Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Química

Doctorado en Ciencias Ambientales

Tesis doctoral

Expansión urbana y Sostenibilidad en la Megalópolis del Centro de México. Caso de estudio Zonas Metropolitanas de Toluca y Puebla-Tlaxcala.

Alumno: Israel Vazquez Moran

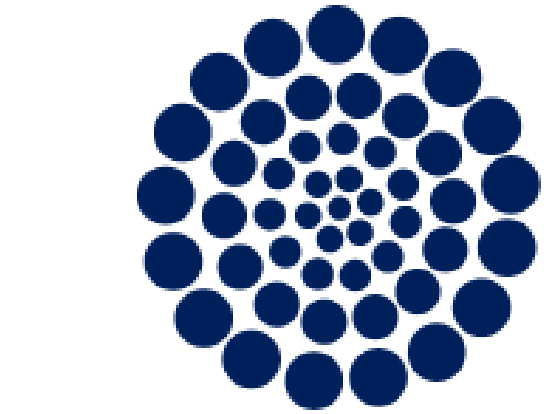
Directores:

Dr. Salvador Adame Martínez

Dra. Elda Margarita Hernández Rejón

Dr. Juan Roberto Calderón Maya

Toluca, Estado de México, mayo de 2024



CONAHCYT

El Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales cuya sede es la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México, corresponde al Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, de esta manera la investigación se realizó con apoyo de la beca escolar recibida.

Índice

Resumen **1**

Abstrac **3**

Introducción **5**

Planteamiento del problema **7**

Justificación **12**

Objetivos e hipótesis **15**

Capítulo I. Marco teórico conceptual **20**

1.1. Teorías del análisis de la expansión urbana 20

1.1.1. Teoría del Lugar Central 22

1.1.2. Teoría de Interacción Espacial 25

1.2. Principios de la organización urbana actual 30

1.2.1. Claves del proceso de urbanización actual – expansión urbana 33

1.2.2. Estructuras territoriales derivadas del proceso de expansión urbana 35

1.2.3. Crecimiento y expansión urbana 39

1.3. Sostenibilidad urbana y su perspectiva multidimensional 42

1.3.1. Antecedentes del desarrollo sostenible 44

1.3.2. Indicadores para medir la sostenibilidad 48

1.3.3. Métodos para la medición multidimensional de la sostenibilidad 50

1.3.4. Análisis Exploratorio de Dados Espaciales (AEDE), para el análisis de la sostenibilidad urbana e interacción espacial 52

1.4. Métricas y simulación de crecimiento urbano 55

1.4.1. Autómatas celulares y modelación basada en agentes 58

1.4.2. Modelo S.L.E.U.T.H. 62

Capítulo II. Marco de referencia 67

2.1. Estudios de crecimiento, expansión urbana y simulación de escenarios futuros 67

2.2. Estudios sobre sostenibilidad urbana y deterioro ambiental 96

Capítulo III. Instrumentos Jurídico-Normativos en materia de desarrollo y sostenibilidad 119

3.1. Acuerdos y Agendas Globales 120

3.2. Contexto histórico de instrumentos normativos durante el siglo XX, orientadas en el Desarrollo Urbano 124

3.3. Ámbito Federal de Instrumentos Jurídico-Normativo 127

3.4. Ámbito Estatal de Instrumentos Jurídico-Normativo (Estado de México, Puebla y Tlaxcala) 132

Capítulo IV. Metodología 140

4.1. Índice de Sostenibilidad Urbana 141

4.1.1. Selección de indicadores y fuentes de información 142

4.1.2. Elaboración de Índice de Sostenibilidad Urbana en Zonas Metropolitanas 145

4.2. Subcentros de empleo 148

4.3. Simulación de crecimiento urbano-modelos mediante autómatas celulares y análisis multicriterio 152

4.3.1. Preparación del modelo 153

4.3.2. Selección de factores de crecimiento 156

4.3.3. Simulación de la expansión urbana 2020-2035 158

Capítulo V. Resultados y Discusión 160

5.1. Análisis de la Sostenibilidad 160

5.1.1. Sostenibilidad Urbana en la Zona Metropolitana de Toluca 160

5.1.2. Sostenibilidad Urbana en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 166

5.2. Subcentros de empleo 172

5.2.1. Subcentros de empleo en 2010 de la Zona Metropolitana de Toluca 172

5.2.2. Subcentros de empleo en 2020 de la Zona Metropolitana de Toluca 179

5.2.3. Subcentros de empleo en 2010 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 186

5.2.4. Subcentros de empleo en 2020 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 194

5.3. Simulación de la expansión urbana en la Zona Metropolitana de Toluca y Puebla-Tlaxcala 202

5.3.1. Simulación de la expansión urbana en la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035 – Subcentros de empleo (Modelo 1) 202

5.3.2. Simulación de la expansión urbana en la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035 (Sin subcentros de empleo o Modelo 2) 211

5.3.3. Simulación de la expansión urbana en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 2020-2035 – Subcentros de empleo (Modelo 1) 221

5.3.4. Simulación de la expansión urbana en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 2020-2035 (Sin subcentros de empleo o Modelo 2) 233

Conclusiones 246

a. Con relación a las dimensiones de análisis de la investigación 247

a. 1. Respecto al proceso de Expansión urbana y Sostenibilidad en la Megalópolis del Centro de México 247

a. 2. Respecto a estudios previos para medir la expansión urbana (creación de escenarios futuros) y su sostenibilidad 249

a. 3. Con relación a los resultados de la investigación 252

b. Líneas de investigación recomendadas 261

Bibliografía 264

Índice de Tablas

Tabla 1. Población, tasa de crecimiento y densidad de población, 1990-2020 9

Tabla 2. Análisis de cambios de las coberturas y usos del suelo presentes en la Zona Metropolitana de Toluca 10

Tabla 3. Análisis de cambios de las coberturas y usos del suelo presentes en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 11

Tabla 4. Métodos para la construcción de un índice resumen para la medición de la sostenibilidad urbana 51

Tabla 5. Relación con tipos de escenarios y componente espacial de algunos modelos de simulación más empleados en la simulación territorial y urbana, incluyendo algunos ejemplos relevantes 58

Tabla 6. Estudios de crecimiento y expansión urbana 85

Tabla 7. Herramientas especializadas sugeridas para la construcción de modelos de simulación 95

Tabla 8. Estudios de base y análisis de la sostenibilidad 108

Tabla 9. Instrumentos Jurídico-Normativos de orden Federal 128

Tabla 10. Instrumentos Jurídico-Normativos del Estado de México 132

Tabla 11. Instrumentos Jurídico-Normativos del Estado de Puebla 135

Tabla 12. Instrumentos Jurídico-Normativos del Estado de Puebla 137

Tabla 13. Dimensión I Sostenibilidad Ambiental y Cambio Climático 142

Tabla 14. Dimensión II Sostenibilidad Urbana 144

Tabla 15. Dimensión III Sostenibilidad Fiscal y Gobernabilidad 145

Tabla 16. Distribución espacial del grado de sostenibilidad urbana por municipio en la Zona Metropolitana de Toluca en 2020 163

Tabla 17. Distribución espacial de los niveles de sostenibilidad en la Zona Metropolitana de Toluca en 2020 166

Tabla 18. Distribución espacial de los niveles de sostenibilidad en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala en 2020 168

Tabla 19. Distribución espacial de los niveles de sostenibilidad multidimensional en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala en 2020 171

Tabla 20. Características de los subcentros de empleo de la Zona Metropolitana de Toluca, 2010 172

Tabla 21. Movilidad laboral de los municipios que conforman la Zona Metropolitana de Toluca, 2010 176

Tabla 22. Características de los subcentros de empleo de la Zona Metropolitana de Toluca, 2020 179

Tabla 23. Movilidad laboral de los municipios que conforman la Zona Metropolitana de Toluca, 2020 183

Tabla 24. Características de subcentros de empleo en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala, 2010 186

Tabla 25. Movilidad laboral de los subcentros de empleo de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala, 2010 191

Tabla 26. Características de subcentros de empleo en la Zona Metropolitana de Puebla Tlaxcala, 2020 194

Tabla 27. Movilidad laboral de los subcentros de empleo de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala, 2020 198

Tabla 28. Crecimiento de la superficie construida en la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035 (Modelo 1) 210

Tabla 29. Crecimiento de la superficie construida en la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035 (Modelo 2) 219

Tabla 30. Crecimiento de la superficie construida en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 2020-2035 (Modelo 1) 230

Tabla 31. Crecimiento de la superficie construida en la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035 (Modelo 2) 242

Índice de Figuras

Figura 1. Estructura capitular de la investigación 18

Figura 2. Conformación de áreas de mercado hexagonales, según la lógica de la Teoría del Lugar Central 24

Figura 3. Teoría de Interacción Espacial (TIE) 30

Figura 4. Principales patrones del crecimiento disperso conforme a Harvey y Clark, 1971 33

Figura 5. Esquemas de estructura territorial en regiones 38

Figura 6. Modelo de expansión urbana o ciudad difusa 41

Figura 7. Evolución del concepto de desarrollo sostenible 44

Figura 8. Autocorrelación espacial 54

Figura 9. Tipos de vecindades de autómatas celulares 61

Figura 10. Información en arreglo matricial que requiere el modelo SLEUTH 65

Figura 11. Jerarquía de Instrumentos Jurídico-Normativos en materia de Desarrollo y Sostenibilidad 119

Figura 12. Dimensiones de análisis de la expansión urbana y sostenibilidad 140

Figura 13. Usos de suelo codificado en 2020 de la Zona Metropolitana de Toluca 155

Figura 14. Usos de suelo codificado en 2020 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 155

Figura 15. Distancia euclidiana de los factores utilizados para la construcción del Modelo 1 y 2 de la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035 156

Figura 16. Distancia euclidiana de los factores utilizados para la construcción del Modelo 1 y 2 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 2020-2035 157

Figura 17. Niveles de sostenibilidad urbana en la Zona Metropolitana de Toluca en 2020 162

Figura 18. Diagrama de dispersión. Índice de Autocorrelación Global de Moran para la Zona Metropolitana de Toluca 163

Figura 19. Análisis de Clúster y de valores atípicos (Índice de Autocorrelación Espacial Local de Morán) para la Zona Metropolitana de Toluca 165

Figura 20. Niveles de Sostenibilidad Urbana Multidimensional en la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala en 2020 167

Figura 21. Diagrama de dispersión. Índice de Autocorrelación Global de Moran para la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 169

Figura 22. Análisis de Clúster y de valores atípicos (Índice de Autocorrelación Espacial Local de Morán) para la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 170

Figura 23. Localización de los subcentros de empleo de la Zona Metropolitan de Toluca, 2010 175

Figura 24. Desplazamientos por motivos de trabajo de los municipios con subcentros de empleo en la Zona Metropolitana de Toluca, 2010 178

Figura 25. Localización de los subcentros de empleo de la Zona Metropolitan de Toluca, 2020 182

Figura 26. Desplazamientos por motivos de trabajo de los municipios con subcentros de empleo en la Zona Metropolitana de Toluca, 2020 185

Figura 27. Localización de los subcentros de empleo en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala, 2010..... 190

Figura 28. Desplazamientos por motivos de trabajo de los municipios con subcentros de empleo en la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala, 2010 193

Figura 29. Localización de los subcentros de empleo en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala, 2020..... 197

Figura 30. Desplazamientos por motivos de trabajo de los municipios con subcentros de empleo en la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala, 2020 201

Figura 31. Simulación de crecimiento urbano 2020-2035 (Modelo 1)..... 203

Figura 32. Nuevas áreas urbanas de la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035 (Modelo 1). 204

Figura 33. Expansión urbana en 2020 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 1)..... 205

Figura 34. Expansión urbana en 2025 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 1)..... 206

Figura 35. Expansión urbana en 2030 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 1)..... 207

Figura 36. Expansión urbana en 2035 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 1) 208

Figura 37. Simulación de crecimiento urbano 2020-2035 (Modelo 2)..... 212

Figura 38. Nuevas áreas urbanas de la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035 (Modelo 2). 213

Figura 39. Expansión urbana en 2020 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 2) 215

Figura 40. Expansión urbana en 2025 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 2) 216

Figura 41. Expansión urbana en 2030 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 2) 217

Figura 42. Expansión urbana en 2035 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 2) 218

Figura 43. Simulación de crecimiento urbano 2020-2035 (Modelo 1)..... 222

Figura 44. Nuevas áreas urbanas de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 2020-2035 (Modelo 1) 224

Figura 45. Expansión urbana en 2020 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 1) 226

Figura 46. Expansión urbana en 2025 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 1) 227

Figura 47. Expansión urbana en 2030 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 1) 228

Figura 48. Expansión urbana en 2035 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 1) 229

Figura 49. Simulación de crecimiento urbano 2020-2035 (Modelo 2)..... 234

Figura 50. Nuevas áreas urbanas de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 2020-2035 (Modelo 2) 236

Figura 51. Expansión urbana en 2020 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 2) 238

Figura 52. Expansión urbana en 2025 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 2) 239

Figura 53. Expansión urbana en 2030 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 2) 240

Figura 54. Expansión urbana en 2035 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 2) 241

Resumen

Los estudios sobre procesos de urbanización en especial sobre el análisis del proceso de expansión urbana, en las últimas décadas, se han realizados desde diversas perspectivas económicas, demográficas, geográficas o sociales; y generalmente a dos escalas, ya sea a nivel nacional o en un punto de interés predominantemente el caso de la Zona Metropolitana del Valle de México. Por lo que hoy día resulta fundamental explorar los cambios de la Megalópolis del Centro de México y sus zonas metropolitanas para su análisis, tomando en consideración tanto su dinámica urbana como su sostenibilidad. Esta última incorpora la dimensión ambiental para una mejor comprensión de los procesos urbanos.

La presente investigación consideró los marcos globales sobre el desarrollo sostenible, la Agenda 2030 y la Nueva Agenda Urbana, como ejes rectores para la búsqueda de la sostenibilidad ambiental, al establecer 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas, entre otros documentos normativos. La investigación se alineó a estos documentos, tomándolos como ejes rectores para la búsqueda de la sostenibilidad ambiental, al establecer una metodología que permita analizar el proceso de expansión urbana en dos zonas metropolitanas del país, como su sostenibilidad. Esta investigación se centró en el análisis de los procesos de expansión urbana en las zonas metropolitanas de Toluca (ZMT) y Puebla-Tlaxcala (ZMPT), como en la construcción de una metodología que permite analizar la relación de la expansión urbana y su sostenibilidad, complementando con la creación de modelos de simulación urbana, para una mejor comprensión de los procesos urbanos.

Para el desarrollo del proyecto de investigación y la construcción de la metodología, se utilizó una combinación de dos métodos: el hipotético deductivo y el probabilístico. El primero, tuvo la finalidad de dar sustento teórico conceptual a la investigación como comprender la dinámica urbana y los hallazgos más importantes en su estudio; rescatando las dimensiones e indicadores que se consideren de mayor relevancia. En el segundo, estuvo orientado a la construcción de la metodología mediante la selección y construcción tanto de variables e indicadores de la revisión de bibliografía especializada, para el fenómeno de estudio. Se utilizó software de cálculo estadístico, la construcción de escenarios de expansión urbana, métricas de

econometría espacial, bases de datos, imágenes satelitales y sistema de información geográfica (SIG).

Es importante resaltar, que, una vez establecida la metodología como los insumos de esta, estos fueron una herramienta importante que podrá utilizarse tanto para la evaluación de políticas de desarrollo urbano, la gestión y planificación del territorio; para el uso académico, así como del sector gubernamental para una mejor toma de decisiones en la gestión del territorio.

Abstrac

Studies on urbanization processes, especially on the analysis of the urban expansion process, in the last decades, have been carried out from different economic, demographic, geographic or social perspectives; and generally at two scales, either at a national level or at a point of interest, predominantly the case of the Metropolitan Zone of the Valley of Mexico. Therefore, today it is essential to explore the changes in the Megalopolis of Central Mexico and its metropolitan areas for its analysis, taking into consideration both its urban dynamics and its sustainability. The latter incorporates the environmental dimension for a better understanding of urban processes.

The present research considered the global frameworks on sustainable development, the 2030 Agenda and the New Urban Agenda, as guiding axes for the search for environmental sustainability, by establishing 17 Sustainable Development Goals (SDGs) and 169 targets; to mention a few. The research aligned these documents, taking them as guiding axes for the pursuit of environmental sustainability, by establishing a methodology that allows analyzing the process of urban expansion in two metropolitan areas of the country, as its sustainability. This research focused on the analysis of urban expansion processes in the metropolitan areas of Toluca (ZMT) and Puebla-Tlaxcala (ZMPT), as in the construction of a methodology that allows analyzing the relationship between urban expansion and its sustainability, complemented with the creation of urban simulation models, for a better understanding of urban processes.

For the development of the research project and the construction of the methodology, a combination of two methods was used: the hypothetical deductive and the probabilistic. The first one, had the purpose of giving conceptual theoretical support to the research as to understand the urban dynamics and the most important findings in its study; rescuing the dimensions and indicators that are considered of greater relevance. In the second, it was oriented to the construction of the methodology through the selection and construction of variables and indicators, resulting from the review of specialized bibliography, for the study phenomenon. Statistical calculation software, the construction of urban expansion scenarios, spatial econometric metrics, databases, satellite images and geographic information systems (GIS) were used.

It is important to highlight that, once the methodology and its inputs were established, they were an important tool that can be used for the evaluation of urban development policies, land management and planning, for academic use, as well as for the governmental sector for better decision making in land management.

Introducción

En México los estudios desarrollados, en las últimas décadas, sobre los procesos de urbanización se han realizados desde diversas perspectivas, ya sean económicas, demográficas, geográficas o sociales; y generalmente a dos escalas, ya sea a nivel nacional o en un punto de interés predominantemente como es el caso de la Zona Metropolitana del Valle de México. Por lo que hoy día resulta fundamental explorar los cambios en la Megalópolis del Centro de México, considerando otras zonas metropolitas para su análisis; su dinámica de expansión urbana; incorporando la dimensión ambiental, para una mejor comprensión de los procesos urbanos y su sostenibilidad.

Esch et al. (2018), mencionan que en 1950 la población urbana era sólo la mitad del tamaño de la población rural. En 2008, por primera vez, la población urbana superó a la población rural (transición urbana global). Resaltando que las ciudades juegan un papel principal como impulsores de todos los sistemas sociales, económicos y ambientales. Actualmente varios autores evidencian que la urbanización global afecta todo el espectro de sistemas humanos y naturales, en particular con respecto a: energía, agua, alimentos, biodiversidad, clima o salud humana (Esch et al., 2018).

Por su parte, Cuervo (2012) menciona que, en los últimos 30 años, las metrópolis latinoamericanas han estado sometidas a ciclos relativamente sincronizados. En los años 1980 fue de letargo y crisis, tanto en lo económico como en lo político. Para los años 90 fue el renacer tanto en lo económico como en lo político, derivado de la estabilización de la moneda y la llegada masiva de capitales e inversiones con un impacto en las ciudades; además del retorno y estabilización de la democracia. Para los años 2000 Cuervo (2012) menciona que, se consolida el cambio económico y político tanto del subcontinente y sus ciudades, por la presencia de una fase relativamente prolongada de expansión y en el aspecto político por la presencia de democracias de diversas orientaciones y matices.

Con respecto a la presente investigación considera los marcos globales sobre el desarrollo sostenible, La Agenda 2030 y la Nueva Agenda Urbana (NU, 2017; NU y CEPAL, 2018) como ejes rectores para la búsqueda de la sostenibilidad ambiental, al establecer 17 Objetivos de

Desarrollo Sostenible y 169 metas. El trabajo se alinea a ambos documentos, tomándolos como ejes rectores para la búsqueda de la sostenibilidad ambiental, al establecer una metodología para analizar el proceso de expansión urbana en las dos zonas metropolitanas y su sostenibilidad.

