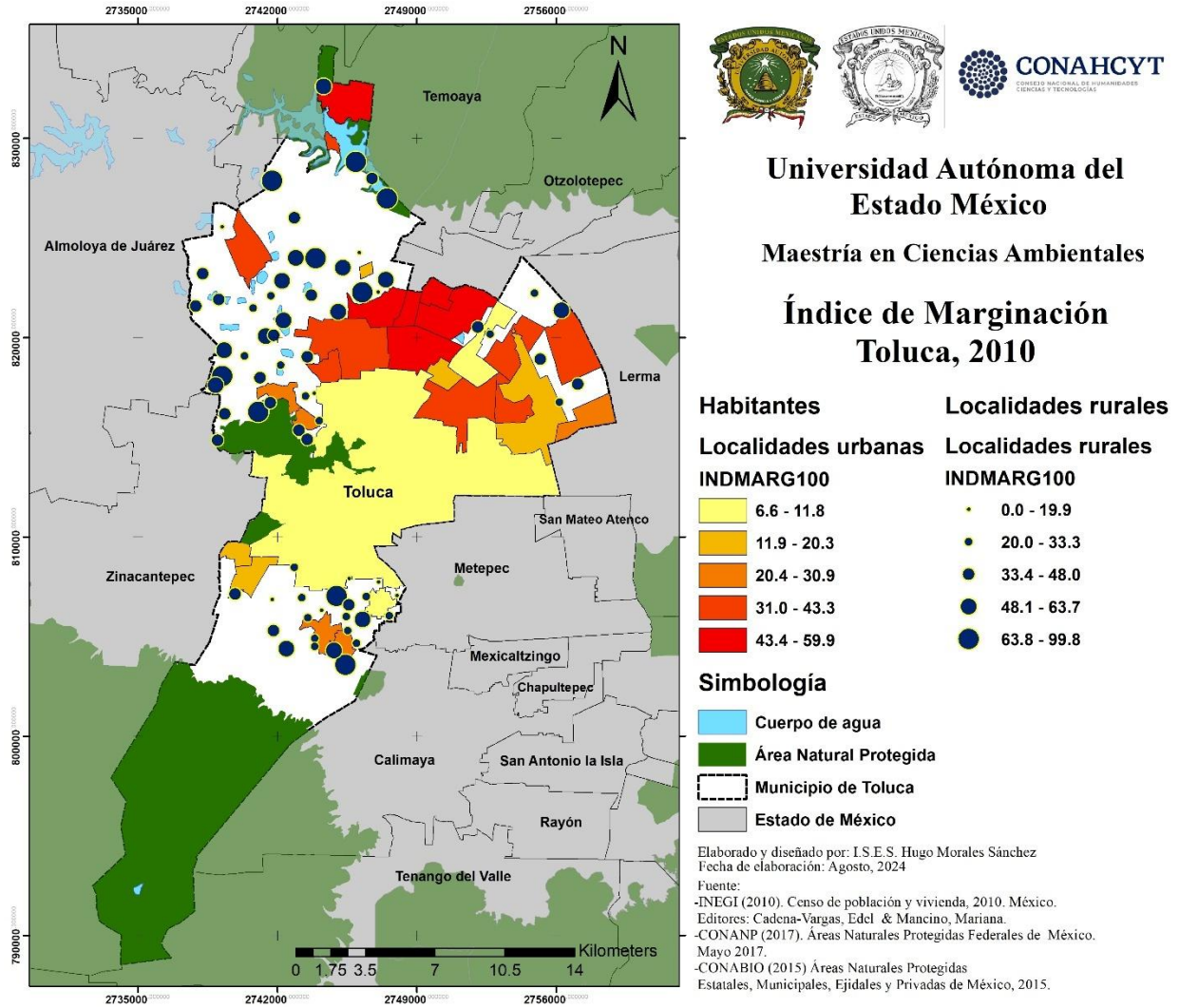
continuación

<b>San Isidro Ejido de Calixtlahuaca</b>	Alto	42	Muy bajo	13
<b>Ranchería San Isidro</b>	Alto	64	Bajo	46
<b>Barrio Bordo Nuevo</b>	Alto	43	Bajo	31
<b>La Loma Cuexcontitlán</b>	Alto	66	Bajo	40
<b>Xicaltepec Tepaltitlán (Ejido San Lorenzo)</b>	Alto	68	Bajo	46
<b>Ejido de Xicaltepec Otzacatipan</b>	Alto	64	*	*
<b>Barrio de Jesús Fracción Primera</b>	Alto	56	Bajo	33
<b>Barrio de Jesús Fracción Segunda</b>	Medio	37	Muy bajo	15
<b>Colonia San Blas Totoltepec</b>	Alto	56	Medio	51
<b>San Diego los Padres Cuexcontitlán Sección 5 B</b>	Alto	55	*	*
<b>Barrio de la Cruz</b>	Bajo	17	Muy bajo	14
<b>Barrio la Venta</b>	Bajo	20	Muy bajo	16
<b>Ejido de Nova (Barrio del Museo)</b>	Alto	41	Bajo	31
<b>Barrio la Joya</b>	Alto	54	Muy bajo	28
<b>Colonia del Durazno</b>	Bajo	25	Muy bajo	27
<b>La Macaria</b>	Medio	29	*	*
<b>Colonia Dos Ríos (Paraje el Cornejal)</b>	Bajo	18	Muy bajo	15
<b>La Planada (El Arenal)</b>	Bajo	27	Muy bajo	14
<b>Barrio Santa María</b>	Medio	29	*	*
<b>Rancho San José Terán</b>	Bajo	25	*	*
<b>Barrio de San José Buenavista el Chico</b>	Alto	78	Medio	56
<b>San José la Costa</b>	Alto	48	Bajo	38
<b>Ejido de la Y Sección Siete A Revolución</b>	*	*	Bajo	38
<b>Ejido de Oxtotitlán (Nova)</b>	Alto	84	Medio	74
<b>Rancho San Bartolo (Rancho Grande)</b>	Alto	100	Alto	77
<b>El Arenal</b>	Alto	73	Muy bajo	12
<b>Barrio Santa Cruz</b>	Alto	43	*	*
<b>Barrio de Santa María</b>	Alto	51	*	*
<b>Santiago Tlaxomulco (Tumbaburros)</b>	Medio	39	*	*
<b>Colonia Guadalupe (La Loma)</b>	Alto	67	Bajo	48