La investigación se centra en analizar los procesos de expansión urbana en dos zonas metropolitanas de México, partiendo de un análisis comparativo entre las zonas metropolitanas de Toluca (ZMT) y la de Puebla-Tlaxcala (ZMPT), a través de una metodología que permita analizar el proceso de expansión urbana, como su sostenibilidad en el territorio, además de la generación de escenarios de crecimiento, para una mayor comprensión de esta.

Para el desarrollo del proyecto de investigación y la construcción de la metodología, se utilizó la combinación de dos métodos, el hipotético deductivo y el probabilístico. El primero, tiene la finalidad de dar sustento teórico conceptual a la investigación y comprender la dinámica urbana y los hallazgos más importantes en su estudio; tomando en consideración las dimensiones e indicadores que se consideren de mayor relevancia. El segundo, está orientado a la construcción de la metodología mediante la selección y construcción de variables con sus indicadores, apoyándose en la revisión de bibliografía especializada, para el fenómeno de estudio. Se utilizó software de cálculo estadístico, análisis espacial, autómatas celulares, bases de datos, imágenes satelitales y Sistema de Información Geográfica (SIG).

Una vez definida la metodología, como los insumos necesarios para el desarrollo de esta, es una herramienta importante que podrá utilizarse tanto para la evaluación de políticas de desarrollo urbano, la gestión y planificación del territorio, así como del sector gubernamental. Permitiendo analizar el proceso de expansión urbana y sus niveles de sostenibilidad en las distintas zonas metropolitanas del país.

Otro aspecto para resaltar es que a pesar de que solo se analizaron dos zonas metropolitanas de la Megalópolis del Centro de México, la metodología resultante puede replicarse en distintas zonas de estudio, considerando tanto las dimensiones sociales, ambientales y económicas del territorio. Así como modelarse distintos factores que condicionan el comportamiento de la expansión urbana.

Planteamiento del problema

En México como el resto del mundo durante el siglo XX y a lo largo del siglo XXI, ha presentado cambios en su dinámica urbana, ha diferentes ritmos y como consecuencia de diversos factores, reflejándose en los patrones actuales del proceso de expansión urbana, mismo que ha tenido diversos impactos tanto sociales, económicos y ambientales en el territorio de los distintos asentamientos humanos.

Con relación al contexto de las ciudades de México y América Latina, se observa el siguiente comportamiento derivados de la actual dinámica urbana: Crecimiento urbano acelerado, pobreza urbana-alta vulnerabilidad; falta de una ordenación y planificación sostenible; una expansión dispersa y extensiva de las ciudades, con algunas áreas con concentraciones muy densas de población o viceversa; persistencia de asentamientos precarios y ocupación ilegal del suelo; desigualdad en el acceso de oportunidades de la ciudad; Cambios en la morfología urbana de la ciudad; y aumento de la vulnerabilidad, considerando los efectos del cambio climático y los riesgos que implica en los asentamientos; entre otros.

Para el caso de las regiones costeras, además del comportamiento mencionado con anterioridad se añaden los siguientes: Exposición a fenómenos hidrometeorológicos extremos; Ocupación en informal en zonas de riesgo; Falta de planes de gestión integral de riesgos; y Gobernanza fragmentada.

Respecto al proceso de urbanización el crecimiento de la población durante el siglo XX y parte del siglo XXI. El siglo XX se encuentra dividido en tres fases; la primera abarca el período de 1900-1940, en donde la población total del país aumentó de 13.6 a 19.7 millones de habitantes. La segunda fase ocurrió durante las cuatro décadas siguientes, de 1940-1980, en el que se enmarcó un modelo de desarrollo orientado hacia la sustitución de importaciones (Sobrino, 2011). Y la tercera fase comenzó en la década de los ochenta, fecha en la cual ocurrió también un cambio obligado en la estrategia de crecimiento económico (sustitución de importaciones al modelo neoliberal), en donde la población nacional se acerca a los 100 millones de habitantes y se

identifica la Megalópolis del Centro de México de menara jurídica en 1996 (Sobrino, 2011; De Las Heras et al., 2020a).

A inicios del siglo XXI la población nacional asciende a más de 97 millones de habitantes y se identifican 55 Zonas Metropolitanas (SEDESOL et al., 2004). Para el año 2010 la población supera los 112 millones de habitantes y se tienen 59 Zonas Metropolitanas (SEDESOL et al., 2012). En 2015 se observa un aumento gradual de las zonas metropolitanas ya que se identifican 74, 15 nuevas zonas en comparación de 2010 y la población nacional supera los 119 millones de habitantes (SEDATU et al., 2018).

Es importante mencionar que para el año 2023, se cambiaron aspectos en la metodología para la delimitación de las zonas metropolitanas, dando como resultado la identificación de 92 metrópolis conformadas por 421 municipios, clasificadas en: 48 zonas metropolitanas, 22 metrópolis municipales y 22 zonas conurbadas. Las cuales concentran 82.5 millones de personas, representando 65.5% de la población (SEDATU et al., 2023). Mostrando que las 32 entidades federativas ya se identifican procesos metropolitanos.

Con relación con la dinámica población de las dos zonas de estudio[1], como se observa en el Tabla 1. La Zona Metropolitana de Toluca en 1990 concentra más de 1.1 millones de habitantes, en un periodo de 30 años casi duplicó su población pasando a más de 2.3 millones de habitantes, presenta una extensión territorial estimada de 2,401.46 km^2 y una densidad de población de 980.2 habitantes por cada km^2. Para el caso de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala en 1990 concentra más de 1.7 millones de habitantes y para 2020 concentra más de 3.1 millones de habitantes, tiene una superficie estimada de 2,380.35 km^2 y una densidad de población de 1,344.14 habitantes por cada km^2.

No obstante, a pesar de un aparente crecimiento poblacional en términos de valores absolutos, el crecimiento de ambas zonas metropolitanas tiende a disminuir. Para el caso de la

[1] Para delimitación de las zonas de estudio se usó la delimitación de zonas metropolitanas realizada en 2018, además de que la delimitación en su actualización en su edición de 2023 se publicó el 19 de octubre.

ZMT de 1990 a 2000 su incremento promedio anual fue de 3.34%, de 2000 a 2010 disminuyó a 2.29% anual y de 2010 a 2020 a 1.57% anual, para 1990 a 2020 presenta un promedio anual de 2.4% anual. Por otro lado, la ZMPT de 1990 a 2000 su incremento promedio anual fue de 2.48%, de 2000 a 2010 disminuyo a 1.86% anual y de 2010 a 2020 a 1.6% anual; presentando una tasa promedio de 1990 a 2020 de 1.98% anual.

Tabla 1. Población, tasa de crecimiento y densidad de población, 1990-2020

Zona Metropolitana	Población				Tasa de crecimiento medio anual (%)				Superficie* (km^2)	DP* (hab/km^2)
	1990	2000	2010	2020	1990-2000	2000-2010	2010-2020	1990-2010		
Toluca	1,156,444	1,605,571	2,014,091	2,353,924	3.34	2.29	1.57	2.4	2,401.46	980.20
Puebla-Tlaxcala	1,776,884	2,269,995	2,728,790	3,199,530	2.48	1.86	1.60	1.98	2,380.35	1,344.14

Fuente: elaboración propia con base en datos proporcionados por el INEGI. Censos de Población y Vivienda (1990, 2000, 2010 y 2020).

*[1] El dato de superficie se obtuvo de las Áreas Geoestadísticas Municipales (AGEM), del Marco Geoestadístico, enero 2021.

Con lo que respecta a los cambios de las coberturas de los usos de suelo, para el caso de la ZMT, como se observa en el Tabla 2, se identifican siete tipos de uso y coberturas durante el periodo 1992-2018, el uso predominante en 1992 es el uso agrícola con 157,259.66 hectáreas lo que representa 65.12% del total de la superficie, seguido por la cobertura de bosque con 45,851.97 hectáreas representando 18.99% de la superficie total.

Para el año 2018, se observa un comportamiento similar en relación con el uso y cobertura de suelo, sin embargo, las tres principales clases (agrícola, bosque y pastizal) presentan una disminución en su superficie, cambiando de posición la cobertura de zona urbana ocupando la tercera posición en términos de representación en comparación en 1992.

Se observan dos cambios importantes, tomando en consideración la tasa de cambio; el primero es la clase de zona urbana presenta una superficie de 23,934.93 hectáreas que presentó una tasa de cambio del 96.45%. El segundo cambio por destacar son las categorías que presentan una tasa de cambio negativo, en la que destaca la clase otros tipos de vegetación (tular) lo que se traduce en una disminución de 2,297.8 hectáreas en comparación a 1992, con una tasa de -204.62%.

Tabla 2. Análisis de cambios de las coberturas y usos del suelo presentes en la Zona Metropolitana de Toluca

Uso de suelo	1992*		2018**		Diferencia (ha)	Tasa de cambio
	Superficie (ha)	Porcentaje	Superficie (ha)	Porcentaje		
Agrícola	157,259.66	65.12%	148,216.42	61.38%	-9,043.24	-6.10%
Bosque	45,851.97	18.99%	45,948.85	19.03%	96.88	0.21%
Pastizal	31,438.63	13.02%	18,522.82	7.67%	-12,915.81	-69.73%
Zona urbana	881.05	0.36%	24,815.98	10.28%	23,934.93	96.45%
Cuerpo de agua	1,961.63	0.81%	2,097.74	0.87%	136.11	6.49%
Otros tipos de vegetación (tular)	3,420.78	1.42%	1,122.98	0.47%	-2,297.80	-204.62%
Área sin vegetación	663.34	0.27%	752.22	0.31%	88.88	11.82%
Total***	241,477.06	100.00%	241,477.01	100.00%		

Fuente: elaboración propia con base en datos proporcionados por el INEGI. Series de Uso de suelo y vegetación I (1992) y VII (2018).
*El dato de superficie se obtuvo a partir de la Serie de Uso de suelo y vegetación I, 1992.
**El dato de superficie se obtuvo a partir de la Serie de Uso de suelo y vegetación VII, 2018.
*** Los totales varían en relación con la proyección de la información cartográfica de las Series de uso de suelo y vegetación.

Para el caso de la ZMPT, como se observa en el Tabla 3, se identifican siete categorías de uso y cobertura de suelo, en donde para 1992 sobresale el uso agrícola con una superficie de 158,324.69 ha lo que representa 66.18% del total de extensión de la zona metropolitana, en segundo lugar, se encuentra la categoría de bosque con una superficie de 46,102.55 ha traduciéndose en una representación del 19.27% del total de la superficie.

Para 2018 se presenta un comportamiento similar en la posición que ocupan las clases, sin embargo, la zona urbana de la quinta posición en 1992 pasa a la tercera en este periodo, con una representación del 17.77% del total. Al igual que la ZMT se distinguen dos cambios importantes, el primero que seis de siete categorías presentan una tasa de cambio negativa. El segundo cambio para destacar se presentó en la clase de zona urbana con un aumento en su superficie de 38,455.08 ha, reflejando una tasa de cambio del 90.44%.

Tabla 3. Análisis de cambios de las coberturas y usos del suelo presentes en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala

Uso de suelo	1992*		2018**		Diferencia (ha)	Tasa de cambio
	Superficie (ha)	Porcentaje	Superficie (ha)	Porcentaje		
Agrícola	158,324.69	66.18%	135,978.50	56.84%	-22,346.19	-16.43%
Bosque	46,102.55	19.27%	36,993.42	15.46%	-9,109.13	-24.62%
Pastizal	26,702.34	11.16%	19,535.65	8.17%	-7,166.69	-36.69%
Matorral	122.83	0.05%	113.72	0.05%	-9.11	-8.01%
Zona urbana	4,063.14	1.70%	42,518.22	17.77%	38,455.08	90.44%
Cuerpo de agua	2,765.17	1.16%	2,728.61	1.14%	-36.56	-1.34%
Área sin vegetación	1,163.16	0.49%	1,375.72	0.58%	212.56	15.45%
Total*	239,243.88	100.00%	239,243.84	100.00%		

Fuente: elaboración propia con base en datos proporcionados por el INEGI. Series de Uso de suelo y vegetación I (1992) y VII (2018).
*El dato de superficie se obtuvo a partir de la Serie de Uso de suelo y vegetación I, 1992.
**El dato de superficie se obtuvo a partir de la Serie de Uso de suelo y vegetación VII, 2018.
*** Los totales varían en relación con la proyección de la información cartográfica de las Series de uso de suelo y vegetación.

Por lo que, los datos mencionados con anterioridad con la dinámica demográfica que han tenido las zonas metropolitanas de estudio, se identifica una relación entre el aumento paulatino de la población, el aumento de la zona urbana y el cambio de las distintas coberturas de uso de suelo. En donde el aumento de la cobertura de suelo urbano se ha presentado mediante un crecimiento de manera exponencial, derivado de las políticas de gestión del suelo, ocupando zonas no previstas para este uso; ya sea ocupando zonas de riesgo, agrícolas, ejidales o de bosque; provocando impactos ambientales negativos directos e indirectos sobre el territorio, reflejándose a su vez, en sus niveles de sostenibilidad como en la calidad de vida de sus habitantes.

Justificación

Derivado de lo anterior, establecemos que la justificación de la presente investigación radica en que, los estudios sobre los procesos de urbanización en México se han realizado desde diversas perspectivas, ya sean económicas, demográficas, geográficas o sociales; generalmente a dos escalas, ya sea a nivel nacional o en un punto de interés predomínate tal es el caso de la Zona Metropolitana del Valle de México. Por lo que hoy día resulta fundamental explorar los cambios en la Megalópolis de México, respecto a su dinámica urbana y sostenibilidad ambiental, considerando tanto aspectos económicos, sociales y ambientales.

Las metrópolis tienen gran importancia en el desarrollo económico de un país y México no es la excepción, ya que en ellas se concentran actividades económicas y de servicios para el desarrollo de una nación, pero a la vez pueden presentar procesos de decadencia, pueden perder importancia en productividad, remuneraciones, entre otros aspectos tanto de carácter económico, ambiental o social; generando deseconomías y desigualdad urbana. La importancia de realizar estudios urbanos se encuentra relacionado con distintos objetivos, ya sean orientados a: una ampliación del conocimiento y el estado de las ciudades; la comprensión de procesos históricos y los factores que son determinantes en la organización del territorio; entre otros.

Considerando la orientación de los estudios citados previamente, también se pretende la búsqueda de propuestas que permitan articular estrategias de planeación, coordinación intergubernamental y ordenación del territorio. Por ejemplo, en contribuir en el diseño de métodos de análisis, mediante la aplicación de procesos estadísticos y de análisis espacial, examinando el caso de estudio; se pretende explicar la existencia de nuevos fenómenos y adelantar en el desarrollo y mejora de políticas territoriales enfocadas en la sostenibilidad ambiental.

La estrategia de esta investigación es definida por: 1). Se parte de dos ejes de análisis, por un lado, el proceso de expansión urbana; en donde se abordan las distintas teorías urbanas que dan pauta a comprender este proceso en las zonas de estudio, considerando desde el sistema urbano y sus estructuras territoriales, como los modelos y formas de crecimiento urbano. 2). Se aborda la perspectiva de la sostenibilidad, considerando sus dimensiones de análisis, apoyándonos de los

distintos marcos de referencia que brindan alcances e indicadores para medir el impacto de la expansión urbana en el territorio.

En conjunto se examina el proceso de expansión urbana y sostenibilidad, tomando como área de estudio dos zonas metropolitanas de la Megalópolis del Centro del país correspondientes a Toluca y Puebla-Tlaxcala, realizando un trabajo comparativo que permitirá comprobar la hipótesis y objetivos planteados en la presente investigación.

La estrategia de investigación toma como eje principal el proceso de expansión urbana y su sostenibilidad, desde una perspectiva conforme a los distintos acuerdos Macro de sostenibilidad ambiental como lo es la Agenda 2030, mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica, como técnicas de análisis espacial desde un enfoque multidisciplinar. Acotando la investigación a la comprensión de los procesos actuales de urbanización y su relación con el medio ambiente.

El método utilizado en esta investigación se compone del método el hipotético deductivo y el probabilístico. En el primer caso, se partió de conceptos, categorías y trabajos previos, con la finalidad de dar sustento teórico conceptual a la investigación como comprender la dinámica urbana y los hallazgos más importantes en su estudio; rescatar las dimensiones e indicadores que se consideren de mayor relevancia, para medir la sostenibilidad.

En el segundo caso, se realizó análisis estadístico y espacial, cuya finalidad es la de construir variables e indicadores a fin de medir y observar los patrones de urbanización, como su sostenibilidad y tendencias de crecimiento de la zona urbana. Para medir la sostenibilidad comprendiendo sus distintas dimensiones de análisis: económica, social y ambiental. Por otro lado, para distinguir los patrones de urbanización con indicadores observables utilizaremos: población, actividades económicas, expansión urbana, movilidad laboral y movilidad estudiantil; por mencionar algunos. Para ello se utilizamos los siguientes insumos: Censos y conteos de población y vivienda, censos económicos, Marcos Geoestadísticos, el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), imágenes de satélite (SENTINEL2), indicadores de sostenibilidad urbana y el uso de los Sistemas de Información Geográfica.

El área de estudio que de análisis es la Megalópolis del Centro de México o también identificada con el nombre de la Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México, se encuentra formada por la Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Puebla, Morelos, Querétaro y Tlaxcala (CAMe, 2018); que integran 12 zonas metropolitanas. Específicamente se centrará el estudio en el análisis en la Zona Metropolitana de Toluca y Puebla Tlaxcala, la primera formada por 16 municipios (SEDATU et al., 2018) y una población para 2020 de 2,353,924 habitantes; la segunda formada por 39 municipios y una población de 3,199,530 habitantes. El periodo de estudio de la investigación será de 2010 a 2020.

Objetivos e hipótesis

Objetivo general

Analizar los procesos expansión urbana y su sostenibilidad en la Megalópolis del Centro de México, enfocándose en la Zona Metropolitana de Toluca y Puebla-Tlaxcala, mediante análisis espacial e indicadores de sostenibilidad, permitiendo además la construcción de escenarios futuros para observar la tendencia de crecimiento urbano y la toma de decisiones.

Objetivos particulares

1. Integrar un marco teórico conceptual sobre los conceptos de expansión urbana y sostenibilidad. Además, de los escenarios y modelos de simulación urbana, como instrumentos de planificación metropolitana.
2. Integrar un marco de referencia o antecedentes, relacionado con estudios de expansión urbana, sostenibilidad y simulación urbana.
3. Construir una metodológica para el análisis de la expansión urbana y su sostenibilidad, además de la creación de simulaciones de crecimiento urbano a partir de la revisión de literatura.
4. Aplicar la metodología desarrollada en la Zona Metropolitana de Toluca y Puebla-Tlaxcala.
5. Analizar el crecimiento urbano y su sostenibilidad derivados del proceso de expansión urbana.

Hipótesis

La concentración de las actividades económicas como de los servicios en los distintos centros metropolitanos aunado al crecimiento de la población. Han dado pauta a la configuración de diversas formas urbanas inmersas en el territorio tales como nodos o polos metropolitanos, corredores regionales, policentrismo, redes y regiones urbanas. Sin embargo, no se han podido caracterizar de manera adecuada las relaciones de las estructuras territoriales. Con base en los desplazamientos de la población y la identificación de las distintas formas territoriales, se destacan cambios en la dinámica urbana de la Megalópolis del Centro de México, aunado a un aumento de consumo de suelo, emisiones de gases de efecto invernadero y de las distintas formas de trasporte.

La estructura capitular de la investigación está compuesta por cinco capítulos (Figura 1) para lograr el objetivo genera y particulares, que permitan comprobar la hipótesis de investigación. A continuación, se describe cada uno de ellos.

Capítulo I. Marco teórico conceptual. Se centra en dar sustento teórico y conceptual sobre los conceptos de expansión urbana, sostenibilidad y autómatas celulares.

Capítulo II. Marco de referencia. Es referente al marco de referencia, en donde se revisan investigaciones previas que ofrecen tantas metodologías y técnicas para medir el proceso de expansión urbana y sostenibilidad, identificando elementos para construir modelos de crecimiento para crear escenarios a futuro en las dos zonas de estudio.

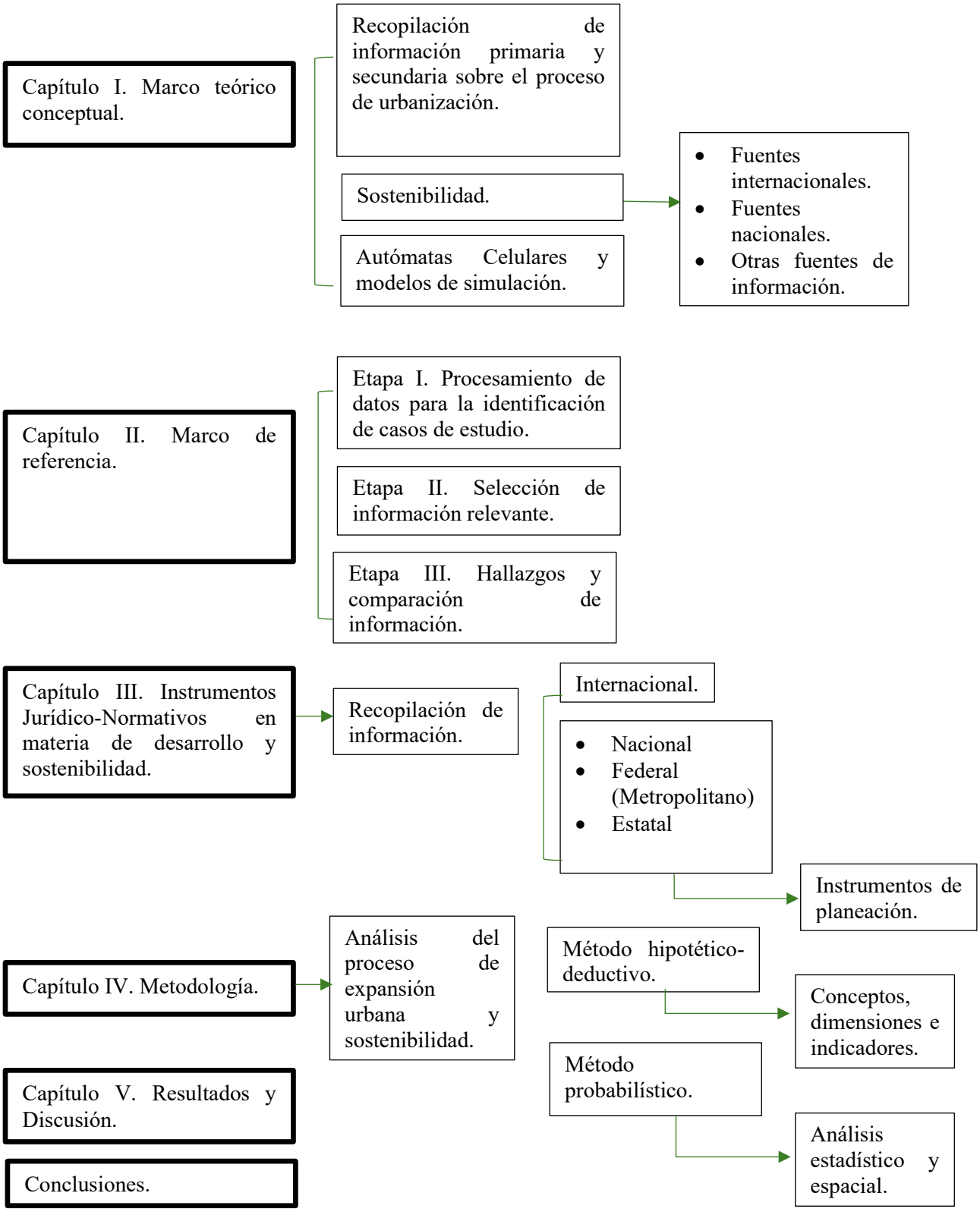
Capítulo III. Instrumentos Jurídico-Normativos en materia de desarrollo y sostenibilidad. Se presentan tanto las políticas que han contribuido a la actual configuración urbana del país. Además de una recopilación y análisis de información en dos ámbitos de gobierno (Federal y Estatal), sobre distintos instrumentos normativos en materia de gestión del suelo y sustentabilidad.

Capítulo IV. Metodología. Se desarrolla una propuesta metodológica para medir el proceso de expansión urbana y su sostenibilidad en el territorio en un primer momento; además del desarrollo de escenarios a futuro sobre esté proceso de urbanización, mismo que se instrumentará en las zonas de estudio.

Capítulo V. Resultados y Discusión. Comprende el análisis de resultados obtenidos de la metodología propuesta en el capítulo anterior y la validación de esta, resaltando tanto sus bondades como sus propias debilidades, externado sus áreas de mejor como oportunidades.

Conclusiones. Comprende la discusión sobre los hallazgos en el desarrollo de la investigación y conclusiones sobre el proceso de urbanización en la Megalópolis del Centro de México, enfocadas en las zonas de estudio.

Figura 1. Estructura capitular de la investigación



Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO I

Marco teórico conceptual

Capítulo I. Marco teórico conceptual

Este capítulo presenta los conceptos y teorías para comprender el proceso de expansión urbana y su relación con los distintos niveles de sostenibilidad en el territorio; tomando en consideración los elementos que lo constituyen y lo explican, identificando las estructuras territoriales que surgen como consecuencia del proceso de expansión urbana. Sumado a sus niveles de sostenibilidad definidos mediante el uso de técnicas de análisis espacial.

Este apartado se divide en tres ejes de análisis, como primer eje y del cual se sustenta la investigación se presenta la fundamentación teórica conceptual partiendo desde los modelos de procesos territoriales, examinando las teorías urbanas que explican el proceso de expansión urbana, considerando aspectos fundamentales para su análisis, abordado las posibles estructuras territoriales inmersas en las zonas de estudio; posteriormente se analizan los modelos de crecimiento urbano y cerrado por la conceptualización por crecimiento y expansión urbana.

En el segundo eje se analizan elementos teóricos sobre la sostenibilidad urbana como desarrollo sostenible, considerando tanto sus antecedentes como sus distintas dimensiones de análisis. En el tercer eje se hace énfasis en las métricas y simulación del crecimiento mediante el uso de autómatas celulares y el modelo S.L.E.U.T.H; finalizando con una conclusión parcial del capítulo con relación a los objetivos planteados en la presente investigación, para comprender las transformaciones en la Megalópolis del Centro de México.

1.1. Teorías del análisis de la expansión urbana

En este apartado se abordaron de manera breve los principales modelos de procesos territoriales, que sirven como punto de apoyo para el análisis y modelado de la expansión urbana, incorporando las distintas teorías de localización como la teoría de interacción espacial, los cuales se describen a continuación.

Sobre las diferentes teorías de localización Gaviria (2010), resalta que tratar de explicar en dónde se localizan las actividades económicas, así como los factores que influyen en la distribución espacial de esas actividades ya sea en una región o país, son cuestiones que deben responderse

para avanzar en la comprensión del desarrollo potencial tanto de las economías regionales y nacionales.

Además, resalta Gaviria (2010), dos grupos de teorías de localización; de un lado aquellas que consideran que los consumidores se concentran en puntos discretos del espacio geográfico, resaltando los trabajos de Von Thünen y Weber; y por otro lado las teorías que consideran a los consumidores dispersos en áreas de mercado de diversos tamaños, como es el caso de los modelos teóricos de Christaller, Lösch, Hotelling y la Nueva Geografía Económica.

Álvarez y Carrillo (2020), se apoyan de lo mencionado por Evans et al., en 1996, en que estas se centran en la organización espacial del territorio teniendo su origen en la geografía de Alemania con los estudios sobre las diferencias de la renta y su ubicación al mercado en los que resaltan el trabajo de Von Thünen en 1820, donde se consideran elementos como: precios de la tierra, su calidad y los medios de transporte. Explicando la localización óptima de la actividad agrícola, basado en la distancia entre la granja (lugar de producción) y el pueblo (lugar de oferta). El modelo teórico es considerado pionero en la teoría de localización y se ha tomado como referencia en todas las teorías subsecuentes a ella.

En 1909 se distingue el trabajo de Alfred Weber, quien publicó un modelo aplicado a la localización de la industria mediante el uso del costo mínimo de la distancia y el transporte como la variable clave para dar explicación a la variación espacial en la renta económica respecto a la oferta y la demanda. Su diferencia entre el modelo presentado por Thünen, es al considerar al que el espacio no es homogéneo (Álvarez y Carrillo, 2020).

En otro sentido, también se observan dos grandes enfoques en el estudio de los fenómenos de localización. Por un lado, desde la perspectiva de las diferencias de la primera naturaleza o de predestinación, son las particularidades físicas de un territorio las que explican la concentración de actividades económicas y la población en ciertos lugares. Del otro lado, desde una perspectiva de las diferencias de segunda naturaleza o autoorganización, enfatiza en la interacción económica entre los agentes y con ella comienzan a ser importantes elementos como los retornos crecientes a escala, las externalidades y los costos de transporte, para explicar la distribución de las personas y la actividad económica en el espacio (Gaviria, 2010).

Ambos enfoques teóricos, reconocen la existencia de una tensión entre dos fuerzas (Gaviria, 2010):

- Centrípetas o de aglomeración, que empujan a la actividad económica a concentrarse.
- Centrífugas o de dispersión, que generan dinámicas en sentido contrario.

1.1.1. Teoría del Lugar Central

Sobre la Teoría del Lugar Central (Valencia, 2016; Álvarez y Carrillo, 2020), los dos exponentes más citados son el geógrafo alemán Walter Christaller en 1933 y el economista August Lösch en 1939. En donde la tesis de Christaller se inspira en la teoría de Von Thünen, quien tenía como objetivo determinar la dimensión y la distribución de las ciudades, mientras que la tesis de Lösch se desarrolla a partir de lo planteado por el primero.

La Teoría del Lugar Central cuyo precursor es Walter Christaller en los años treinta, intenta explicar el número, la distribución espacial y el tamaño de los asentamientos, a partir de la lógica de localización de las actividades terciarias. Siendo una de las teorías más elegantes de la geografía socioeconómica, además de que ha ofrecidos sustento a numerosas políticas de planeación regional. Sin embargo, es importante destacar que tanto sus supuestos como argumentos suelen ser de carácter regional (Garrocho, 2003). Concluyendo que su propósito principal es mostrar como los servicios comienzan a organizarse territorialmente dentro de una jerarquía urbana definida (Díaz et al., 2020).

Teoriza sobre la distribución y jerarquía de los lugares centrales en un espacio isotrópico, cuya distribución homogénea de la población y del poder adquisitivo, postula el costo del producto se incrementa en función de los factores de distancia y precio del transporte; del mismo modo la capacidad de compra de la población (Álvarez y Carrillo, 2020).

Proponiendo tres modelos para explicar la distribución de las ciudades. El primer modelo se basa en el principio del mercado, donde cada lugar central de orden superior sirve a dos ciudades vecinas de orden inferior. El segundo modelo se basa en el principio de tráfico o transporte, donde

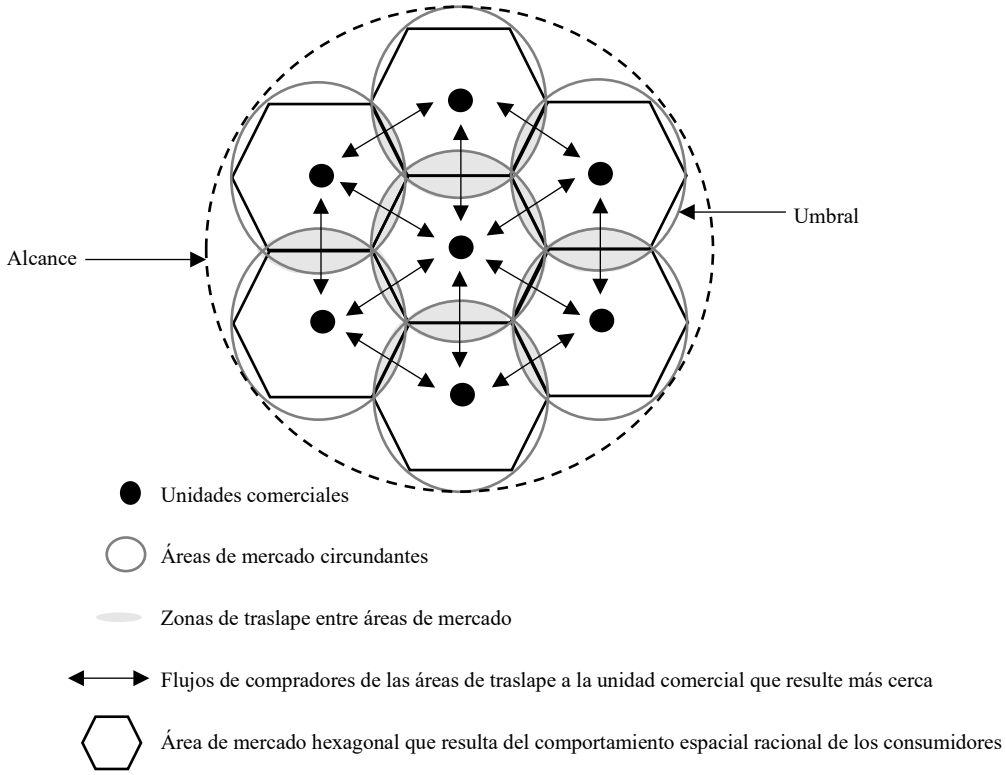
los lugares centrales de jerarquía inferior aparecen justo en la intersección media entre dos lugares de jerarquía superior. Por último, el tercer modelo es basado en el principio administrativo, estipula que un lugar central de jerarquía superior servirá a seis de orden inferior (Valencia, 2016).

Con relación a sus aportes y consideraciones teóricas, Garrocho (2003; Díaz et al., 2020; Álvarez y Carrillo, 2020) enuncia sus principales argumentos:

- Las ciudades actúan como centros proveedores de bienes y servicios de sus regiones circundantes.
- Lugar central: "se refiere al punto donde se prestan determinados servicios para la población en un área circundante y se sustenta en la premisa de que la centralización es un principio natural de orden y que los asentamientos humanos lo siguen" (Álvarez y Carrillo, 2020, p. 20)
- Centralidad: hace referencia a la intensidad con la que una ciudad sirve a su región como proveedora de bienes y servicios; por lo que una ciudad es más central, en tanto ofrezca mayor cantidad de bienes y servicios a su región circundante.
- Umbral o población umbral: Demanda mínima que se requiere para hacer viable la oferta de un bien o servicios.
- Alcance: Distancia máxima que los consumidores están dispuestos a recorrer para adquirir un bien o recibir un servicio.
- La TLC, sí considera los precios reales de los bienes y servicios: Precio de mercado + Costo de transporte (consumidor) = punto de oferta.

Christaller representa el modelo teórico en una figura hexagonal, donde el centro de este se concentra la oferta, garantizando el mejor servicio a todo el espacio isotrópico que delimita la figura. En el que no existen barreras de movimiento, ya que el movimiento ocurre en todas las direcciones con la misma facilidad y con un solo tipo de transporte; como los costos de transporte son proporcionales a la distancia (Álvarez y Carrillo, 2020). Señalando que las relaciones de cercanía y lejanía pueden representarse claramente a través de la geometría y el uso de aspectos topológicos mediante la teoría de grafos (Buzai, 2022) (Figura 2).

Figura 2. Conformación de áreas de mercado hexagonales, según la lógica de la Teoría del Lugar Central



Fuente: Garrocho, 2003, p.223.

Por su parte Agust Lösch, complementa lo planteado por Christaller en su libro The Economic Location en 1939, señalando que la actividad económica se puede distribuir en función de las características de sus áreas de mercado. Generando franjas o corredores económicos, originadas por los efectos de la aglomeración espacial, proporcionando una artería de bajo costo, al vincular el centro y la periferia; generando que tanto los productores y consumidores tiendan a localizarse cerca de la vía, dando lugar al surgimiento de nuevas actividades como usos de suelo, que concentran la actividad económica, en consecuencia, alterando el uso físico y económico del suelo (Valencia, 2016; Álvarez y Carrillo, 2020).

Así como incorpora un tercer elemento relevante denominado como "la teoría del intercambio", constituyendo una descripción de las relaciones espaciales de un equilibrio económico general. En la que se supone que tanto los productores y consumidores están repartidos

uniformemente en un espacio homogéneo, plano y sin desigualdades geográficas o políticas, en el que las materias primas están igualmente distribuidas. Sumando el concepto de aglomeración empresarial, cuyo argumento se centra en la utilidad varía según el número de empresas que se encuentran en un mercado (Álvarez y Carrillo, 2020).

La TLC ha dado lugar a estudios en dos niveles de análisis: unos usados en negocios minoristas como medida de centralidad, con la finalidad de explicar el sistema urbano en donde se localizan; los segundos usados para explicar la localización de los centros comerciales dentro de áreas urbanas. Sin embargo, su utilidad es limitada por el concepto de uniformidad, así como solo mide el costo total del desplazamiento desde el costo de transporte, sin tener en cuenta otros factores como el tiempo o psicológicos sobre la elección del lugar (Álvarez y Carrillo, 2020).

Por lo que el análisis locacional y una obra de importancia de la Geografía Humana, resaltando el concepto relacionado al de nodos definido como "jerarquía locacional", instrumentado a partir de la concentración de población, tomando de base los modelos clásicos de la Teoría del Lugar Central (Christaller) y su ampliación (Lösch). Son usados ampliamente en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el campo de la geometría espacial (Montes, 2022), para el análisis territorial.

1.1.2. Teoría de Interacción Espacial

Sobre la importancia que el papel del espacio y la interacción espacial ha cobrado últimamente en las teorías de las ciencias sociales. En especial la teoría económica clásica en lo que denomina la "nueva geografía económica", cuyo máximo exponente es Krugaman. Además de que esta atención no se limita a la economía, sino también en otras ciencias sociales y el estudio de las relaciones internaciones, por mencionar algunas (Chasco, 2003).

Además de que las interacciones espaciales, los aspectos fundamentales de su comportamiento es su localización y distancia, dando lugar a una gran variedad de relaciones de interdependencia espacio-tiempo. Por lo tanto, las teorías de interacción espacial, los modelos de difusión y jerarquías se han formulado para expresar estas relaciones de dependencia existentes entre los diferentes puntos o regiones del espacio geográfico (Chasco, 2003).

Otro punto para resaltar es que las externalidades espaciales constituyen un fenómeno emergente en las ciencias sociales, como en la economía, a través de los modelos de interacción espacial que introducen relaciones de interdependencia entre los actores de un sistema, también puede observase en disciplinas como la sociología o la política, con el renacimiento de los estudios de la Escuela Sociológica de Chicago sobre los procesos de vecindad (Chasco, 2003).

Sobre la Teoría de la Interacción Espacial (TIE), su abordaje surge desde la geografía económica, en donde se han desarrollado diversas aproximaciones cognitivas que explican los fenómenos que ocurren en dos o más sitios separados por una determinada distancia geográfica, que pueden mantener relaciones de interacción y beneficio económico mutuo (Castro y Quintero, 2022).

Los fundamentos de análisis y explicación de la organización territorial, es la Teoría de la Interacción Espacial (TIE), que tiene como antecedente el principio gravitacional comercial elaborado por Reilly a principios de los años treinta. Dicha teoría intenta explicar el comportamiento espacial de consumidores y proveedores tanto de bienes como servicios, a partir de razonamientos fundamentados en la microeconomía sobre las relaciones de los costos de transporte, atractividad de unidades comerciales y la satisfacción de los consumidores (Garrocho, 2003).