continuación

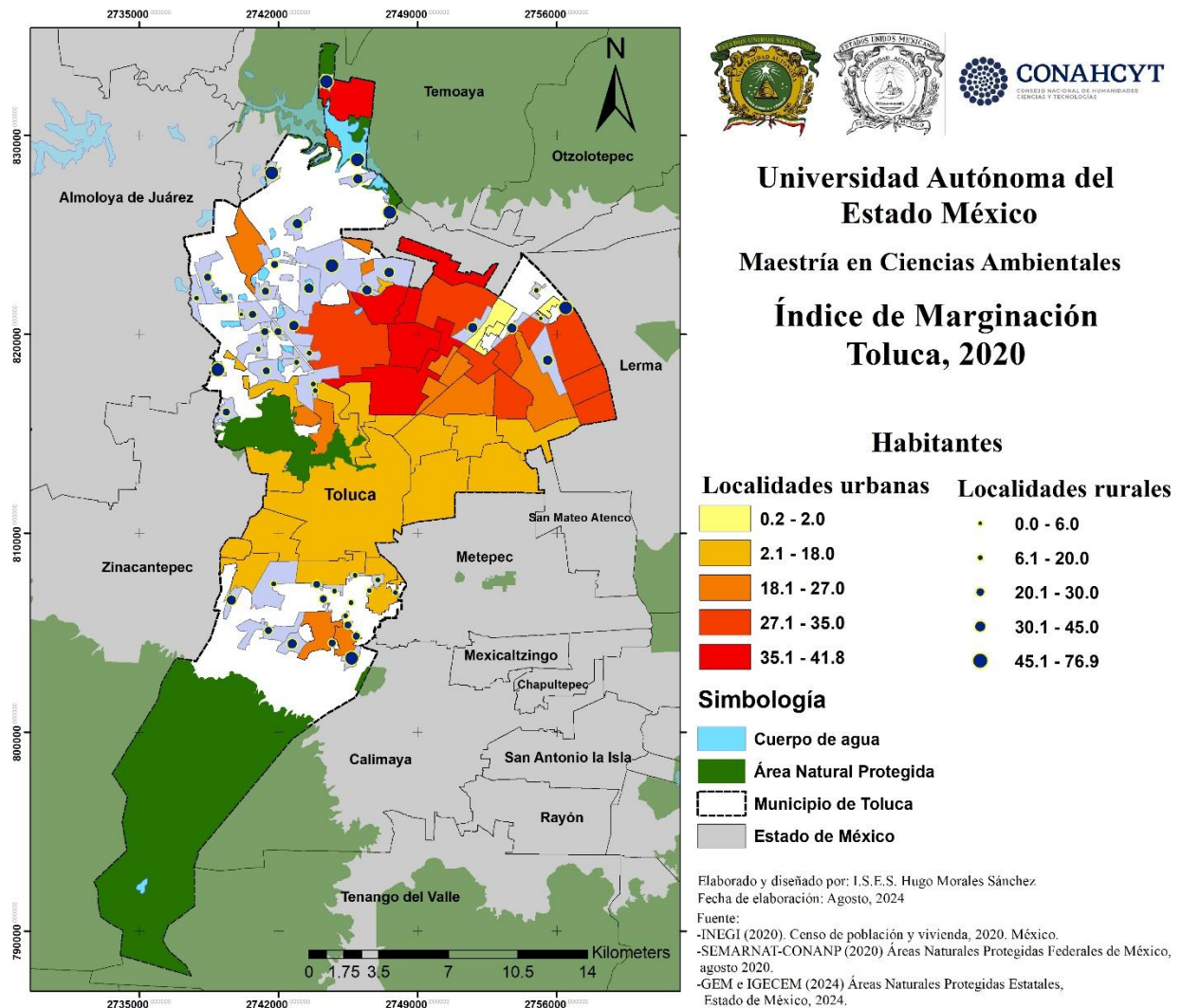
<b>Colonia la Cañada</b>	Bajo	23	Muy bajo	15
<b>Colonia el Mirador (Barrio del Canal)</b>	Medio	29		*
<b>Joya de Cacalomacán (Hacienda San Antonio Cano)</b>	Medio	40	Bajo	34
<b>Lomas de Vista Hermosa</b>	Muy bajo	12		*
<b>El Mirador</b>	Medio	33	Muy bajo	28
<b>Colonia las Palmas</b>	Alto	41	Muy bajo	14
<b>Santa Juanita de Santiago Tlacotepec</b>	Bajo	27		*
<b>Galaxias Toluca</b>	Bajo	16	Muy bajo	23
<b>Ejido del Cerro del Murciélago</b>	Alto	62	Bajo	34
<b>Pueblo Nuevo</b>	Medio	36	Muy bajo	17
<b>San Blas Oztacatipan</b>	Bajo	24	Muy bajo	20
<b>Fraccionamiento Real de San Pablo</b>	Bajo	16	Muy bajo	25
<b>Fraccionamiento San Diego</b>	Muy bajo	12	Muy bajo	16
<b>Colonia Acuxtilla</b>	Alto	49	Muy bajo	29
<b>Colonia la Joya</b>	Medio	28	Muy bajo	23
<b>Colonia Loma Bonita</b>	Medio	33	Muy bajo	18
<b>Rancho Shuli (El Socavón)</b>	Alto	44	Muy bajo	24
<b>Ejido de Tlachaloya (Las Jaras San Nicolás)</b>	Alto	52	Bajo	47
<b>Las Bugambilias [Conjunto Habitacional]</b>	*	*	Muy bajo	6
<b>Paseos San Martín [Conjunto Urbano]</b>	*	*	Muy bajo	12
<b>Villa Toscana [Conjunto Urbano]</b>	*	*	Muy bajo	0
<b>Las Misiones [Conjunto Urbano]</b>	*	*	Muy bajo	0
<b>Barrio la Soledad</b>	*	*	Muy bajo	22
<b>El Calvario</b>	*	*	Muy bajo	22
<b>Crespa Floresta</b>	*	*	Muy bajo	10
<b>La Magdalena Oztacatipan</b>	*	*	Muy bajo	26
<b>Sauces</b>	*	*	Muy bajo	2
<b>Francisco Villa</b>	*	*	Bajo	31
<b>Barrio San Mateo</b>	*	*	Alto	100

## Anexo 7. Mapa de Índice de Marginación por localidades, Toluca 2010



Fuente: Elaboración propia con base en Cadena y Mancino (2010).

## Anexo 8. Mapa de Índice de Marginación por localidades, Toluca 2020.



Fuente: Elaboración propia con base en CONAPO (2021).

## Anexo 9. Índice de Municipal de Actividad Económica (IMAE) del municipio de Toluca, 2010-2020

Año	Población (habitantes)	Índice Municipal de Actividad Económica (IMAE) (Millones de pesos)	Per cápita (Mill.pesos/hab)	Valor Agregado Bruto a precios básicos (Millones de pesos)	Tasa de crecimiento [%]	Actividades económicas (Millones de pesos)							
						Agricultura	[%]	Industria	[%]	Servicios	[%]	Impuestos	[%]
2010	819,561	147,197	0.180	141,334		250	0.195	63,180	49.31	59,585	46.51	5,103	3.98
2011	828,240	154,449	0.186	148,274	4.9	212	0.151	71,175	50.55	63,774	45.30	5,629	4.00
2012	837,011	158,486	0.189	152,281	2.6	270	0.183	77,369	52.24	64,673	43.67	5,798	3.91
2013	845,875	159,765	0.189	153,537	0.8	197	0.131	78,635	52.26	65,771	43.71	5,866	3.90
2014	854,833	152,552	0.178	146,411	-4.5	193	0.141	69,843	50.83	61,849	45.01	5,532	4.03
2015	863,886	155,481	0.180	149,071	1.9	227	0.159	71,406	50.06	65,119	45.66	5,881	4.12
2016	873,034	156,721	0.180	149,968	0.8	280	0.193	70,427	48.62	67,906	46.88	6,242	4.31
2017	882,280	164,976	0.187	167,762	5.3	253	0.158	77,296	48.26	75,626	47.21	7,004	4.37
2018	891,623	170,129	0.191	162,608	3.1	229	0.135	83,073	48.83	79,305	46.61	7,522	4.42
2019	901,066	167,055	0.185	159,668	-1.8	209	0.127	77,537	47.23	79,147	48.22	7,259	4.42
2020	910,608	152,174	0.167	145,704	-8.9	257	0.188	62,398	45.63	68,271	49.93	5,813	4.25

## Anexo 10. Unidades económicas y producción bruta por tipo de actividad económica, 2009 – 2019.

Clave	Actividad económica	Unidades Económicas				Producción bruta total (millones de pesos)			
		2004	2009	2014	2019	2004	2009	2014	2019
21	Minería	16	4	9	9	32.13	0.00	1.13	57.36
22	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final	3	12	11	9	18,554.10	27,414.00	570.26	376.16
23	Construcción	101	179	148	168	846.64	2,613.49	1,991.92	2,454.93
31-33	Industrias manufactureras	2,297	3,083	3,513	4,351	58,721.68	126,113.52	186,637.99	330,144.93
43	Comercio al por mayor	861	1,113	1,521	1,813	2,863.99	4,611.33	5,952.44	14,226.21
46	Comercio al por menor	14,705	16,695	19,525	22,029	5,509.02	7,259.62	7,416.12	14,833.02
48-49	Transportes, correos y almacenamiento	178	148	154	185	3,471.51	5,018.96	17,037.55	9,358.08
51	Información en medios masivos	62	87	69	79	562.23	796.46	639.23	667.20
52	Servicios financieros y de seguros	39	93	125	159	100.14	341.52	300.15	1,757.23
53	Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	329	379	433	490	539.92	359.75	503.19	1,101.93
54	Servicios profesionales, científicos y técnicos	728	823	784	960	942.22	668.82	760.75	1,780.76
55	Corporativos	3	3	3	3	63.39		160.38	
56	Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación	443	825	1,093	995	722.98	1,409.18	2,394.92	4,992.36
61	Servicios educativos	269	397	468	587	952.77	1,152.82	1,729.09	2,296.30
62	Servicios de salud y de asistencia social	792	1,219	1,361	1,714	319.96	522.82	535.15	1,144.41
71	Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	295	299	438	446	91.00	170.77	537.09	742.26
72	Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	2,241	2,913	3,895	5,167	961.28	1,579.13	2,157.92	4,266.55
81	Otros servicios excepto actividades gubernamentales	4,017	4,725	5,893	6,865	787.79	1,437.94	3,259.75	2,710.93
	<b>TOTAL</b>	<b>27,379</b>	<b>32,997</b>	<b>39,443</b>	<b>46,029</b>	<b>96,042.73</b>	<b>181,470.11</b>	<b>232,585.01</b>	<b>392,910.61</b>