Su fundamento central es que la magnitud de los flujos de consumidores que son atraídos a una unidad comerciales es inversamente proporcional a los costos de transporte que el consumidor absorbe para su acceso, y directamente proporcional a su atractividad resultante. Esto se traduce, en que la magnitud y dirección de los flujos de los consumidores y las decisiones de localización de los empresarios (ofertantes de bienes y servicios), depende sincrónicamente de la interacción de dos fuerzas opuestas: Los costos de transporte que absorbe el consumidor y la atractividad de las unidades comerciales (Garrocho, 2003).

Cruz y Lugo (2010), mencionan que una de las formas usadas tanto teórica como metodológicamente, para analizar los flujos entre los asentamientos ha sido el modelo simple de interacción espacial. Se apoya en conceptos básicos de la Teoría del Lugar Central, en donde los

flujos de los asentamientos humanos se encuentran relacionados positivamente con la centralidad de cada lugar y negativamente con la distancia que se encuentra, entre ellos.

Es importante mencionar a la centralidad como aquella en definir la importancia de cada lugar en el contexto del sistema de asentamientos. Tomando esta perspectiva, el análisis locazional básico requiere de los siguientes puntos (Cruz y Lugo, 2010):

- Evaluar la centralidad de los elementos para definir su jerarquía en un conjunto de asentamientos.
- Identificar los asentamientos que articulan cada sistema en función de sus interrelaciones funcionales, para tener una idea de la demanda a satisfacer de cada uno de los servicios y permita calcular su oferta.
- Analizar el área de influencia de los asentamientos y servicios para identificar los grupos de población que cuenten con los niveles más bajos de accesibilidad.

Es importante tener claro el concepto de centralidad, entendida como "la capacidad exportadora de bienes y servicios de cada localidad" (Garrocho, 1992, p.64; citado en Cruz y Lugo, 2010). Por lo que, a mayor centralidad de un lugar, mayor es su capacidad de atraer a la población que busca adquirir bienes y servicios. Impulsándose por la existencia de flujos y relaciones, siendo afectada por la distancia, dando sustento a los modelos de interacción espacial.

Al modelo se le pueden incorporar diversas mejoras y hacerse más complejo. Aunque con los elementos mínimos (población de localidades y distancia), es posible observar que dos unidades espaciales están positivamente relacionadas con la masa de cada una y negativamente relacionada con la distancia que les separa. Por lo que, con esta perspectiva se puede estudiar y analizar la conducta espacial de los consumidores como sus consecuencias con respecto a los patrones de localización tanto de unidades comerciales y servicios (Cruz y Lugo, 2010).

Por lo que la formulación del Modelo de Interacción Espacial es de la siguiente manera (Cruz y Lugo, 2010, p. 12):

$$F_{ij} = A_i O_i A_i W_i C_{ij}^{-b}$$

Donde:

F_{ij} = Flujo de consumidores de la zona de origen i de la unidad comercial j.
O_i = Número de consumidores potenciales de la zona de origen i.
W_j = Atractividad de cada unidad comercial.
C_{ij} = Costo de viajar a la zona i a la unidad comercial j.
A_i = Factor balance = $1/S_j\,(W_j\,C_{ij}^{-b})$
B = Parámetro que se define por calibración o tomando como referencia el comportamiento espacial observado de los consumidores.

Sobre el uso de los modelos de interacción especial, Sánchez (2016) señala que son usados para la caracterización de la estructura, funcionamiento, dinámica e interacciones de las ciudades. Además, que son representaciones ideales sintetizadas del movimiento o comunicación sobre el espacio de un proceso de decisión. Resalta que los flujos son causados por fuerzas centrífugas y centrípetas, originadas por algunos factores como: oferta y demanda de bienes y servicios, disponibilidad y calidad de la infraestructura, tiempo y costos de traslado, conectividad, etcétera. Aplican supuestos descriptivos-deterministas y entre ellos el gravitatorio de W.J. Reilly (1931), inspirado en la Ley de Gravitación Universal de Isaac Newton (Celemín, 2016).

Los modelos gravitacionales se estiman a partir de datos empíricos, fundamentados en la dinámica de dos variables: una variable "masa" o de atracción, puede definirse como la población de las localidades que se atraen; y la variable "fricción", definida como la distancia o tiempo de viaje entre las localidades de atracción (Celemín, 2016).

Observando que la interacción considera la configuración de un espacio relacional, tomando en consideración las ubicaciones, distancias y flujos horizontales sobre el espacio geográfico como elementos fundamentales. Resaltando el concepto de accesibilidad, como eje básico para intentar medir de forma completa la estructura del espacio geográfico a través de la funcionalidad. Puede ser medida a partir de realizar diferentes cálculos sobre la red de circulación o el empleo de los modelos derivados de la física social (Celemín, 2016).

Un aspecto por resaltar de estos modelos es que toman en cuenta las relaciones funcionales con indicadores de flujo de distintos tipos agrupados de cierta forma en económico-social, respecto a las distintas actividades que suceden en una ciudad, formando interconexiones entre los centros

urbanos que operan en las cadenadas de valor. Dichas conexiones son la razón de ser de las ciudades, ya que no pueden concebirse de manera aislada (Sánchez, 2016).

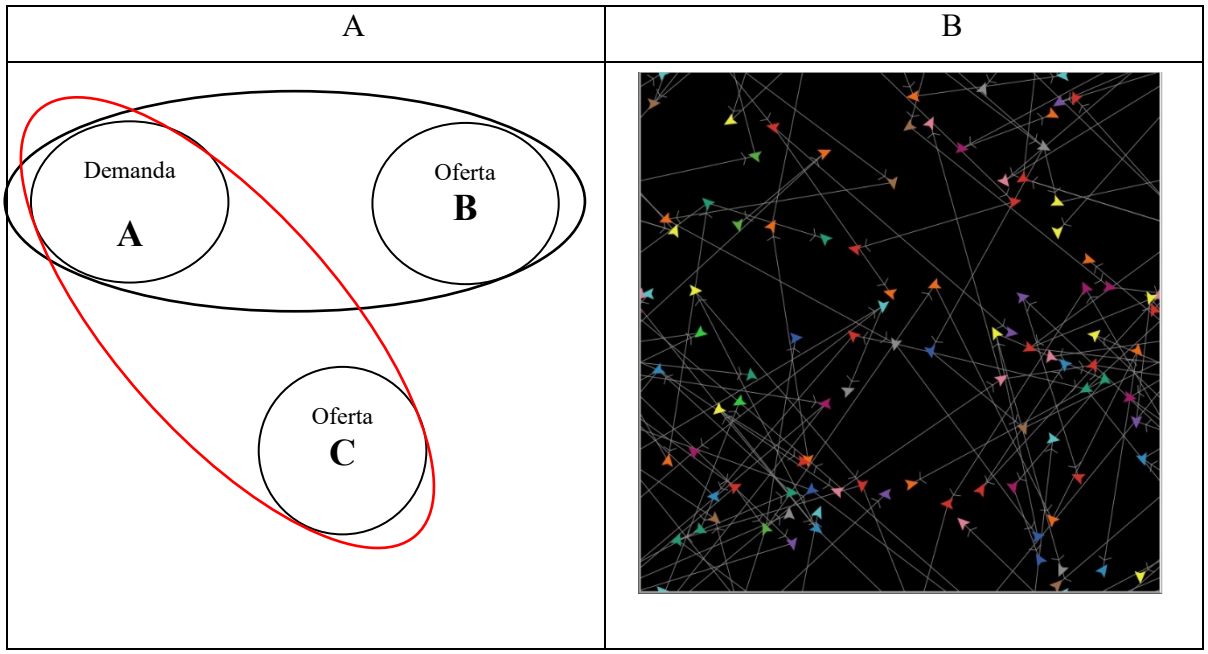
Desde esta perspectiva, para realizar un estudio de localización, deben de existir tres elementos: 1. El objeto que genera la atracción conformada por los productos o servicios que permanecen localizados en un espacio geográfico determinado; 2. El objeto atraído, entendido como el comprador quien posee la cualidad de poder desplazarse; y 3. El grado de atracción generado entre ambos y que es afectado por factores de la oferta, demanda y de su entorno (Álvarez y Carrillo, 2020; Castro y Quintero, 2022).

El enfoque económico, considera los factores que influyen en la decisión de visita de los usuarios a un punto de venta y son: la distancia geográfica o temporal y la utilidad o beneficio esperado. Justificando el comportamiento espacial del comprador se rige por el principio del mínimo esfuerzo y maximizar su utilidad. Los elementos que intervienen en la adquisición son: el precio de venta, los costos psicológicos, el esfuerzo de la búsqueda de información, el desplazamiento y el tiempo invertido. Por lo tanto, la TIE intenta explicar el comportamiento espacial de los consumidores para adquirir un bien o servicio (Álvarez y Carrillo, 2020).

Considera al espacio de manera heterotópico, al referirse que no posee las mismas características en todos los sitios y direcciones. Lo que supone el efecto de la separación entre dos fenómenos es negativo, lo que contribuye al aumento de la fricción de la distancia, entendida como la energía, tiempo, dinero o esfuerzo que debe invertirse en superar una distancia geográfica que separa a los sitios de oferta y demanda, por lo que a mayor fricción se impide la adecuada interacción de los nodos (Castro y Quintero, 2022).

Se resaltan tres conceptos para explicar la interacción espacial existente entre dos centros de la actividad humana (Figura 3): 1. Complementariedad, se refiere a la necesidad de una relación de oferta-demanda para detonar la interacción entre dos centros de actividad; 2. Oportunidad de intervención, referida a la posibilidad de integración de otros elementos en la dinámica oferta-demanda establecida por dos centros de actividad; y 3. Transferibilidad, expresada como la asociación a los costos y el esfuerzo que se interviene en superar la distancia que separa los puntos de oferta-demanda (Castro y Quintero, 2022).

Figura 3. Teoría de Interacción Espacial (TIE)



Fuente: Elaboración propia con base en Castro y Quintero (2022, p.70) y NetLogo.

(A) Representación teórica
(B) Representación computacional

Por lo que se puede concebir de manera sencilla, como aquella que "se basa en la hipótesis de que lo que ocurre en un lugar no es ajeno a lo que se produce en otro" (Buzai, 2020, p.5).

1.2. Principios de la organización urbana actual

Respecto a la organización de la estructura urbana Camagni (2005) señala cinco grandes principios, que se encuentran relacionados con algunos modelos históricos de la economía urbana, permitiendo comprender la naturaleza, estructura y las leyes de movimiento de la ciudad. Para ello partimos de la concepción de "ciudad", misma para esta investigación se aborda su definición desde el enfoque sistémico; ya que la "ciudad constituye el polo de un sistema de relaciones que afectan al espacio global, como un sistema complejo de relaciones internas ente los elementos o partes individuales, que constituyen tanto las leyes de su funcionamiento y características estructurales" (Camagni, 2005: p.13).

Es abordada desde una perspectiva de un espacio relacional, en donde la "ciudad" se presenta como un lugar privilegiado en tres importantes acepciones: 1. Espacio de localización de actividades específicas; 2. Espacio de control sobre la división del trabajo social; y 3. Espacio sobe la distribución de la renta (Camagni, 2005).

Camagni (2005) reporta los siguientes principios:

- Principio de aglomeración o de sinergia, el cuál responde a la pregunta de ¿por qué existe la ciudad?;
- Principio de accesibilidad o de competencia espacial, investiga sobre las formas en las que se localizan las diversas actividades, residenciales y productivas, que compiten por el espacio urbano;
- Principio de interacción espacial o de la demanda de movilidad y de contactos, se pregunta sobre las relaciones que se establece entre las distintas partes de la ciudad y sus actividades;
- Principio de jerarquía o de orden de las ciudades, investiga sobre las leyes de organización del espacio urbano, tanto en la dimensión y localización de los distintos centros; y
- Principio de competitividad o de la base de exportación, muestra las condiciones y las modalidades de desarrollo de las ciudades.

Estos principios dan explicación al por qué las actividades y población se aglomeran en las ciudades, en entender la forma en que se localizan las diversas actividades económicas, las relaciones que se presentan dentro y fuera de la ciudad o la formación de redes de ciudades, la organización del espacio urbano; y las condiciones de desarrollo de las ciudades. (Camagni, 2005)

Esta perspectiva coincide con De Mattos (2010), al considerar estos elementos que intervienen en el patrón de urbanización, determinan una estructura espacial específica; en la cual surgen espacios denominados red, así como procesos de desconcentración y descentralización ya sea de actividades económicas como de funciones administrativas; mientras que por otro lado se da una concentración de actividades y de funciones administrativas generando clúster o grupos de concentración, dando pie a nuevas centralidades.

Debido a estos procesos surge una morfología urbana modelada por los procesos de "periurbanización" y por el surgimiento de nuevos polos de desarrollo, generado por los diversos flujos que se desarrollan dentro de la ciudad. Ya que como señala De Mattos (2010) los efectos entrelazados de un nuevo sistema tecnológico articulado en torno a las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y de la generalizada aplicación de una concepción de gestión pública -y, en particular, de política económica- basada en la liberalización y la desregulación, prácticamente en el mundo entero comenzó a cobrar impulso una dinámica económica.

Se observa que este tipo de dinámicas que determina el desarrollo y transformación de la estructura urbana; deja ciertos cuestionamientos como nuevos desafíos, y el planteamiento de nuevas cuestiones urbanas, en materia de desarrollo de teorías. Así como el planteamiento de una disyuntiva en la comprensión de los procesos urbanos, donde se debe abordar desde una perspectiva como categoría de análisis para la teoría social o como categoría política.

Con relación a las dinámicas y procesos territoriales relacionados con la metropolización, Valenzuela et al. (2012) señala que se presenta una tendencia decreciente en los últimos 30 años en el contiene europeo, llevado consigo numerosos costos de carácter urbanístico, ambiental y social. Por lo que es necesario entender la forma en la que se realizó la ocupación de suelo con funciones urbanas puede ser un factor determinante a la hora de diagnosticar con mayor precisión los problemas que se derivan.

Para ello Valenzuela et al. (2012), realizan la identificación de posibles patrones de ocupación de suelo, basados en los siguientes criterios:

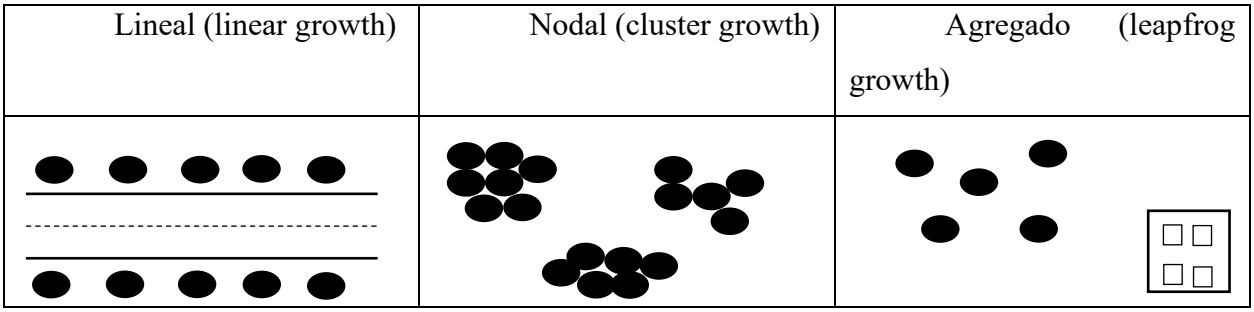
- Accesibilidad: entendida como capacidad de acceso en tiempo a las principales redes de infraestructuras de transporte y movilidad.
- Contigüidad espacial: tiene en cuenta la proximidad de las nuevas ocupaciones de suelo a núcleos urbanos ya existentes.

- Compacidad: relaciona directamente con la forma en que se producen las nuevas ocupaciones de suelo con funciones urbanas (formas circulares, valores más alto de compacidad en relaciona aquellas que presentan una morfología lineal).

De acuerdo con Valenzuela et al. (2012) y Santos et al. (2012b), lo anterior da pauta a patrones morfológicos primarios de ocupación del suelo como son (Figura 4):

- Agregado (leapfrog growth): corresponde con las formas de crecimiento urbano tradicional mediante crecimientos adyacentes al núcleo consolidado.
- Lineal (linear growth): identifica formas de ocupación urbana que tienden de manera preferente a ocupar los espacios circundantes a las vías de comunicación.
- Nodal (cluster growth): explica la ocupación de suelo que tiene lugar junto a los principales nodos de comunicación, dando pauta a un crecimiento urbano compacto y continuo.
- Urbanización: explica la formación de estructuras urbanas con una función preferentemente residencial, fuertemente caracterizada por el predominio de viviendas unifamiliares, bajas densidades de ocupación y escasa diversidad urbana.

Figura 4. Principales patrones del crecimiento disperso conforme a Harvey y Clark, 1971



Furnte: Santos et al., 2012b, p.97.

1.2.1. Claves del proceso de urbanización actual – expansión urbana

Como punto de partida el planteamiento realizado por Pacione (2005:112) sobre la importancia de las ciudades, ya que "son parte de un complejo sistema de interrelaciones urbanas, y elementos importantes en la economía, en la sociedad y en la organización política de regiones y naciones". La urbanización es un reflejo de las modalidades del proceso de producción, de ahí

su vínculo con el desarrollo económico, por lo que expresa una relación reflejada en la dinámica del crecimiento de las ciudades y su configuración.

Por su parte, Molita et al. (2013), menciona que el crecimiento de las ciudades, más allá de sus límites tradiciones, es un fenómeno que se ha acelerado recientemente, dando pauta a la formación de ciudades extendidas, en contraposición a las ciudades compactas. Se ha generado de manera espontánea y anárquica, en ocasiones sin planificación alguna, provocando el agotamiento de la capacidad de soporte de las ciudades y la ocupación de tierras no aptas para la urbanización, agotando el recurso suelo, útil pata el sustento de generaciones futuras.

Se debe tener claro que la noción de Sistema Urbano Nacional, "se refiere a un conjunto de pueblos y ciudades que se unen de tal manera que cualquier cambio importante en la población, la vitalidad económica, empleo o prestación de servicio de uno tendrá repercusiones para los otros lugares" (Pacione, 2005:112). Tal cambio presenta una relación con dinámicas globales, las cuales señala Zárate (2012) que son cambios en lo económico, social, tecnológico, cultural y político. Al conocer tales cambios se puede dar explicación a la forma urbana, el funcionamiento y uso de la ciudad.

Un elemento que resaltar de la dinámica urbana contemporánea es una estructura urbana, la cual denomina Cuervo (2012) como *ciudad difusa o ciudad sin centro*, "como una región urbana organizada alrededor de los fragmentos desparramados de la explosión del centro" (De Mattos, 2010: 265), donde se cambia la escala de las dinámicas urbanas, dando paso a una reconfiguración de la estructura urbana. Por otro lado, algunos autores han acogido la tesis con entusiasmo, otros con mayor cautela y en un buen número de casos ha dado lugar a la revisión detallada de sus componentes sin la posibilidad de suscribirla de forma completa y contundente (Cuervo, 2012).

Cuervo (2012) menciona que la "ciudad" debe de entenderse como acuerdo entre pares para objetos de interés común, misma que aparece como reguladora de la sociabilidad humana, sus relaciones y de su capacidad de ser prósperos y felices, y añade que las ciudades han sido los puntos de contacto privilegiados entre comunidades múltiples y diversas.

Brenner (2013) señala que una de las consecuencias de estas nuevas estructuras, es que las regiones metropolitanas se unen y forman conglomerados aún mayores, como parte de un proceso que podría denominarse *urbanización regional extendida*. Observa que el centro metropolitano histórico se desplaza hacia afuera creando nuevas densidades urbanas y nuevas ciudades "periféricas", donde las regiones metropolitanas generan nuevos *policentrismos*; a su vez que estas regiones urbanas se unen y forman nuevos conglomerados.