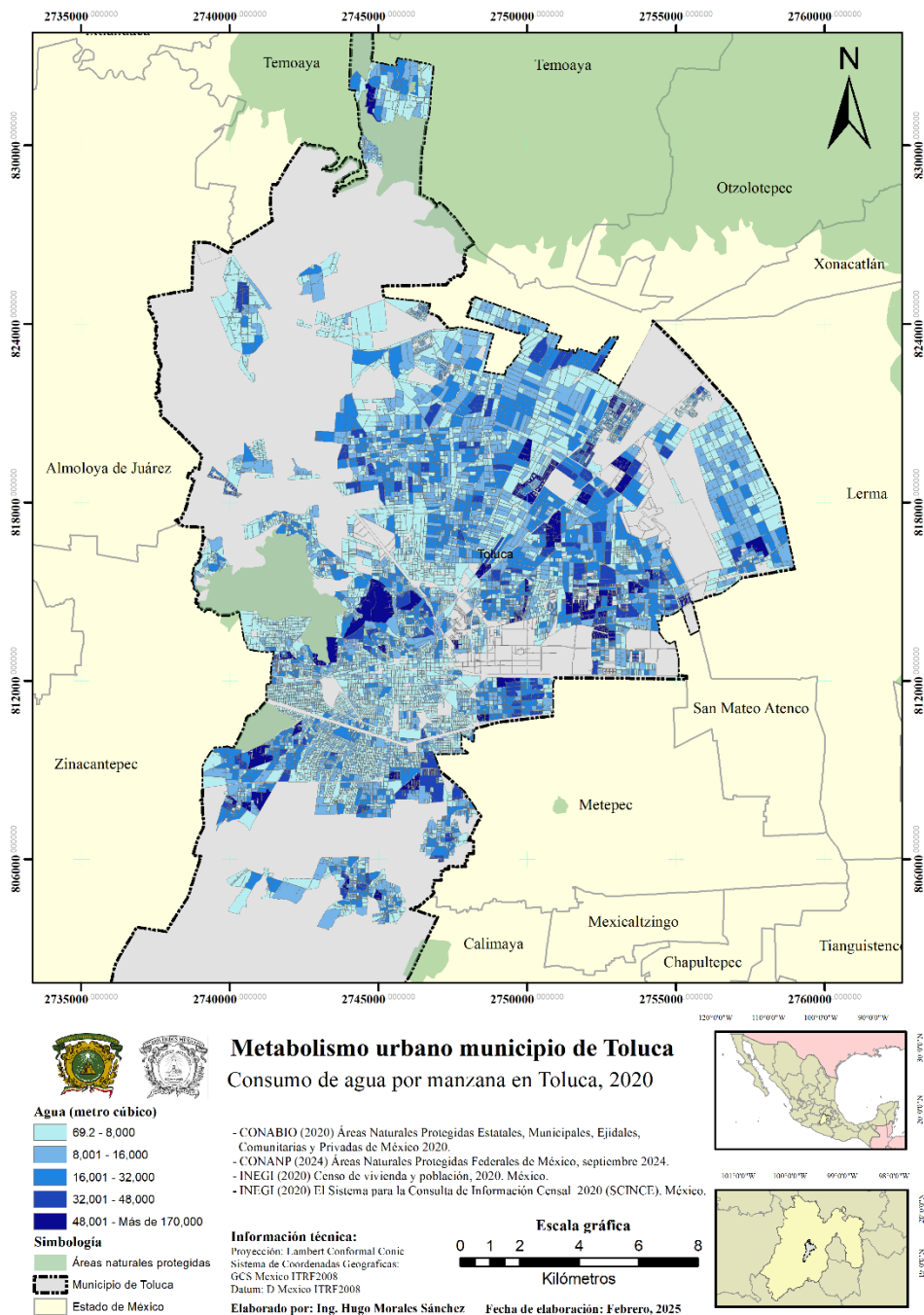
## Anexo 11. Comités independientes de agua en el municipio de Toluca, 2020.

Número	Localidad (ubicación)	Fuente de abastecimiento		Gasto requerido (l.p.s.)
		Tipo	Cantidad	
1	Cacalomacán	Pozo propio y manantial externo	1 y 1	26.88
2	Calixtlahuaca	Pozo	2	23.41
3	San Andrés Cuexcontitlán Sección 1 Centro	Pozo	1	5.93
4	San Andrés Cuexcontitlán Sección 2 La Concepción	Pozo	1	4.77
5	San Andrés Cuexcontitlán Jicaltepec Cuexcontitlán Sección 6	Pozo	1	8.26
6	San Antonio Buenavista	Pozo	2	11.56
7	San Buenaventura (Barrio Guadalupe)	Pozo	3	9.23
8	San Felipe Tlalmimilolpan	Pozo	2	24.32
9	San Juan Tilapa	Manantial	1	18.75
10	San Lorenzo Tepaltitlán	Pozo	3	26.21
11	San Marcos Yachihuacaltepec	Pozo	1	11.24
12	Ejidos San Marcos Yachihuacaltepec	Pozo	1	1.51
13	Colonia Sebastián Lerdo de Tejada	Pozo	1	3.18
14	San Mateo Oxtotitlán	Pozo	2	42.18
15	Santa Cruz Otzacatipan	Pozo externo	1	6.07
16	San Pablo Autopan	Pozo	2	89.72
17	Barrio de Jesús Autopan	Pozo	1	10.15
18	Aviación Autopan	Pozo	1	2.74
19	Ojo de Agua Autopan	Manantial	1	1.72

continuación

<b>20</b>	<b>Santa Ana Tlapaltitlán (Santa María Zozoquiapan)</b>	Pozo	3	19.64
<b>21</b>	Santa María Totoltepec	Pozo	1	41.17
<b>22</b>	Santiago Tlacotepec	Manantial	Varios	35.29
<b>23</b>	El Refugio (Tlacotepec)	Manantial externo	1	4.79
<b>24</b>	Tecaxic	Pozo	1	7.16
<b>25</b>	San José Buenavista El Chico Tlachaloya	Pozo	1	1.61
<b>26</b>	San Carlos Tlachaloya	Pozo	1	1.27
<b>27</b>	Tlachaloya Segunda Sección	Alto Lerma	Alto Lerma	12.78
<b>28</b>	Colonia Julián Escalante Tlachaloya Segunda Sección	Alto Lerma	Alto Lerma	S/D
<b>29</b>	Fraccionamiento El Rosario, San Felipe Tlalmimilolpan	Pozo	1	S/D
<b>30</b>	Fraccionamiento Misiones de Santa Esperanza, Santa María Totoltepec	Pozo	1	S/D
<b>31</b>	El Campanario San Felipe Tlalmimilolpan	S/D	S/D	S/D
<b>32</b>	Fraccionamiento El Pedregal, Cacalomacán	Pozo	1	S/D

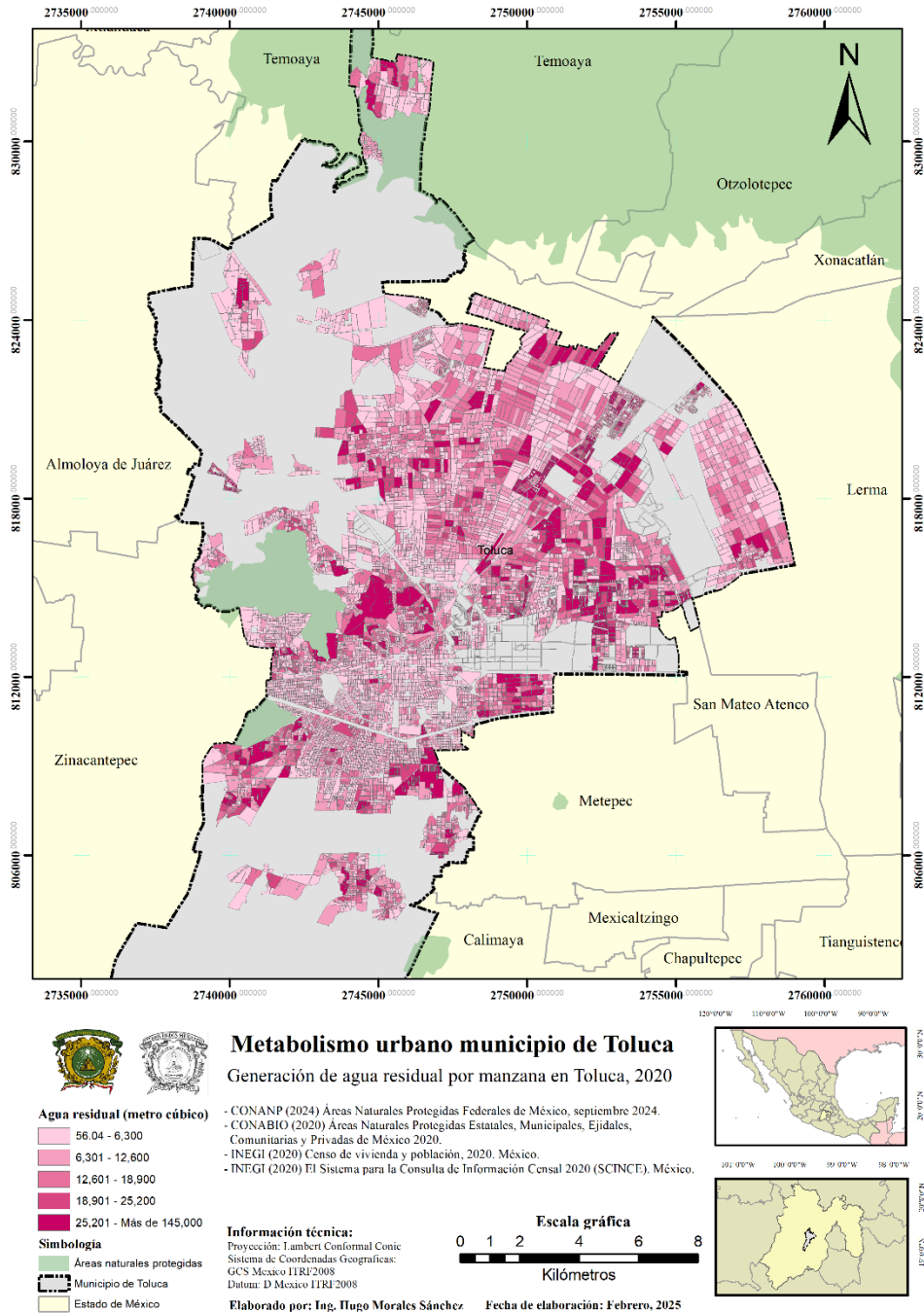
## Anexo 12. Mapa de consumo de agua por manzana. Municipio de Toluca, 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Para hacer el cálculo se consideró el dato per cápita de 69.19 m<sup>3</sup> al año, estimado por esta investigación. No se consideraron parques industriales para la elaboración de este mapa.