Donde los procesos de transformación urbana y su escala de representación, debe contribuir a crear las condiciones que eviten esta dinámica (urbanización regional extendida). Requiriendo avanzar en la línea de tener cada vez más adecuada la regulación de la ordenación del territorio. Así como precisar un diseño, planeamiento y estrategia colectiva que deben ser tanto sociales y económicos como ambientales y urbanísticos, para la comprensión y medición de las configuraciones urbanas.

1.2.2. Estructuras territoriales derivadas del proceso de expansión urbana

El comportamiento de la dinámica urbana ha sido reportado en diversos estudios, dando pauta a la generación de conceptos como: megalópolis realizada por Gottmann en 1961, metroplex por Meltzer en 1984, y más recientemente regiones urbanas policéntricas por Champion en 2001 (Sobrino, 2012). La función de tales conceptos es explicar las dinámicas actuales de urbanización e incorporar elementos claves para su comprensión y definir de manera precisa su configuración.

Para la comprensión del proceso de urbanización en México, Unikel (1978) dice que debe de hacer una distinción sobre los conceptos de "áreas urbanas" y "zonas metropolitanas", del modo más apegado a la realidad geográfica, ecológica, socioeconómica y demográfica de lo que se denomina ciudad.

Unikel (1978, p.116) afirma que el "el área urbana es la ciudad misma, más el área contigua edificada, habitada o urbanizada con usos del suelo de naturaleza no-agrícola y que, partiendo de un núcleo, presenta continuidad física en todas direcciones hasta que sea interrumpida en forma notoria por terrenos de uso no-urbano como bosques, sembradíos o cuerpos de agua".

Por otro lado, la "zona o área metropolitana se define, en términos generales, como la extensión territorial que incluye a la unidad político-administrativa que contiene a la ciudad central, y a las unidades político-administrativas contiguas a ésta que tienen características urbanas, tales como sitios de trabajo o lugares de residencia de trabajadores dedicados a actividades no-agrícolas, y que mantienen una interrelación socioeconómica directa, constante e intensa con la ciudad central, y viceversa" (Unikel, 1978, p.118).

Por su parte, Unikel (1978) reporta, que la zona metropolitana se distingue del área urbana en cuanto a su límite constituye una envolvente de la segunda y su forma más regular. La población de la primera es ligeramente mayor. En relación con su superficie, puede ser bastante mayor, ya que depende del tamaño de los municipios.

Ambas manifestaciones territoriales, agrega Unikel (1978), son resultantes de la concentración y expansión del dominio socioeconómico y político que ejerce el núcleo urbano central hacia su periferia contigua y, por la falta de la capacidad o de posibilidades de abastecerse de los bienes y servicios necesarios para mantener un determinado nivel de desarrollo.

Por otra parte, Santos et al. (2012a) se apoya del concepto urban sprawl o ciudad dispersa, para comprender el proceso de expansión urbana actual. Además, resalta la utilización de varios conceptos para describir los procesos urbanos contemporáneos, en las que destaca lo que denomina como Post-metropolitano o ciudad post-industrial, que son aquellas que ponen el acento en la condición de ser espacios sucesores de otros preexistentes.

Identificando distintas denominaciones como autores, entre las que destacan (Santos, 2012a, p.21):

- Ciudad región, región urbana. Aquellas que ponen de relieve el carácter supramunicipal y supermetropolitano de las nuevas formaciones espaciales.
- Edge city, perimeter cities, peripheral center, etc. Señalan el carácter colonizador de territorios.

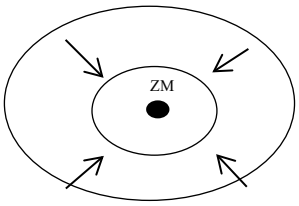
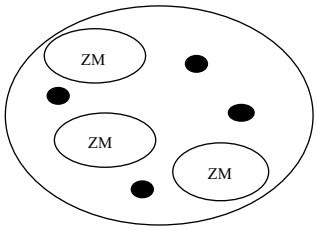
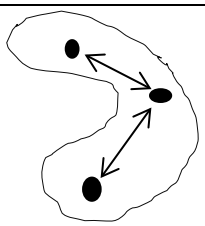
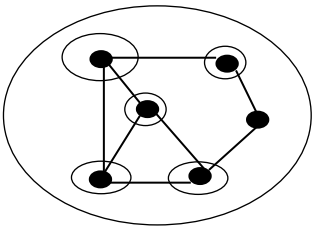
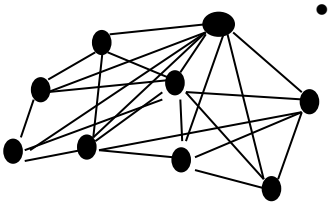
- Technosuburb, galactic city, tomorrow land, ciudad informacional, etc. Se trata de enfatizar la innovación tecnológica como aspecto central, al destacar los espacios suburbanos con equipamiento técnico y terciario.
- Disurb, superurbia, etc. Se identifican por las aportaciones que destacan la dispersión y fragmentación como rasgo fundamental y distintivo de la urbanización actual.
- Service city. Las que subrayan las diferencias en la base económica y productiva.
- Ciudad archipiélago, etc. Las que ponen el acento en determinados aspectos sociales, en la línea de destacar el tipo de vida aislada que generan.
- Urban villages, suburban downtowns, suburban activity centres, majar diversified centres, etc. Se refieran a aspectos muy variados y dispares que suscitan menor interés.

Entre las acepciones mencionados Santos et al. (2012a, p. 22), resalta el concepto de metápolis definida por Ascher en 1995, misma que destaca dentro de la actual realidad urbana, aquellos fenómenos que, sobrepasando la escala metropolitana, se desligan de cualquier soporte territorial para basar su existencia en redes de interconexión, compuesta por transportes visibles y medios de comunicación invisibles.

Otro concepto para destacar, de acuerdo con Santos et al. (2012a), para reflejar la realidad norteamericana, es edge city. Acuñado por Garreau en 1991, donde el concepto trata de mostrar la realidad de los suburbios actuales de Estados Unidos, destacando su ubicación excepcionalmente lejana de los centros urbanos, la mezcla de la función residencial con el trabajo de oficinas y una extrema dispersión. Estas se emplazan muy lejos del centro tradición de la ciudad, en áreas fronterizas entre los límites de lo rural y lo urbano, y siempre cerca de alguna gran arteria de comunicación.

Por lo tanto, se pueden distinguir para el caso de la Megalópolis del Centro de México y otras zonas metropolitanas del país, tomando de base los conceptos analizados con anterioridad, las siguientes estructuras territoriales aplicables a una escala regional o metropolitana como se puede observar en la Figura 5:

Figura 5. Esquemas de estructura territorial en regiones

	Tipos territoriales		Patrón
1	Nodo o polo central		• Concentración / centralización
2	Región urbana		• Estructura intermedia de descentralización concentrada con base en polos
3	Corredor regional		• Estructura intermedia de difusión y descentralización
4	Policentrismo		• Descentralización media en centros de actividad auto organizados
5	Red urbana		• Descentralización urbana organizada por la sobreposición de relaciones funcionales

Fuente: Vazquez, 2016, p. 50.

1.2.3. Crecimiento y expansión urbana

Durante los años ochenta del siglo pasado, por parte de los urbanistas menciona Santos et al. (2012a), dieron pauta a un nuevo modelo de organización de la ciudad, consecuente con la nueva lógica espacial emergente. Ello resultado del paso de un modelo de producción económica fordista a un modelo de producción flexible, basado en flujos o redes de conexión, dando lugar a una forma de ciudad depredadora del territorio.

La construcción del espacio urbanizado contemporáneo de la ciudad dispersa, desde un punto de vista físico y urbanístico, se detectan los siguientes síntomas menciona Gaja i Diaz, 2004 (Citado en Santos et al., 2012a, p.33):

- Un creciente consumo de suelo, sin crecimiento demográfico.
- La constitución de estructuras policéntricas, reticuladas o malladas, superando las antiguas estructuras metropolitanas monocéntricas o con un núcleo principal.
- La primacía del espacio de las comunicaciones.
- La aparición de una nueva periferia, con abundante empleo terciario, e incluso cuaternario, frente a la tradicional periferia metropolitana, inicialmente sólo industrial, y después residencial y comercial.
- La especialización extrema de las grandes piezas del mosaico que conforman las regiones urbanas.
- La difuminación de los límites ciudad-campo.
- La pérdida de densidad, de la interacción funcional y de la continuidad espacial.
- La transformación de los macroespacios industriales y sustitución por nuevos modelos de asentamientos industriales dispersos, deslocalizados, pero integrados jerárquicamente en red.

Por lo que, el modelo de la ciudad dispersa conduce a una notable fragmentación y complejidad espacial, aunque internamente las piezas presentan una extrema simplicidad y homogeneidad. Haciendo que el espacio de la periferia no sea ya un espacio fácilmente identificable en la misma medida que lo era anteriormente (Santos et al., 2012a).

Por lo que Miyazaki y Shibaki (2018), mencionan que la expansión urbana es un problema global importante para el desarrollo sostenible. Por lo que el monitoreo de la formación urbana es necesario para el control del desarrollo urbano y los temas que se le relacionan, como la gestión del riesgo de desastres, salud pública, transporte y seguridad alimentaria. Resaltando una problemática, debido a que los datos geográficos de desarrollo urbano, como lo son mapas topográficos y de infraestructura, rara vez son asequibles en los países de ingresos más bajos, por lo que es necesario con urgencia métodos innovadores para desarrollar dichos datos.

Por su parte Vilela y Moschella (2017) distinguen que, a nivel mundial, la población que vive en áreas urbanas aumenta aceleradamente y las tendencias indican que el mayor crecimiento demográfico en las próximas décadas se centrará en las zonas urbanas de los países desarrollados. Mismo que se presenta de forma dispersa, denominado también como “ciudad difusa”, originado por las innovaciones en transporte y comunicación a partir del siglo XIX, permitiendo la fácil localización de las actividades en la periferia donde se tiene acceso a suelos de bajo costo.

El proceso de expansión urbana es constante en todo el perímetro de las ciudades, iniciando con la ocupación de forma dispersa y poco a poco densificándose hasta que las zonas urbanas periféricas terminan incorporándose a la mancha urbana central. El proceso de crecimiento urbano latinoamericano se caracteriza por ser: acelerado, desordenado y anárquico, generando problemas como desequilibrios regionales, redes urbanas desequilibradas, urbanización periférica, marginalidad, subempleo, carencia de servicios, reducción de la calidad ambiental y alteración de ecosistemas frágiles (Vilela y Moschella, 2017).

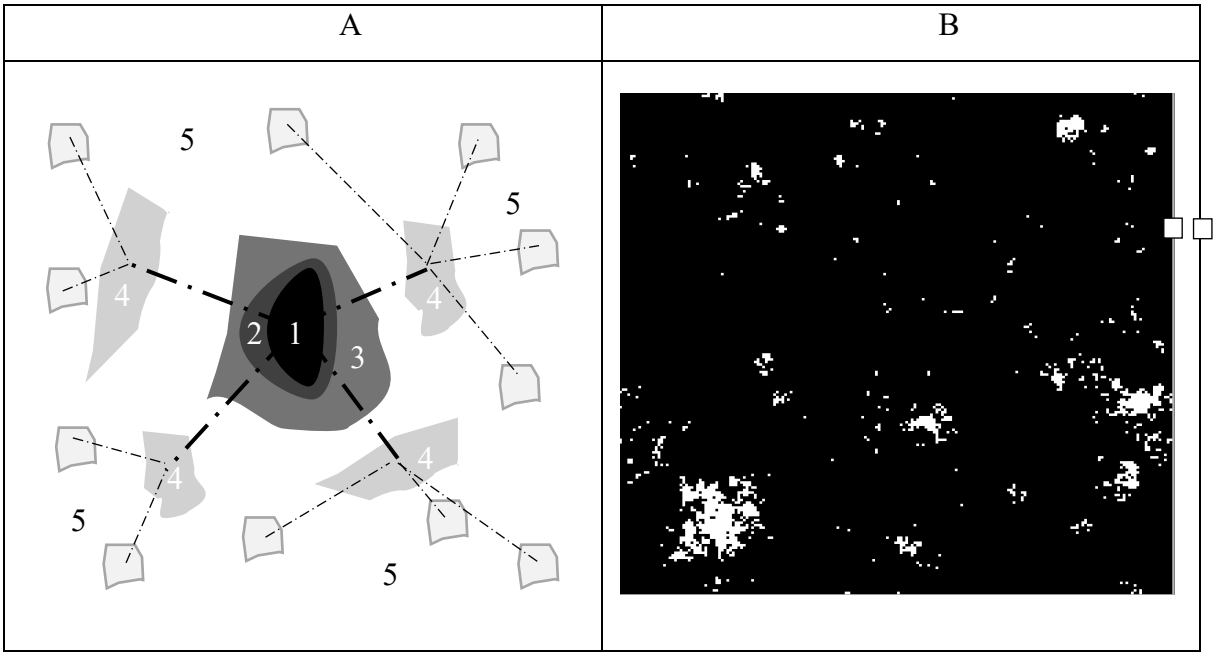
Corona (2016), señala que la expansión urbana se encuentra tomando una nueva forma, distinguiendo que la tasa de crecimiento de las grandes ciudades disminuye, la concentración económica se mantiene y la incorporación de municipios contiguos continúa. Distinguiendo a la metrópoli de hoy se caracteriza como un espacio fragmentado por los procesos productivos, lo que favorece el establecimiento de la población y de los servicios en zonas periféricas.

Sobre el proceso de expansión urbana, Corona (2016) dice que es un fenómeno complejo que obedece a la interacción de múltiples factores. Reflejándose el crecimiento de una ciudad se puede dar en un sentido espacial y demográfico, señalando que el uso de modelos predictivos de

su crecimiento, es posible evaluar el impacto de la tendencia de avance de la mancha urbana puede tener sobre una determinada región.

Con relación al proceso de expansión urbana Carneiro et al. (2019), mencionan que tiene varias definiciones, en las que destaca alguna característica relacionada con la morfología, densidad y distribución de las actividades sociales y económicas de la ciudad. Para ello se poyan del concepto de Nadalin e Igliori en 2015, donde lo definen como un crecimiento urbano desconcentrado, no denso, que deja vacíos dentro de la mancha urbana (Figura 6).

Figura 6. Modelo de expansión urbana o ciudad difusa



Fuente: Elaboración propia con base Santos et al., (2012a); Vilela y Moschella, 2017; Corona, 2016; Carneiro et al., 2019, y NetLogo.

1. Centro histórico, 2. Primer momento de crecimiento, 3. Crecimiento compacto, 4. Subcentros suburbanos, 5. Crecimiento disperso.

(A) Representación teórica
(B) Representación computacional

Este tipo de expansión ocurre por la necesidad de vivienda de la población económicamente desfavorecida, que, al no poder afrontar el costo en zonas centrales, busca ubicaciones alejadas, lo que alimenta el proceso de expansión. Haciendo la distinción del papel de

las políticas de vivienda popular, que aún con recursos públicos, en gran medida también busca terrenos en zonas alejadas con poca infraestructura, derivado de su costo, y contribuyendo al proceso de expansión urbana. (Carneiro et al., 2019)

Finalmente, Carneiro et al. (2019), reporta que es una característica común en las economías emergentes y en desarrollo es la *periferización*. Por lo que los residentes de la periferia tienden a dedicar más tiempo a los desplazamientos esenciales (casa-trabajo y casa-estudio) y tienen menor acceso a la infraestructura urbana. En términos sociales, el problema es relevante, ya que se configura en las dimensiones de desigualdad, social y espacial.

1.3. Sostenibilidad urbana y su perspectiva multidimensional

Vilela y Moschella (2017), mencionan que, de acuerdo con los principios del desarrollo urbano sostenible, este busca lograr una gestión eficiente de los usos del suelo. Así como, el enfoque de sostenibilidad implica además el reconocimiento de la ciudad como parte de un sistema dinámico relacionando con su entorno, donde se debe de evaluar la importancia de proteger a los espacios naturales, por el valor de los servicios ambientales que proveen a los ciudadanos.

Y añade que la situación de las ciudades intermedias menores se complejiza aún más; por la necesidad de facilitar el acceso a la vivienda adecuada, además de que es importante gestionar y minimizar los impactos ambientales que el crecimiento puede generar derivado del proceso de expansión urbana.

Tomando como base los diferentes marcos globales que atienden los retos de las ciudades del mundo, desde el enfoque de la sostenibilidad y mediante un análisis multidimensional, es importante tener claro a qué se refiere este concepto, partiendo de la definición de *desarrollo sostenible*, introducido en 1987 en el Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, definiéndolo como “Satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias” (ONU, 1987, p.23).

Atendiendo los retos que enfrentan las ciudades y sus distintas dimensiones de análisis, es fundamental su estudio desde el enfoque del desarrollo sostenible para una mejor comprensión de

los procesos urbanos. En tal sentido, es importante considerar los grandes acuerdos mundiales sobre el medio ambiente, entre los que destacan según Edwards y Hyett (2004, p. XII): El Libro Verde sobre el Medio Ambiente Urbano publicado en 1990; La Cumbre de la Tierra realizada en Río de Janeiro en 1992; La Conferencia Hábitat realizada en 1996; La Conferencia de Kioto sobre el Calentamiento Global celebrado en 1996, y la Conferencia de la Haya sobre el Cambio Climático en el año 2000. Estos grandes acuerdos establecen acciones para el cuidado y conservación del medio ambiente, cuyas metas se han cumplido en mayor o menor medida por distintos países del mundo, con base a sus propias capacidades económicas, tecnológicas, políticas y sociales.

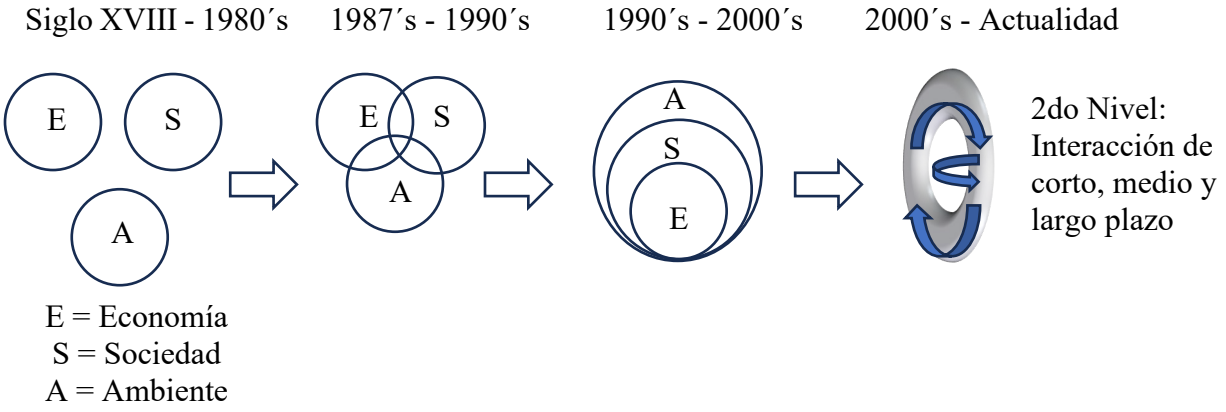
En lo que va del siglo XXI, destacan La Agenda 2030 y la Nueva Agenda Urbana (NU y CEPAL, 2018; NU,2017), la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21), así como la undécima sesión de la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes del Protocolo de Kioto (COP-MOP11) (MITECO, 2021); se toman como ejes rectores para la búsqueda de la sostenibilidad ambiental, considerando sus dimensiones ya sea estableciendo metas, acciones y estrategias a desarrollar a corto, mediano y largo plazo. En este sentido la comunidad científica internacional ha propuesto herramientas de evaluación y guías metodológicas basadas en indicadores que miden, monitorean y evalúan el progreso de las ciudades hacia la sostenibilidad (Ortiz y Quesada, 2022).