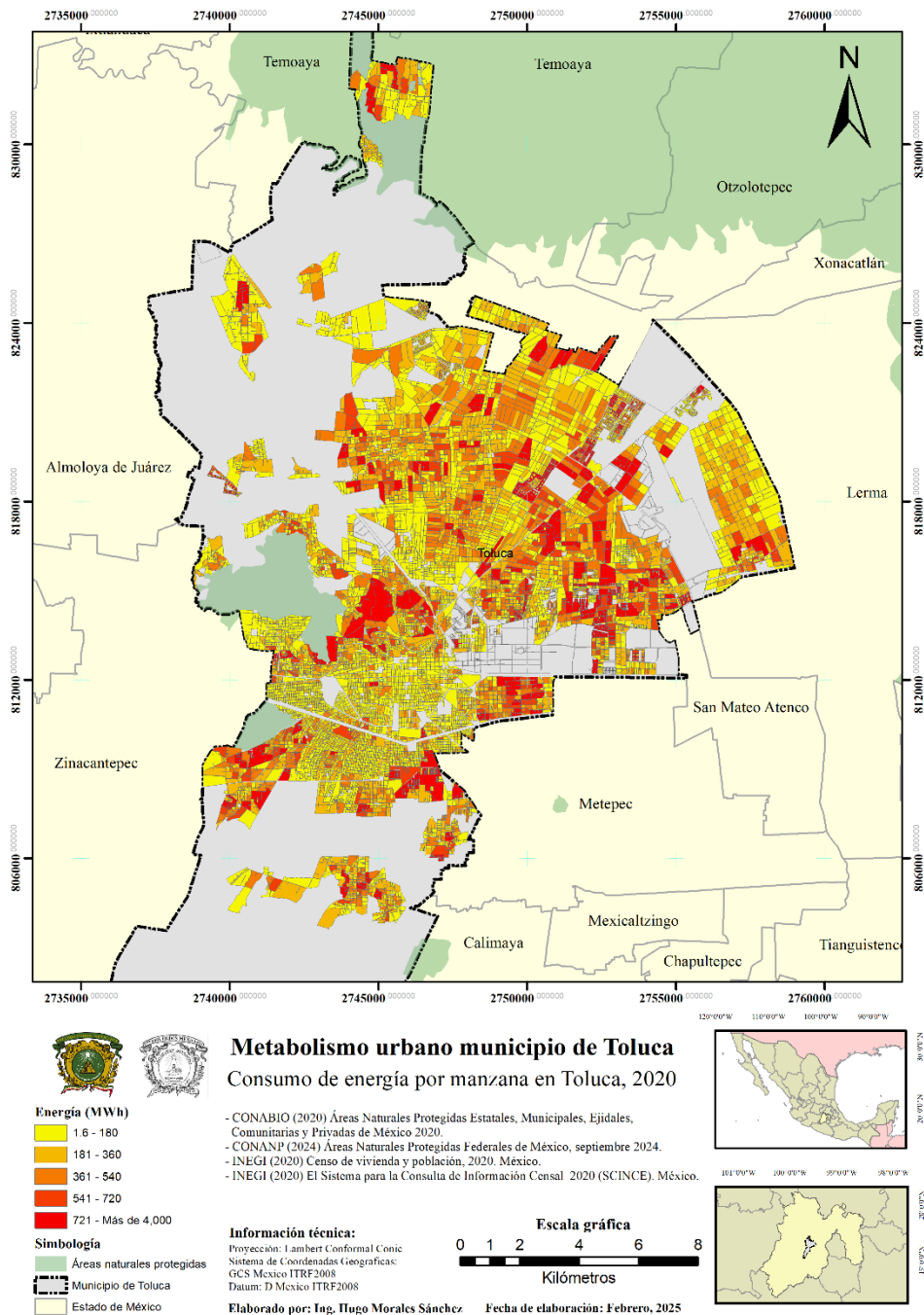
### Anexo 13. Mapa de generación de agua residual por manzana. Municipio de Toluca, 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Para hacer el cálculo se consideró el dato per cápita de 56.04 m<sup>3</sup> al año estimado por esta investigación. No se consideraron parques industriales para la elaboración de este mapa.