El abordaje de la sostenibilidad y su evolución se observa en la Figura 7, durante el periodo que va del siglo XVIII a la década de1980, consideraba al sistema económico, social y ambiental, como elementos distanciados y sin relación aparente; para el periodo de 1987-1990, cambia y se observan relaciones entre estas. En la década de 1990 al 2000 se entendía que se alcanzaba con la combinación de ellas. Para los años 2000, se ha incorporado una cuarta dimensión, el “tiempo”, ya que las acciones tienen un impacto a corto, mediano y largo plazo (Prieto-Sandoval, et al., 2017).

La *sostenibilidad*, tomado el enfoque multidimensional para su análisis, se usó la definición realizada por el Ministerio de Vivienda del Gobierno de España (2014), expresa lo siguiente: “Tiene que ver con los costos ambientales y sociales del metabolismo de la sociedad y los límites

admisibles por el planeta y por la propia sociedad" (p.11). La combinación del tanto del concepto de *desarrollo sostenible* como de la *sostenibilidad* da pauta a lo que se define como una *Ciudad Sostenible* y con un carácter multidimensional.

Figura 7. Evolución del concepto de desarrollo sostenible



Fuente: Prieto-Sandoval et al., 2017, p. 89

Por lo que, se observa un adecuado uso de la conceptualización realizada por el BID, que la concibe como "aquella que ofrece una adecuada calidad de vida a sus ciudadanos, minimiza sus impactos al medio natural, preserva sus activos ambientales y físicos para generaciones futuras, y promueve el desarrollo económico y la competitividad. De la misma manera, cuenta con un gobierno con capacidad fiscal y administrativa para llevar a cabo sus funciones urbanas con la participación de la ciudadanía" (BID, 2016a, p.17).

1.3.1. Antecedentes del desarrollo sostenible

Sobre la idea de sostenibilidad menciona García y Vergara (2000), no ha sido extraña al hombre, ya que numerosas civilizaciones han introducido la necesidad de preservar los recursos para las generaciones futuras. Ya sea desde cantos que exaltan la conservación de la naturaleza y sus consecuencias de la ruptura con la trama de vida. Como periodos históricos, tal es el caso de la edad media, en donde era común el aprovechamiento comunitario de los bosques, por mencionar algunas actividades.

Además de autores clásicos, mencionando el establecimiento de límites a la explotación de los recursos naturales, remarcando los antecedentes históricos de la sostenibilidad, el que sobresale es la llamada de atención del Primer Informe del Club de Roma, sobre la inviabilidad del crecimiento económico continuo. En 1971 tras la publicación del informe "Los límites del crecimiento", da pauta al concepto de ecodesarrollo, propuesto por Maurice Strong, el concepto apunta a objetivos sociales de redistribución de la riqueza, la aceptación de límites ecológicos. (García y Vergara, 2000).

El concepto de desarrollo sostenible, "su raíz latina proviene de sustinere que significa ⟪sostener, mantener, sustentar⟫, aunque la influencia del vocablo inglés sustainable añade a estos significados como ⟪soportar y tolerar⟫, de ahí se haya impuesto el epíteto de ⟪sostenible⟫, en lugar de ⟪sustentable⟫" (García y Vergara, 2000, p. 474).

Por lo que la ambigüedad de la noción de desarrollo sostenible reside en que, al mismo tiempo se acepta la existencia de límites a los modos de vida que no sean compatibles con los principios ecológicos, se mantiene la creencia en el crecimiento o desarrollo para satisfacer las necesidades humanas. En donde se añade el concepto de necesidades, en donde a raíz de su divulgación mundial, de pauta a un conjunto de interpretaciones contrapuestas (García y Vergara, 2000).

Otro elemento para resaltar en el concepto de *sostenibilidad* es el desarrollo de dos versiones de este: sostenibilidad débil y sostenibilidad fuerte. La primer se ubica dentro del paradigma de la economía estándar, mientras que el segundo se formula por un puñado de economistas heterodoxos, vinculados a disciplinas como la termodinámica y la ecología. La sostenibilidad débil, puede definirse como la viabilidad de un sistema socioeconómico en el tiempo. En contra parte, la sostenibilidad fuerte se concibe como la viabilidad de la relación que mantiene un sistema socioeconómico con un ecosistema (García y Vergara, 2000).

Por lo que el abordaje de la sostenibilidad desde una perspectiva de la sostenibilidad fuerte como un ideal, debe concebirse o analizarse desde una perspectiva transdisciplinar y de tal manera que se justifique su uso tanto en ámbito social como económico (García y Vergara, 2000).

Otro aspecto que considerar es que ni el concepto de sostenibilidad, como el de desarrollo sostenible, cuentan con un consenso global, aunque se encuentra muy desarrollada la discusión sobre sus componentes. Este tema no es menor, ya que se debe tener claro a qué se refiere para el desarrollo e implantación de indicadores de desarrollo sostenible o sostenibilidad ambiental. Derivado en cuestionamiento principal, qué cosa es lo que se quiere sustentar en el tiempo. Observando a la mayoría de los expertos inclinarse a pensar en sustentar el estilo de desarrollo basado en el crecimiento económico (Quiroga, 2001).

Sobre la idea de sostenibilidad, Mokate (2001) dice que, ha sido un criterio de moda desde el auge del pensamiento ambientalista de los años sesenta, dando pauta a discernir su compatibilidad de diversas iniciativas asociadas con el crecimiento y el desarrollo con los cambios físicos y biológicos. Posteriormente, surge una nueva dimensión, referida a la necesidad de contar con el apoyo continuo de determinados actores de poder para que una estrategia o iniciativa pueda mantenerse en el tiempo. En los años ochenta esta visión cambia, por la crisis económica y deuda; incorporando un nuevo elemento de preocupación de la sostenibilidad, que fue la capacidad de mantener un adecuado flujo de recursos financieros para garantizar la continuidad de efectos (visión financiera).

Observando que la sostenibilidad tiene múltiples dimensiones, desarrollada en las últimas décadas, se han enfatizado en alguna de las distintas perspectivas. Como resultado, el uso de este concepto puede evocar ideas e imágenes distintas entre los individuos. La raíz de su definición señala que la palabra sostener significa “sustentar, mantener firme una cosa” (Mokate, 2001).

Sobre la ambigüedad de la definición de sostenibilidad, tomando como base sus diferentes interpretaciones Mokate (2001), menciona una forma útil de su clasificación en relación con su unidad de análisis: 1. Un grupo de conceptualizaciones y definiciones orientadas a una unidad de análisis al modelode macro o que toma como elementos al consumo, crecimiento y desarrollo de la sociedad o de sus grupos dominates; 2. Orientadas a la unidad de análisis mirco -procesos, programas o proyectos-.

Sobre la concepción de sostenibilidad y desarrollo sostenible, se observa que es abordada desde una manera ambigua y controversial en la literatura enfocada en su estudio. Por lo que, es

necesario su abordaje desde una perspectiva sistémica, con la finalidad de extraer sus elementos más sobresalientes (Gallopín, 2003).

En donde es cada vez más evidente la búsqueda de la sostenibilidad y el desarrollo sostenible, exige integrar un conjunto de factores tanto naturales como antropogénicos. Lo que requiere la articulación constructiva de los criterios que abordan, exigiendo tener en cuenta al mismo tiempo tanto aspectos locales y globales, como su interrelación (Gallopín, 2003).

Sobre la definición de sostenibilidad es necesario no confundirla con inmovilidad. Aunque en algunas definiciones se le conciba como el mantenimiento de un estado del sistema en un valor fijo, por lo que no es científicamente correcto. Considerando que todos los sistemas vivos son cambiantes y lo fundamental no es la eliminación de cambios, sino evitar la destrucción de sus fuentes de renovación, de las cuales puede recuperarse de sus tensiones y perturbaciones las que se encuentra expuesto (Gallopín, 2003).

Es importante tener en claro, las diferencias entre desarrollo sostenible y sostenibilidad, en el sentido que la palabra “desarrollo” infiere a la idea de cambio, ya sea gradual y direccional. Sin embargo, el desarrollo no significa necesariamente crecimiento cuantitativo, sino que se asemeja más bien al concepto de despliegue cualitativo de sus potencialidades de complejidad (Gallopín, 2003).

Por lo que se debe de sostener o hacerse sostenible, es el proceso del mejoramiento de la condición humana, proceso que no necesariamente requiere de crecimiento indefinido de consumo de energía y materiales. Actualmente vivimos en una época de enormes transformaciones demográficas, tecnológicas y económicas. Por lo que en un intento de asegurar que los cambios que afectan a la humanidad sean para mejor, la comunidad mundial ha iniciado el proceso de redefinición del progreso. Esta redefinción es lo que se conoce como desarrollo sostenible (Gallopín, 2003; Cortés y Peña, 2015).

Sobre la bibliografía que definen al desarrollo sostenible, se identifican tres enfoques: 1. Según si la variable crucial o la función objetivo a maximizar sea el bienestar; 2. El consumo; y 3. El capital. Además, para lograr el desarrollo sostenible es de vital importancia comprender las

vinculaciones entre los aspectos social, ecológico y económico de nuestro mundo. Para comprender sus vinculaciones, conviene usar un enfoque sistémico (Gallopín, 2003).

Otro elemento de discusión es la diferencia entre sostenible y sustentable, sobre el concepto de desarrollo sustentable o sostenible Ávila (2018), reporta que se encuentra aún en construcción, así como ha trascendido y enriquecido, pero también fragmentándose, provocando su alejamiento a su origen. Considerando que contempla cambios importantes en la contemporaneidad respecto a los valores de la sociedad. Por lo que, lo sustentable hace relación a la armonía existente entre lo económico, social, ambiental con el sistema de valores; en contraparte lo sostenible considera cada uno de los sistemas por separado.

A partir del Informe Brudtland se acotó el término inglés "sustainable development" como desarrollo sostenible, y de ahí nace la confusión entre si existe o no diferencia entre los términos "desarrollo sostenible" y "desarrollo sustentable". Su única diferencia es su traducción al español, que en el caso mexicano se tradujo como sostenible y en otros países de habla hispana, como desarrollo sustentable (Ávila, 2018).

Ambas conceptualizaciones son importantes, en la que, para el desarrollo de la investigación, se utilizó el desarrollo sostenible como sinónimo de desarrollo sustentable, sin usar el término con una tendencia ideológica o de los intereses que uno profese; mostrando que el término sostenible es usado universalmente, como se encuentra en la bibliografía referente al tema. Además de que un uso diferenciado, no ha modificado sustancialmente, basando su uso con un mismo objetivo, buscando un equilibrio entre las dimensiones ambiental, económica y social, y en que este equilibrio sea perdurable a través de las futuras generaciones, lo cual en sí mismo implica permanencia (Uzcategui, 2023).

1.3.2. Indicadores para medir la sostenibilidad

El abordaje de la sostenibilidad, considerando sus distintas dimensiones abordándola desde una "sostenibilidad fuerte", analizarse desde una perspectiva transdisciplinar y de tal manera que se justifique su uso tanto en ámbito social como económico (García y Vergara, 2000). Por ello,

de manera histórica se observa el desarrollo de distintas formas de evaluar a la sostenibilidad, mediante la construcción de metodologías o indicadores de orden cualitativo como cuantitativo.

La instrumentación del desarrollo sostenible requiere de alguna forma de su evaluación de su progreso. Destacando que los indicadores tradicionales de mercado son incapaces de medir si la integridad del sistema natural se encuentra o no degradando. Por lo que es necesario complementarlos con indicadores de sostenibilidad. Algunos de los indicadores con esta orientación son: reducir los impactos de la actividad humana sobre el medio ambiente, no superar la capacidad de carga de los recursos naturales y ecosistema, entre otros (Gallopín, 2003).

Un aspecto para resaltar sobre los indicadores de sostenibilidad es que deben fijarse a metas alcanzables. Sin embargo, fijar metas para el desarrollo sostenible entre grandes grupos de interés es un proceso sumamente difícil, si son muchos los mismos en juego, sus perspectivas, entre otros elementos a considerar, por lo que dificulta su conceso para alcanzarlo (Gallopín, 2003).

En los últimos años se asiste a un desarrollo profuso en el ámbito de los indicadores para la toma de decisiones, particularmente en los países desarrollados y en algunas agencias internacionales, pero también en algunos países de América Latina, a diferentes escalas con una variedad de enfoques metodológicos. Algunos países lo desarrollan desde una perspectiva de sostenibilidad ambiental, mientras que otros desde el desarrollo sostenible; incorporando dimensiones económicas, sociales, ambientales e institucionales (Quiroga, 2001).

Por otra parte, el uso de variables es de relevancia para evaluar el éxito o fracaso de los planes y políticas, en los últimos años se ha enfatizado con fuerza el término indicador. Mismo que representa de manera simplificada una situación compleja, permitiendo valorar su evolución a lo largo del tiempo o comparación. Un indicador es una variable que supera su valor neto para representar una realidad más compleja, pero debe de ser fácilmente compresible y evaluable por la totalidad de sus los ciudadanos (Hernández, 2009, p. 89)

Quiroga (2001) señala, que en los últimos treinta años se ha avanzado considerablemente en la agenda ambiental y de desarrollo sostenible en el mundo, a un ritmo más lento del considerado, pero denotando avances que comprenden: el desarrollo conceptual y científico,

institucional, diseño de políticas públicas, educación y movimientos ciudadanos, gestión ambiental, e instrumentos de medición del progreso hacia el desarrollo sostenible.

Sobre los problemas de los indicadores de desarrollo sostenible, resaltan aquellos en su avance conceptual y analítico, aquellos con debilidades institucionales que son reflejados en la disponibilidad de recursos para su investigación y desarrollo, así como en su doble condición como potenciadores y objetivadores de la eficacia tanto de la política pública y la búsqueda de la sostenibilidad (Quiroga, 2001).

Con respecto a la utilidad de los indicadores, deben de cumplir con ciertas condiciones que aseguren su utilidad, estas son: no deben dar lugar a dudas, deben ser específicos sobre el tema a tratar, comprensibles, accesibles, sensibles a los cambios que se quieren medir y homogéneos; que se pueden resumir en las siguientes condiciones (Hernández, 2009, p.89):

- Comunicabilidad. El indicador permita comprender los cambios que se producen y evaluar las políticas.
- Accesibilidad. Contar con los medios para su reproducción, sin que superen el umbral lógico de costos.
- Publicidad. Todos tengan acceso a la información.

1.3.3. Métodos para la medición multidimensional de la sostenibilidad

El carácter multidimensional de la sostenibilidad urbana, requiere el apoyo de la estadística espacial, misma que es concebida como un aporte en conjunto de la geografía y la estadística, que permite responder a la pregunta de dónde se localiza el problema o fenómeno de estudio, mediante la aplicación de metodologías para su análisis, misma que es impulsada mediante el uso de tecnología de los Sistemas de Información Geográfica, dando pauta al análisis espacial, en donde se trabajan las relaciones espaciales de la información espacial con bases de datos geográficos.

Es importante destacar que el análisis espacial adquiere dos connotaciones en el ámbito de la Geografía: a) Considera el procesamiento de datos espaciales, y b) Considera únicamente aspectos geométricos y estructurales de las entidades espaciales. Por lo que la estadística espacial

realizada con SIG se focaliza en los componentes espaciales y se accede a sus atributos para realizar cálculos. Para ello se apoya de una de las áreas de la estadística espacial, que es la geoestadística, que corresponde a la estimación de valores espaciales a partir de un conjunto de datos en localizaciones puntuales conocidas (Buzai y Montes, 2021).

Por otro lado, la instrumentación de la geoestadística, el análisis cartográfico, la identificación de valores y su ubicación en el espacio, su evaluación en la forma de su distribución en el territorio y el cálculo de medidas de localización; entre otros aspectos. En tal sentido, la necesidad de acudir a herramientas de análisis geoestadístico para el análisis de datos espaciales orientados a la sostenibilidad urbana ha cobrado importancia para su análisis. Algunos ejemplos relevantes y como se pueden observar en la Tabla. 2, son: Análisis de Componentes Principales, Valor Índice Medio, Método de Análisis Jerárquico Saaty, y Suma Ponderada.

Tabla 4. Métodos para la construcción de un índice resumen para la medición de la sostenibilidad urbana

Método	Utilidad	Aplicación al estudio de impactos ambientales	Resultado
Análisis de Componentes principales	Técnica estadístico-matemática que permite estudiar la estructura subyacente de los datos y reexpresar los datos originales.	Reduce las dimensiones de análisis, facilitando una visión más simple del fenómeno de estudio.	Índice resumen del fenómeno que es representado espacialmente.
Valor Índice Medio	Clasificar un conjunto de unidades territoriales con base en un índice obtenido a partir de información proporcionada por un conjunto de variables.	Prioriza las semejanzas entre unidades territoriales, resaltando que la escala de valor del indicador resumen se interpreta que, a mayor valor, mayor intensidad del proceso.	Índice resumen del fenómeno que es representado espacialmente.
Método de Análisis Jerárquico Saaty	Método de análisis multicriterio que permite la construcción de un modelo jerárquico, permitiendo de manera eficiente y gráfica organizar la información respecto a un problema.	Permite realizar comparaciones binarias basándose tanto en factores cuantitativos como cualitativos.	Índice resumen del fenómeno que es representado espacialmente.
Suma Ponderada	Forma útil y sencilla para la suma de un conjunto de variables, mediante una ponderación dada.	Permite definir el peso de las variables en relación con el objeto de análisis y sus dimensiones.	Índice resumen del fenómeno que es representado espacialmente.

Fuente: Elaboración propia con base en De Las Heras et al., 2020a; Campos et al., 2019; Valdés-Padrón et al., 2015; y Ramírez, 2004.

Finalmente, es necesario tener la definición clara qué un *indicador*, es información procesada, de carácter cuantitativo, que genera una idea clara y accesible sobre un fenómeno

complejo, su evolución y sobre cuánto difiere de una situación deseada (Falivene et al., 2014, p. 9); o medidas cuantitativas, cualitativas o descriptivas que informan sobre la situación de entornos urbanos y la incidencia de sus procesos sobre el medio ambiente, también ayudan en la planificación de ciudades que ofrezcan oportunidades para todos, con acceso a servicios básicos de energía, vivienda, transporte, espacios públicos y que, al mismo tiempo controlen el uso de recursos y reduzcan los impactos ambientales (Barbecho et al., 2022, p.30).

1.3.4. Análisis Exploratorio de Dados Espaciales (AEDE), para el análisis de la sostenibilidad urbana e interacción espacial

Una forma de análisis de los procesos urbanos es el uso de técnicas de análisis espacial entre los que destaca la econometría espacial, mediante el uso de las técnicas del análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE). El AEDE debe constituir el primer eslabón en un análisis para la toma de decisiones en investigaciones de tipo ambiental, social y económica, cuyas técnicas principales a través de la estadística y la representación gráfica, posibilitan el análisis de las distribuciones espaciales y agrupamientos (De Corso y Pinilla, 2017).

El AEDE es concebido como una disciplina dentro del análisis exploratorio de datos (AED). “Se define como el grupo de técnicas que describen y visualizan las distribuciones espaciales, identifican localizaciones atípicas, descubren esquemas de asociación (autocorrelación espacial) y sugieren estructuras en el espacio geográfico (heterogeneidad espacial)” (De Corso y Pinilla, 2017, p. 93).

Con respecto al análisis espacial De Corso y Pinilla (2017), hacen mención de la herramienta de autocorrelación espacial (I de Morán global), que mide la autocorrelación espacial basada en ubicaciones y los valores de las entidades. Analizando un conjunto de entidades y un atributo asociado, evalúa sí el patrón expresado está agrupado, disperso o con un patrón aleatorio. La herramienta calcula el índice de I de Morán y una puntuación z. El estadístico de prueba de I de Morán para contrastar la autocorrelación espacial es el estimado de la pendiente de la regresión por mínimos cuadrados ordinarios.

Pérez et al. (2022), mencionan que el I de Morán hace referencia a la distribución de una variable en el espacio y da indicios de la (in)existencia de autocorrelación espacial. Es considerado como un estadístico global debido a que concentra en una sola cifra el patrón de distribución territorial del fenómeno de estudio. Su representación algebraica queda denotada de la siguiente manera:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^{i=n} w_{ij}} * \frac{\sum_{i=1}^{i=n} w_j \sum_{j=1}^{j=n} W_{ij}(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{i=n}(y_i - \bar{y})^2(x_j - \bar{x})}$$

Donde

I: Índice de Morán

n = Número de las unidades en el mapa

W_{ij} = Matriz de distancias que define si las áreas o puntos geográficos, *i* y *j*, son vecinos

y = Refleja el valor observado de los índices o de los elementos geográficos

El I de Morán toma valores que oscila entre el -1 y 1; permitiendo evaluar si los datos se encuentran dispersos, aleatoriamente distribuidos o si se encuentran agrupados negativa o positivamente, identificando con ello un patrón de comportamiento de la dependencia espacial que se refleja espacialmente con la conformación de clústeres o agrupamientos (Pérez et al., 2022).

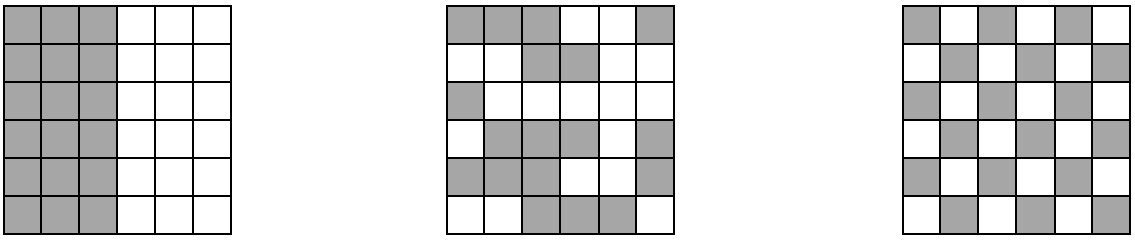
Además, existen Indicadores Locales de Asociación Espacial (LISA) que permiten identificar clúster o agrupaciones espaciales de la variable de análisis. Lo que posibilita obtener entornos favorables o no, basados en la agrupación de un número determinado de entidades que pueden compartir sinergias económicas o interterritoriales. El I de Morán (I Anselin local de Morán), se define de la siguiente manera (Pérez et al., 2022):

$$I_j = \frac{(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^{2/n}} \sum_{j=1}^{n} (y_j - \bar{y})\ para\ i \neq j$$

Mediante esta función se intenta calcular la I de Morán local para cada entidad, determinando el grado en el que cada uno es similar a sus vecinos. Esta medida local también se estandariza de tal manera sí Z (I_j) es estadísticamente significativa, señalando la existencia de un clúster dado o un agrupamiento. El resultado muestra agrupaciones producidas donde un estado presenta un valor alto (o bajo) para la variable que está cerca de aquellos estados que también tiene valores altos (o bajos) (áreas con valores similares) y atípicos o valores extremos (áreas cuyos valores difieren entre sí). La ventaja de este indicador con respecto al I de Morán global es que además de determinar si existe o no autocorrelación espacial, permite identificar dónde se encuentra (Pérez et al., 2022).

La autocorrelación espacial, mide y analiza el grado de dependencia entre las observaciones en un espacio geográfico, de las que resalta la I de Morán y la C de Geary, mismas que requieren la medición de una matriz de pesos espaciales que refleja la intensidad de las relaciones geoespaciales entre las observaciones de una vecindad. Por lo que una autocorrelación espacial positiva, indica la agrupación de valores similares en el espacio geográfico; mientras que una autocorrelación negativa, indica que los valores vecinos son más disímiles de lo esperado, lo que sugiere un patrón espacial similar al de un tablero de ajedrez (Battha, 2010a).

Figura 8. Autocorrelación espacial



a. Autocorrelación positiva b. Autocorrelación aleatoria c. Autocorrelación negativa

Fuente: Battha, 2010a, p. 93.

1.4. Métricas y simulación de crecimiento urbano

Para medir el proceso de expansión urbana y sus impactos ambientales, es necesario apoyarse en el uso de las distintas métricas espaciales. En un primer momento es basarse en la "matriz de transición", misma que es definida como una tabla que permite al usuario medir los cambios entre las diferentes clases de cobertura y uso de suelo a lo largo de un periodo de tiempo (Jenese, 2005 en Battha, 2010a) centrándose en observar los cambios en el paisaje y los mecanismos que subyacen ese cambio (Battha, 2010a).

Su principal ventaja es la independencia del sensor, dado que no requiere ninguna operación matemática o estadística entre las imágenes, ya que se pueden considerar imágenes multitemporales de diferentes sensores. Así como, es la preferida para medir el crecimiento urbano o para explicar la transición entre las clases de cobertura del suelo en un área geográfica. Por otro lado, su debilidad radica en las limitaciones del análisis espacial, ya que pasa por alto el enfoque de matrices de transición (Battha, 2010a).

Con relación a las "métricas espaciales" estas son definidas como mediciones numéricas que cuantifican el patrón espacial de los parches de cobertura del suelo, las clases de cobertura del suelo o los mosaicos de paisaje completos de un área geográfica (McGarigan y Marks, 1995 en Battha, 2010a).

Sobre el contexto del uso de la simulación, es una herramienta de análisis cada vez más utilizada en nuevos campos del conocimiento. Ya que distintas disciplinas emplean este enfoque metodológico. En donde la simulación "representa una manera de reproducir el comportamiento de un sistema, cuya naturaleza matemática/numérica facilita el alcance del objetivo" (Ramírez, 2020, p. 95). Se puede concebir a un modelo como "una representación abstracta de cierto aspecto de la relatividad, formada esencialmente por elementos que caracterizan dicho aspecto de la realidad y por las relaciones que mantiene esos elementos" (García y Sancho, 2016, p.2).

De todas las opciones para crear modelos, destaca una por su eficacia, que son los modelos matemáticos. Presentados bajo formas tan dispares como lo permiten ya sea las matemáticas, los

modelos numéricos o lo modelos computacionales; estos se han desarrollado espectacularmente en los últimos años debido a la capacidad tecnológica emergente (García y Sancho, 2016).

Sobre el modelado urbano, se puede entender como rrepresentaciones de funciones y procesos que generan una estructura espacial urbana en términos de uso del suelo, población, empleo y transporte; incorporados generalmente en programas de computadora permitiendo que las teorías de ubicación se prueben con datos y se generen predicciones de ubicación a futuro (Bhatta, 2010b).

Los modelos urbanos son esencialmente simulaciones por computadora que se utilizan para probar teorías sobre la ubicación espacial y su interacción entre los distintos usos de suelo y las actividades relacionadas en ellos. Proporcionando entornos digitales para probar las consecuencias de las políticas de planificación física en la forma futura de las ciudades. De acuerdo con Bhatta, (2010b) sus principales objetivos son:

- Integrar observaciones, información y teorías sobre un sistema, para la comprensión de este.
- Predecir la respuesta del sistema a los cambios futuros.
- Asignar ciertos recursos para optimizar ciertas condiciones dentro del sistema.

Para la modelización y simulación de expansión urbana, se utilizan modelos de interacción espacial, estos pueden ser agregados y descendentes, especificando una relación global de gobierno para el flujo entre personas. Para ello se utiliza la teoría de los “sistemas adaptativos complejos”, aplicados a la estadística espacial sugieren que las interacciones simples entre entidades próximas pueden dar lugar a entidades espaciales intrincadas, persistentes y funcionales a distintos niveles agregados (Battha, 2010a).

De ellos resaltan dos modelos de simulación espacial fundamentales que son los autómatas celulares (Benson y Torrens, 2004; White y Engel, 1997 en Battha, 2010a) y la modelización basada en agentes (Parker et al, 2004 en Battha, 2010). El primero impone un marco espacial fijo, como las celdas de la cuadricula, y reglas específicas que dictan el estado de una celda en función de los estados de sus celdas vecinas. El segundo se basa en agentes utilizando entidades de software (agentes) que tienen un comportamiento intencionado (objetivos) y pueden reacciones, interactuar

y modificar su entorno mientras buscan sus objetivos. La diferencia de ambos es que en el segundo los agentes pueden ser móviles con respecto al espacio (Battha, 2010a).

Respecto a los modelos de simulación, en el campo del estudio de procesos y dinámicas urbanas constituyen una herramienta que puede complementar el uso de los escenarios futuros y en el enfoque de scenario planning, ayudando a la representación espacial de las imágenes futuras. Resaltando que los fundamentos teóricos, en trabajos como la teoría de localización de Von Thünen, o la teoría de los lugares centrales de Christaller y las modificaciones de Lösch (Aguilera et al., 2012).

Dichos modelos no se deben de entender como instrumentos definitivos que tomarán las decisiones realizadas por los planificadores al solucionar los problemas urbanos. Por el contrario, son instrumentos que pueden ayudar a explorar diferentes posibilidades o escenarios de evolución de las dinámicas urbanas, de acuerdo con las tendencias actuales y de planeación estratégica. Por lo que, en este nuevo enfoque, la "simulación prospectiva", tendría como objetivo la generación de imágenes futuras posibles y/o deseables/no deseables que constituyan una herramienta de soporte a la planificación, mostrando tanto las consecuencias de tendencias y metas, para lograr una planificación más participativa (Aguilar et al., 2012).

Para tener un mejor entendimiento de los modelos y su clasificación de manera sencilla, Aguilera et al. (2012), realiza una posible distinción tomando de referencia el componente espacial en los modelos. Pudiendo identificar modelos no espaciales y espaciales. Resaltando que las técnicas empleadas en ambos pueden ser muy variadas. De los instrumentos más utilizados son la Dinámica de Sistemas (modelos no espaciales), así como modelos basados en autómatas celulares, multiagentes y técnicas multicriterio (modelos espaciales). Sus características se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Relación con tipos de escenarios y componente espacial de algunos modelos de simulación más empleados en la simulación territorial y urbana, incluyendo algunos ejemplos relevantes

Carácter espacial/No espacial	Tipos de escenarios en los que se emplean más comúnmente	Tipo de Modelo	Trabajos	Descripción
Modelos de carácter no espacial	Escenarios cuantitativos exploratorios	Modelos de Dinámica de Sistemas	Aguilera Benavente *el al.* (2019) Luo y Wei (2009)	Generación de demandas de crecimiento urbano para su posterior empleo en modelos espaciales
Modelos de carácter espacial	Escenarios cualitativos exploratorios	Modelos basados en Autómatas Celulares	White y Engelen (1997) Barredo *et al.* (2003) Petrov *et al.* (2009) de Aguilera Benavente *et al.* (2010b)	Generación de simulaciones, tanto pasadas como futuras, de crecimiento en diferentes tipos de ciudades y regiones
		Modelos basados en multiagentes	Schelling (1971) Epstein y Axtell (1996)	Simulaciones de procesos de segregación espacial y de movimiento de personas
	Escenarios cualitativos normativos	Modelos basados en técnicas multicriterio	Svoray *et al.* (2005) Liu *et al.* (2007) Geneletti y Van Duren (2008) Ligmann-Zielinska *et al.* (2008) Plata Rocha *et* al. (2010)	Asignación óptima de diferentes usos del suelo o actividades

Fuente: Aguilera et al. 2012, p.196.

Por lo que, los procesos de validación son distintos dependiendo del tipo de modelo instrumentado. Destacando que tanto para el caso de las ciencias experimentales y las ciencias sociales, no existe un acuerdo general en la comunidad científica sobre en qué consiste el proceso de validación de los resultados de cada modelo utilizado.

1.4.1. Autómatas celulares y modelación basada en agentes

Para la comprensión de los modelos de simulación urbanos Brugués et al. (2009) resaltan que uno de los modelos de simulación dinámica, son aquellos que incluyen los Autómatas Celulares (CA o AC), su estudio se retoma a finales de la década de los 40´s, mismos que tuvieron lentos progresos en la década de los 60´s y 70´s. La bondad de su aplicación resalta en que

conceptualmente son más claros, precisos y completos en los sistemas matemáticos convencionales y a que se encuentran basados en reglas de transición más simples, además de que producen resultados más comprensibles.

En concreto, los AC como herramienta matemática vieron la luz en los años cuarenta, de la mano de los matemáticos John Von Neuman y Stanislaw Ulam, aunque la idea de AC pertenece a Alan Turing y su máquina universal. Se pueden definir como un sistema dinámico formado por un conjunto de elementos sencillos idénticos entre sí, pero en conjunto son capaces de demostrar comportamientos complejos y, por ello, son muy adecuados para la simulación de procesos urbanos. Se encuentra compuesto por los siguientes elementos (Aguilera et al., 2012, p.209-2010):

Destacando que es posible explicar de una forma más sencilla el funcionamiento de los AC a través del ejemplo más académico y conocido: el Game of Life de John Conway, en el que se modela, a través de reglas muy simples, el nacimiento, muerte y supervivencia de una colonia de células (Aguilera et al., 2012).

El diseño de un modelo basado en AC, Aguilera et al. (2012) menciona que debe implementarse como un software independiente, o bien como parte de otro ya existente (SIG), con objeto de proceder a la simulación de los crecimientos urbanos. Resaltando una posibilidad asequible, que no precisa de conocimientos previos de programación que son necesarios para la implementación de un software independiente, es su implementación del diseño a través de las herramientas para construir modelos de los SIG existentes.

Sobre la definición de autómata celular o celular autómata (AC o CA), es definido como un modelo matemático que por medio de un algoritmo trata de identificar un patrón de cambios; así como un sistema dinámico limitado por un área definida en un espacio en periodos de tiempo, utilizando parámetros para generar el cambio de área de inicio a nuevas áreas de crecimiento tomando los siguientes aspectos (Mejía, 2013):

- Crecimiento espontáneo.
- Nuevo centro de dispersión.
- Crecimiento de borde.

- Crecimiento influenciado por caminos.

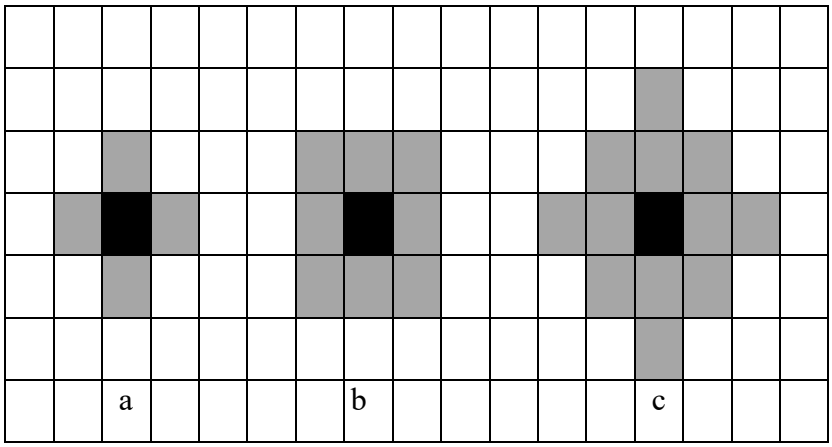
Mediante estos escenarios se conocen las tendencias actuales de crecimiento, en su forma horizontal. Los parámetros asignan un estado diferente del actual a las posibilidades dentro de ciertos límites que el modelo tiene. La información se encuentra en cada celda o píxel del celular autómata, el cual contiene información en forma de índices que indican las características únicas de ese píxel. El contenido de información puede ser como: altura sobre el nivel del mar, distancia con las carreteras, distancia a las zonas pobladas, distancia de las zonas de cultivo, precipitación pluvial, pendiente del terreno, ubicación de vías terrestres, zonas urbanas, zonas rurales, entre otras variables. Los índices son recalculados encada interacción, logrando que el modelo sea más veraz conforme avanza su desarrollo (Mejía, 2013).

Funciona por medio de un enrejado uniforme y regular, donde cada celda puede tener o tomar un valor determinado a partir de un conjunto finito de estados, el valor de la celda que lo compone es modificado por el valor de las celdas vecinas. Una de sus posibles aplicaciones es como control estadístico de patrones de comportamiento sin un orden espacial a gran escala por medio de evoluciones computaciones para la generación de pronósticos alternos de una simulación con distintos valores (Mejía, 2013).

Los modelos de los Autómatas Celulares (AC), constituyen un método discreto, para modelar la evolución de fenómenos dinámicos, como la expansión de las ciudades en tiempo y espacio. Mismos que presentan múltiples componentes o unidades en interacción, lo que los asemeja a las ciudades como sistemas complejos. Registrando algunas características de un sistema complejo: dinámicos, conexiones de vecindad espacial y autosimilitud (Jiménez et al., 2018).

La estructura de los autómatas celulares se desenvuelve en una estructura o espacio compuesto por celdas, donde cada una procesa información y actúa conforme a reglas de transición e información que recibe de su ambiente (Sandoval, 2018).

Figura 9. Tipos de vecindades de autómatas celulares



a) Von Neuman b) Moore c) More Extendida

Fuente: Sandoval, 2018, p.19.

En donde conforme a las propiedades de los objetos urbanos, son fuertemente influenciados por su relación con sus vecinos más próximos, donde resulta adecuada la implementación de los Autómatas Celulares siendo este uno de los modelos más fuertes para simular patrones de crecimiento urbano debido a su estructura, sencillez y posibilidad de evolución, mismos que se han aplicado a estudios urbanos, mediante la aplicación de reglas de transición relacionadas a sus factores territoriales. Su uso se ha relacionado a la predicción del comportamiento de la expansión urbana, contracción, cambios de uso de suelo, transporte, patrones espaciales, análisis de políticas públicas, entre otros (Sandoval, 2018).

Las ventajas de los AC, deriva de su facilidad para tomar en cuenta las interacciones espaciales entre unidades territoriales. Mismos que se han utilizados en estudios de desarrollo urbano, así como modelos de uso del suelo capaces de simular varios tipos de uso de suelo; utilizados por diversos investigadores (Ramírez, 2020).

Entre los modelos más consolidados es el SLEUTH, desarrollado por Keith C. Clarke y otros investigadores en la Universidad de California. Sus requisitos son el uso de suelo en cuatro periodos, la red de transporte, restricciones de suelo por políticas, porcentaje de pendiente del

terreno urbanizable y barreras naturales. Donde la mayoría de los modelos desarrollados en todo el mundo bajo AC utilizan estos parámetros, sumando otros elementos en común (Ramírez, 2020).

1.4.2. Modelo S.L.E.U.T.H.

El modelo SEUTH señala Brugués et al. (2009) se desarrolló como parte del proyecto *Gigalopolis* del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGSS) en colaboración con el Departamento de Geografía de la Universidad de California en Santa Barbara (UCSB). Mismo que evoluciono del Modelo de Crecimiento Urbano de Clarke basado en autómatas celulares, modelos de elevación y modelos de cobertura del suelo aplicados al crecimiento urbano.

Su funcionamiento consiste en un ciclo de crecimiento donde a partir de un conjunto de coeficientes, se aplican reglas de crecimiento que posteriormente son comparadas con un conjunto de valores críticos a partir de los cuales se automodifican los coeficientes para generar un nuevo ciclo de crecimiento (Brugués et al., 2009).

Jantz et al. (2010), señalan que SLEUTH pertenece a una clase de modelos conocidos como autómatas celulares (AC), donde la superficie del terreno se divide conceptualmente en celdas utilizando una cuadricula regular. Posteriormente, se asocia cada celda con un autómata, mis que es definida como una unidad independiente que ejecuta sus propias reglas de transición de estado, teniendo en cuenta los estados de los autómatas asociados con las celdas cercanas.