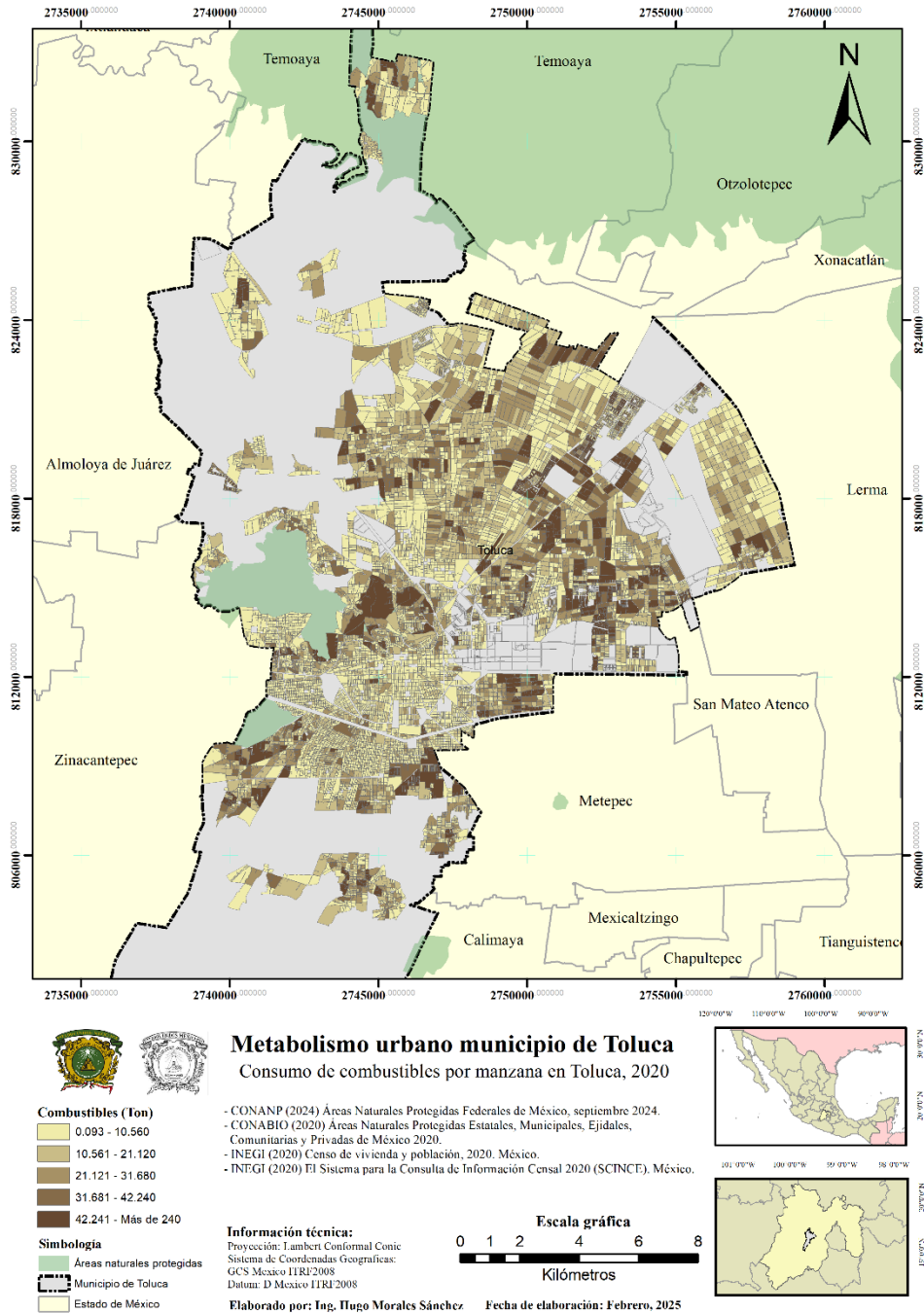
## Anexo 14. Mapa de consumo de energía por manzana. Municipio de Toluca, 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Para hacer el cálculo se consideró el dato per cápita de 1.57 MWh al año, estimado por esta investigación. No se consideraron parques industriales para la elaboración de este mapa.

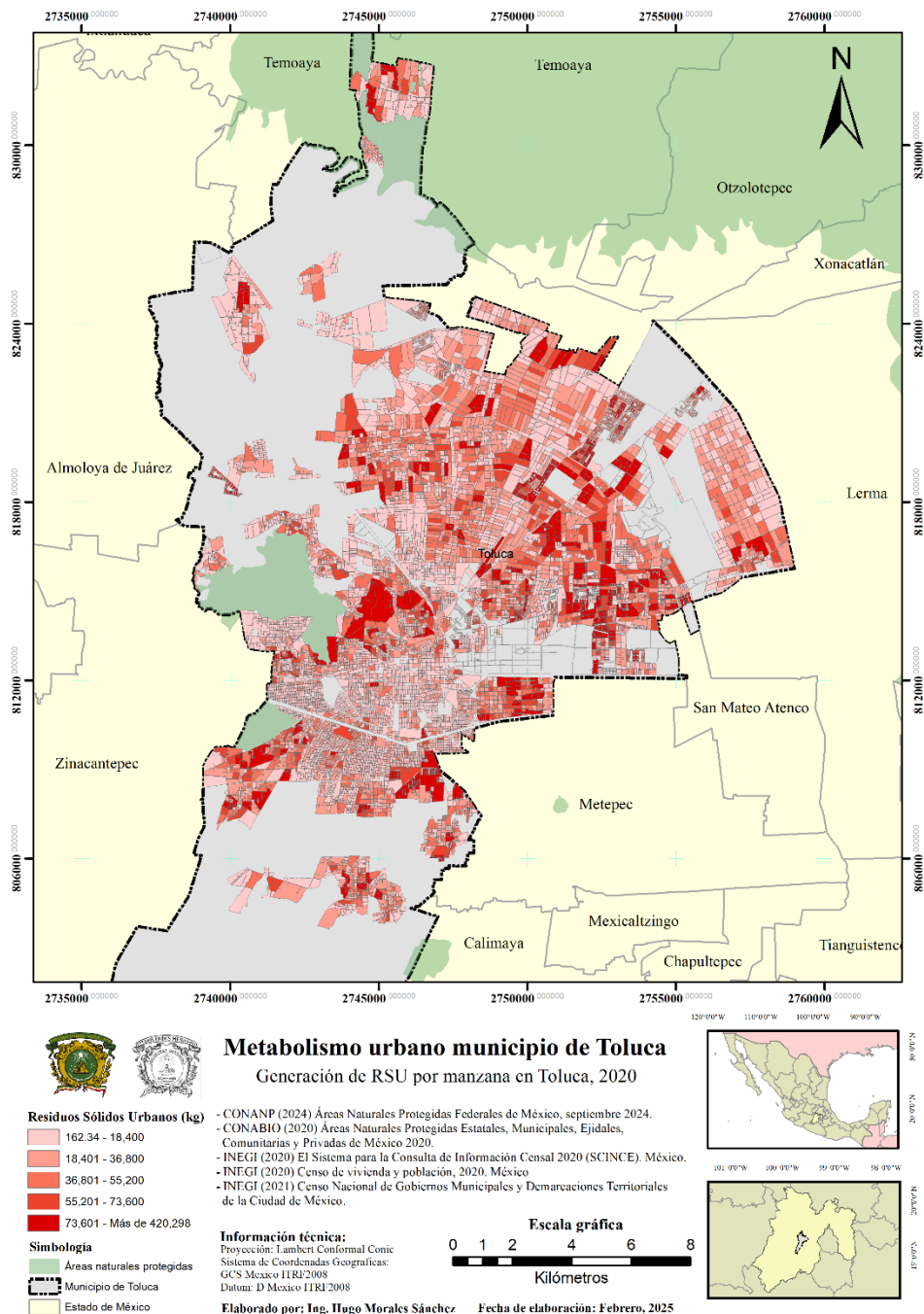
## Anexo 15. Mapa de consumo de combustibles por manzana. Municipio de Toluca, 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Para hacer el cálculo se consideró el dato per cápita de 0.0933 Toneladas al año, estimado por esta investigación. No se consideraron parques industriales para la elaboración de este mapa.

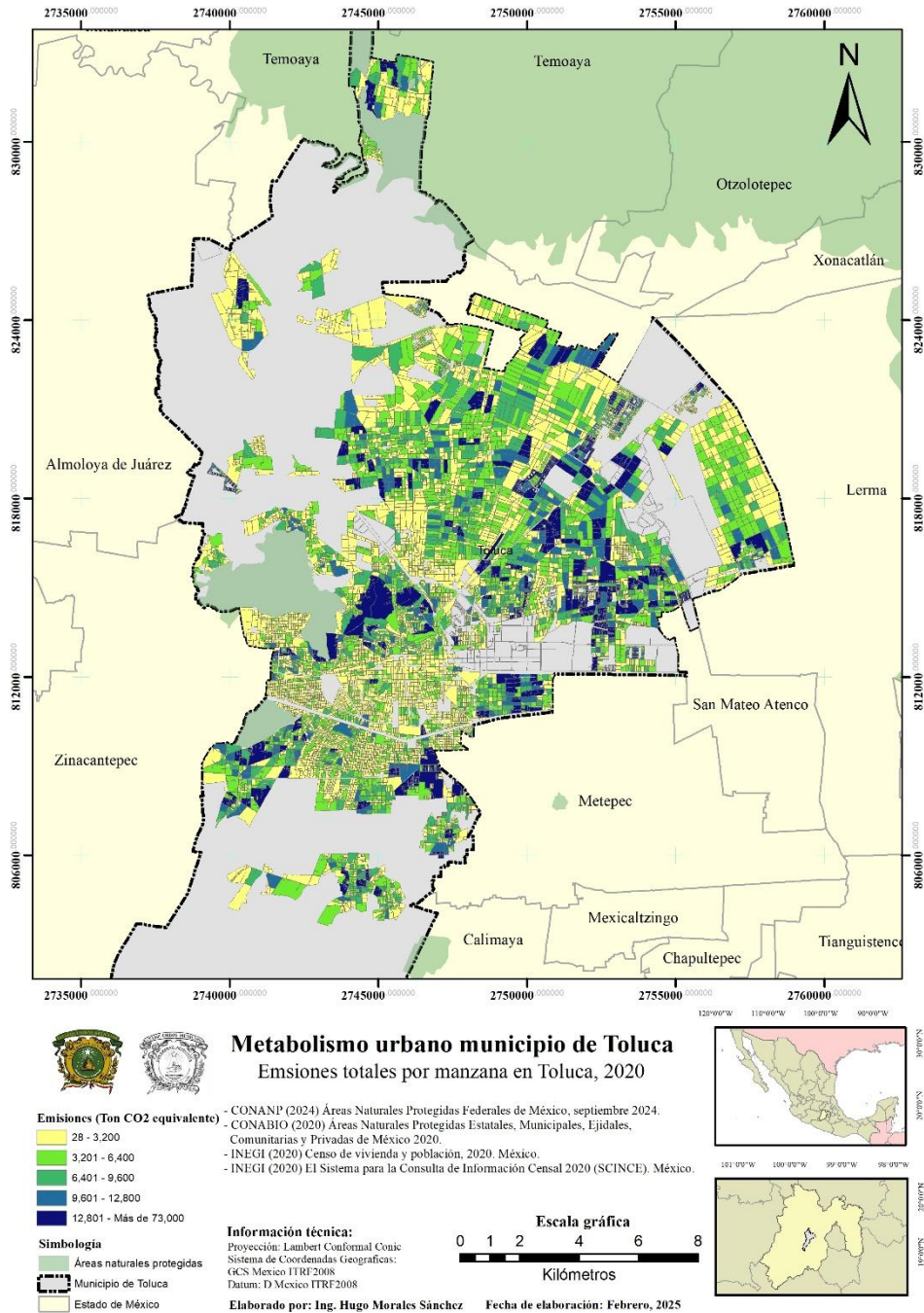
## Anexo 16. Mapa de generación de residuos sólidos por manzana. Municipio de Toluca, 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Para hacer el cálculo se consideró el dato per cápita de 162.34 kg al año, estimado por esta investigación. No se consideraron parques industriales para la elaboración de este mapa.

## Anexo 17. Mapa de emisiones de CO<sub>2</sub>eq por manzana. Municipio de Toluca, 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Para hacer el cálculo se consideró el dato per cápita de emisiones directas e indirectas de 27.23 y 0.996 TonCO<sub>2</sub>eq al año, respectivamente. Se sumaron ambos cálculos dando como resultado Emisiones totales.