Su utilización radica, en la facilidad de su instrumentación de la simulación urbana a escala regional, además de su capacidad para incorporar diferentes niveles de protección para distintas zonas, relativa facilidad de cálculo y el hecho de que es un software de dominio público. Incorpora datos espaciales través de su vinculación con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) derivados de plataformas de teledetección. Sobre las dificultades en su implementación del modelo son (Jantz et al. 2010):

- Consumo de recursos computacionales.
- Patrones de urbanización y los patrones de la cobertura del suelo que son extremadamente heterogéneos en la zona de estudio.

Mejía (2013) menciona que tiene algunas restricciones en la disponibilidad alguna alternativa para la actividad evaluada. Se expresa a través de capas temáticas en sistema binario (0 y 1), que significa su estado actual. El valor 1 indica que está vivo o activo y si se encuentra con un valor 0 señala que esta desactivado o muerto. Por lo que para modificarse deberá tener ambos estados y el modelo determinará sí se ocupará o no, de acuerdo con sus características y programación. Para realizar una evaluación, es necesario establecer las reglas de decisión que comprende los procedimientos para calibrar y combinar los criterios de los índices que contienen las capas temáticas de información.

S.L.E.U.T.H., se basa en una serie de reglas de cambio preestablecidas y comienza a partir de un conjunto de condiciones iníciales, mismas que son definidas por los datos de las imágenes que alimentan el modelo. Tiene un comportamiento de auto modificación, el cual emula crecimientos y decrementos en tendencias de crecimiento urbano, simulando cuatro tipos de cambios de áreas urbanas (Mejía, 2013: pp.8-9; Corona, 2016):

1. Crecimiento espontáneo (Dif): simula el crecimiento espontáneo sin que exista una relación con la presencia de infraestructura.
2. Nuevo centro de dispersión (Brd): controla la probabilidad de que algún sitio con crecimiento espontáneo se convierta en un centro de crecimiento continuo.
3. Crecimiento de borde (Sprd): reproduce el crecimiento en las fronteras de los asentamientos humanos.
4. Crecimiento influenciado por caminos (Rg): genera centros de dispersión junto a las vías de comunicación y simula la tendencia para el crecimiento en torno a las mismas.

Corona (2016) señala que el usuario es quién establece los valores para cada una de las celdas, tomando en consideración la influencia que tienen las variables en el incremento de los asentamientos humanos. Así como debe prestar especial atención en las capas de exclusión y de las vías de transporte. En el caso de las primeras es porque establecen aquellas zonas hacia donde no debe dirigirse la mancha urbana o zonas de restricción por los distintos instrumentos de planeación; para el segundo caso determinan la accesibilidad de un área.

Corona (2016) menciona que SLEUTH modela el crecimiento a partir de la obtención de los valores de cinco coeficientes que mejor se ajustan al área de estudio en cuestión, estos son:

- Coeficiente de difusión o dispersión.

- Coeficiente de reproducción.
- Coeficiente de propagación.
- Factor resistencia-pendiente.
- Factor caminos-gravedad.

Los coeficientes se usan posteriormente para regular la aplicación de las reglas de crecimiento, que son las que determinan el desarrollo del sistema. Estas reglas son cuatro y se nombran con relación al tipo de crecimiento que controlan, relacionados con los cambios en las áreas urbanas (Corna, 2016: pp.44-45):

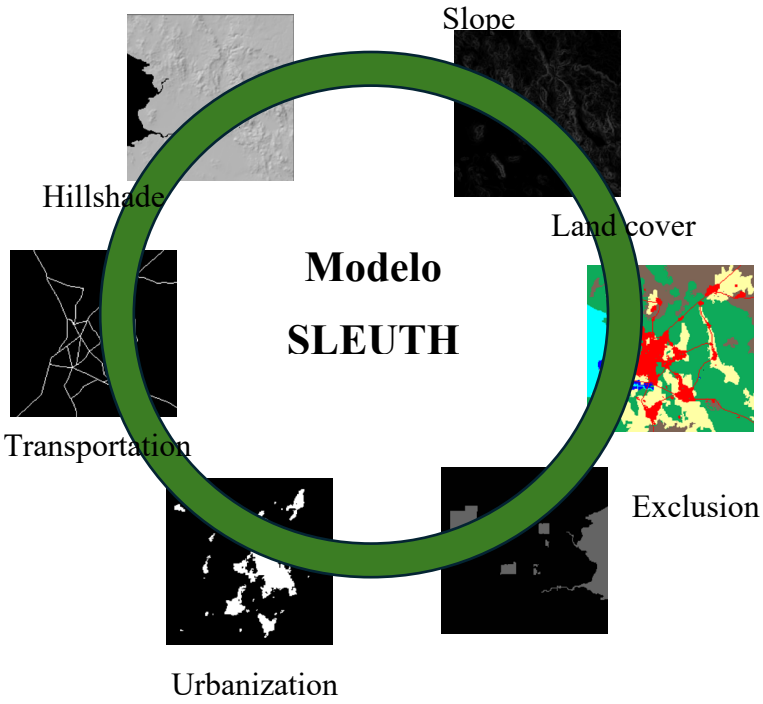
1. Crecimiento espontáneo.
2. Nuevo centro de dispersión.
3. Crecimiento de borde.
4. Crecimiento por influencia de caminos.

La teoría AC asume que el potencial de una celda para sufrir alguna transformación del suelo del suelo depende de sus celdas vecinas. Las reglas de transición de estado se definen a través de una función que relaciona cuatro factores diferentes (Linares y Picone, 2018):

- La conveniencia intrínseca entre diferentes usos del suelo, representando aspectos heterogéneos del espacio geográfico que se está modelando.
- El efecto de un uso de suelo específico sobre los usos de suelo circundantes.
- El efecto de accesibilidad local, que representa la facilidad de acceso a la red de transporte.
- La perturbación estocástica que capta el efecto del conocimiento imperfecto y comportamiento variable de los actores sociales en relación con el uso del suelo.

Para su desarrollo requiere la siguiente información y como se observa en la Figura 10: una capa de pendiente (Slope), cuatro de cobertura y uso del suelo (Land cover), de exclusión (Exclusion), cuatro de urbanización (Urbanization), dos de vías de transporte (Transportation) y una de sombreado (Hilshade), con valores especificados por el modelo (Corona, 2016).

Figura 10. Información en arreglo matricial que requiere el modelo SLEUTH



Fuente: elaboración propia con base en Corona (2016).

Tomando en consideración la influencia que tienen las variables en el incremento de los asentamientos humanos. Así como debe prestar especial atención en las capas de exclusión y de las vías de transporte. En el caso de las primeras es porque establecen aquellas zonas hacia donde no debe dirigirse la mancha urbana o zonas de restricción por los distintos instrumentos de planeación; para el segundo caso determinan la accesibilidad de un área (Mejía, 2013).

CAPÍTULO II

Marco de referencia

Capítulo II. Marco de referencia

Este capítulo presenta las investigaciones relacionadas con el tema de investigación para medir el proceso de expansión urbana y sostenibilidad. Identificando elementos para construir modelos de crecimiento para crear escenarios a futuro en las dos zonas de estudio. Seleccionando en la distinta bibliografía, para en lo subsecuentemente plantear una metodología propia considerando las condiciones de fuentes de información tanto cartográfica y estadística disponible de la temporalidad de análisis.

El capítulo reporta las distintas formas de analizar el crecimiento y expansión urbana tanto a nivel internacional, nacional y estatal. Además, de la incorporación de distintas metodologías utilizadas para medir los niveles de sostenibilidad urbana en sus distintas dimensiones tanto económicas, sociales y medioambientales.

2.1. Estudios de crecimiento, expansión urbana y simulación de escenarios futuros

Sobre los trabajos identificados sobre el análisis de la expansión urbana y la generación de simulaciones de escenarios futuros, de manera cronológica partimos del trabajo realizado por Suárez y Delgado (2017), analizan tres escenarios de expansión metropolitana elaborados conforme a diferentes supuestos de densidad de población y estimados mediante análisis estadístico espacial usando SIG, obteniendo un escenario de la expansión urbana para el año 2020 entre 38 mil y 56 mil hectáreas. Destacando el papel de la administración pública metropolitana para controlar la forma de expansión urbana y la regulación de los usos de suelo de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

Para ello, realizaron una modificación de la metodología utilizada por Landis y Reilly en 2003, para realizar un pronóstico del crecimiento urbano en el estado de California hacia el año 2100; consistió en los siguientes pasos:

- Crear un modelo estadístico espacial calibrado para predecir el crecimiento urbano en un periodo observado a partir de los datos socioeconómicos del mismo.

- Saber cuántos de los realmente se urbanizarán.
- Asignar el crecimiento proyectado en cada escenario a los sitios que permiten el desarrollo urbano en orden de probabilidad descendente por municipios, para la generación de los mapas de resultados finales.

Los insumos que emplearon fueron las áreas que fueron urbanizadas entre 1990 y 2000 con base en la cartografía urbana por AGEB del INEGI, además de información topográfica vectorial escala 1:100,000 del 2000, Catalogo de integración territorial del 2000, Censo General de Población y Vivienda de 1990, Censos Económicos de 1989 y el Censo Agrícola Ganadero. Para la construcción de 8 variables para la calibración del modelo de urbanización.

Cuyos resultados obtenidos por Suárez y Delgado (2007), revelaron una expansión de la superficie urbana para el año 2020, de acuerdo con el escenario presenta un incremento entre 38 mil y 56 mil hectáreas. Mostrando la necesidad de incluir modelos de administración pública metropolitana conjunta para el control de la expansión y como un mecanismo de regulación de los usos de suelo de la ZMCM.

Otro trabajo relevante es el realizado por Brugués et al. (2009), quienes construyeron una simulación del crecimiento urbano de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Chihuahua (ZMCCH) para el año 2030, aplicado el modelo S.L.E.U.T.H, que se desarrolló como parte del proyecto Gigalopolis del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), el modelo es basado en la simulación dinámica de autómatas celulares. Mediante el uso de las siguientes fuentes de información: 1) imágenes satelitales del sensor LANSAT del período 1973 a 2008; 2) procesamiento del Modelo Digital de Elevaciones (MDE); y 3) información de datos vectoriales del INEGI. La preparación y clasificación de la información se utilizaron las plataformas del software ENVI y ArcView.

Los resultados obtenidos por Brugués et al. (2009), destacan que el crecimiento de la ZMCCH, generada mediante el modelo, su comportamiento sigue la tendencia general del crecimiento urbano presentado en los últimos 35 años. Además, muestra un desplazamiento de la mancha urbana hacia el norte y al oriente, con una predominancia en dirección oriente. Otro

elemento por destacar es la correlación del crecimiento de la zona urbana con la estructura vial regional, misma que desempeña un papel de urbanización, así como la atracción de los centros urbanos de Chihuahua y Aldama.

Otro trabajo relevante, es el realizado por Tapia et al. (2009), analizando el crecimiento que se ha dado en la zona urbana del Municipio de Puebla, durante el periodo de análisis de 1970 a 2006, realizando una separación de la mancha urbana, diferenciando las manchas producidas por asentamientos dispersos dentro del municipio. Aplicando la siguiente metodología:

- Separación de la mancha urbana producida por la ciudad con las manchas producidas por asentamientos dispersos dentro del municipio.
- Digitalización de las manchas de la ciudad correspondiente a los periodos de 1970, 1975, 1990, 2000 y 2006.
- Uso de imágenes satelitales LANDSAT de 1970 y 1990, con una proyección cartográfica en UTM, Datum WGS84, Zona 14 N, en formato Erdas; así como técnicas de teledetección.
- Para 1975 se utilizó la carta de vegetación del INEGI y una depuración de esta, ya que identificaron algunas zonas que no eran urbanas.
- Para el año 2000 se digitalizaron ortofotos correspondientes al año de referencia, al igual que en el año 2006, además de verificación de campo.

Sobre los resultados obtenidos por Tapia te al. (2009), señalan que el proceso de ocupación del suelo del territorio municipal dedicado al uso urbano se ha ido incrementando, fomentado por la especulación y la demanda; afectado la sostenibilidad futura del sistema que conforma el territorio del municipio. Además de que, la configuración de la ciudad pasa de compacta a una más extendida, con una baja densidad de población, reflejando una subutilización de la infraestructura existente.

Cambiando un poco la perspectiva, se identifica los trabajos realizados por Bhatta (2010a; 2010b), con una perspectiva de establecer fundamentos teóricos a tomar en consideración en la investigación. Permitiendo la orientación sobre cómo se puede medir y analizar el crecimiento

urbano; mediante el uso de matrices de transición, métricas y estadísticas espaciales. Resaltando que en ocasiones se solapan en aplicaciones de análisis del crecimiento urbano.

Señalando que actualmente el uso de modelos informáticos para el análisis del crecimiento urbano se ha incrementado enormemente y demostrando su potencial como herramientas importantes de planificación y gestión urbana. Sin embargo, dependen en gran medida de la calidad y el alance de los datos disponibles para la parametrización, calibración y validación de los modelos (Bhatta, 2010a).

Por otro lado, Bhatta (2010b), discute los modelos urbanos, identificando sus clases, comenzando desde modelos teóricos hasta modelos de transporte de uso de la tierra basados en células, en agentes y en reglas; considerando tanto sus fortalezas como debilidades; concluyendo en una discusión detallada sobre estudios para modelar el crecimiento urbano a partir de datos de teledetección o precepción remota.

Otro trabajo relevante es el realizado por Jantz et al. (2010), describen un sistema regional de modelado de la cobertura del suelo urbano que se desarrolló para la cuenca de la Bahía de Chesapeake, localizada al este de los Estados Unidos. Proponiendo un sistema de modelado regional a escala fina (30 metros x 30 metros) por tamaño de celda o píxel, basándose en el modelo de cambio de cobertura de suelo urbano S.L.E.U.T.H., para pronosticar el crecimiento hasta el año 2030 en un área que cubre 257,000 km^2.

Para ello realizaron la calibración el modelo SLEUTH-3r, utilizando los siguientes insumos:

- Se utilizaron los siete ensayos de Monte Carlo.
- Entradas de la extensión urbana histórica durante al menos cuatro períodos de tiempo.
- Red de transporte histórica durante al menos dos períodos de tiempo, pendiente y una capa excluida.

En donde, los resultados obtenidos por Jantz et al. (2010), muestran que los pronósticos para toda la cuenca indican una continuación e intensificación de las tendencias de desarrollo que

fueron observadas en el período de 19900-2000. Focalizándose la urbanización en el sureste de Pensilvania, entre Harrisburg y Filadelfia, y en la península de Delmarva.

Sumado a los trabajos sobre el monitoreo de la expansión urbana, además de sumar fundamentos teóricos, se encuentra el trabajo realizado por Santos et al. (2012), orientado a realizar una descripción sobre las pautas del modelo de crecimiento en las principales aglomeraciones urbanas en España. Mostrando las claves del crecimiento actual abordando los siguientes aspectos: formas de crecimiento urbano en las principales aglomeraciones urbanas españolas, análisis del modelo fordista y su relación con las áreas metropolitanas clásicas, los rasgos básicos de la ciudad dispersa, y seleccionar la ciudad de Madrid y Granada como áreas de estudio del modelo de la ciudad dispersa.

Otro trabajo relevante, es el desarrollado por Plata et al. (2012), examinan cuáles son las causas de que, unas zonas del territorio se urbanicen y otras no lo hagan. Por lo que es necesario, considerar una teoría socioterritorial que fundamente la selección de variables explicativas, en las que se establezcan indicadores empíricos y operativos. Sin embargo, no se dispone de esa teoría que guíe.

Mediante un estudio de las relaciones que pueden existir entre diversos fenómenos y el crecimiento urbano, pero, sin tener una teoría explicativa fundada, no se puede deducir que una correlación fuerte se desprenda, siga, una causa eficiente. Por lo que, correlación no es causalidad. Pueden analizarse de manera cuantitativa utilizando técnicas estadísticas y espacial, utilizando las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) (Plata et al., 2012).

Por otro lado, tenemos al análisis realizado por Aguilera et al. (2012), resalta el proyecto PRELUDE, de la Agencia Europea de Medio Ambiente de la Comisión Europea, que explora diferentes escenarios futuros para el paisaje europeo en los próximos 30 años; el proyecto EPSON 3.2, que muestra simulaciones espaciales futuras en el contexto de la política europea común, o el proyecto de I+D+i SIMURBAN. Este proyecto, entre uno de sus objetivos y bajo del enfoque del spatial scenario planning, avanzar en la aplicación de estos instrumentos en los procesos de planificación metropolitana.

El modelo de simulación implementado en SIMURBAN, se calibró en función de la simulación de dinámicas pasadas en la aglomeración urbana de Granda y en la región de Madrid para el período de 1990-2000. Para la región de Madrid, la comparación se llevó a cabo a través de diferentes técnicas, en que las que destacan el análisis de comparación de píxel mediante el índice Kappa, el empleo de métricas de la Ecología del Paisaje a la caracterización de usos y patrones urbanos, y medidas de localización espacial de los crecimientos (Aguilera et al., 2012).

Los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas por Aguilera et al. (2012), para la región urbana de Madrid, plasman de manera espacial los tres escenarios exploratorios establecidos. Destacando como pueden observarse los escenarios integrados pueden ser espacializados a través del empleo de instrumentos de simulación prospectiva, en esta ocasión basado en AC.

Sobre el uso de los distintos modelos de simulación de crecimiento urbano, señala Gómez et al. (2012), es necesario ampliar o flexibilizar el proceso de validación. Sólo es posible abordar una validación parcial, que puede realizarse a través de la contrastación de los resultados con las opiniones de expertos, evaluando la estabilidad de los resultados o examinando si existe convergencia con los resultados de modelos diferentes.

Tomando en cuenta las múltiples posibilidades existentes para reforzar los resultados de un modelo Gómez et al. (2012), se apoya de una metodología propuesta por Gómez Delgado en 2005, que pretende controlar el riesgo inherente a la toma de decisiones basada en los resultados de un modelo explícitamente espacial y ejecutado en un entorno SIG. La metodología se basa en el uso combinado de un Análisis de Sensibilidad (AS) y un Análisis de Incertidumbre (AI) que pretende, por un lado, analizar la estabilidad de los resultados del modelo cuando se realizan variaciones sistemáticas en los componentes de este y, por otro, analizar el alcance del efecto que los posibles errores en estos componentes pueden provocar en los resultados.

Otra forma de analizar el proceso de expansión urbana es el propuesto por Molita et al. (2013), implementando la técnica de análisis espacial de “algebra de mapas”, misma que permite la superposición de variables, incluyendo exclusivamente la evaluación de variables físico-

naturales, las cuales juegan un papel determinante para la localización de áreas aptas para el desarrollo urbano, usando un sistema de información geográfica.

Para ello, se utilizaron distintas fuentes de información vectorial y ráster, que comprenden tanto aspecto de geología (litología), geomorfología (formas de relieve), pendiente, amenaza hídrica y cobertura vegetal. En donde para la obtención de las posibles áreas de expansión urbana en Tovar y sus alrededores, utilizando un modelo de análisis espacial tipo ráster. La ponderación se estimó a través del establecimiento de una escala de intervalos, expresada en el nivel de aptitud para la ocupación espacial según las categorías analizadas. Una vez realizado las ponderaciones, procedieron a definir los valores mínimos y máximos, que son obtenidos a través de la sumatoria de los valores establecidos en la escala de ponderación.

Los resultados que obtuvieron Molita et al. (2013), indican que la ciudad de Tovar presenta sectores con fuertes limitaciones para el desarrollo urbano, con escasas áreas potenciales. Por lo que las tierras con mayor aptitud para la expansión urbana están ubicadas en el cercano centro poblado de la Playa de Bailadores.

Se suma el trabajo realizado por Mejía (2013), cuyo objetivo es determinar si el crecimiento de los asentamientos humanos correspondiente a 33 municipios de la región noreste de Michoacán existe la disponibilidad agua de uso doméstico suficiente para sus habitantes para los años 2014 a 2040, aplicando el modelo S.L.E.U.T.H., mismo que requiere cinco tipos de información: área de los asentamientos humanos de cuatro fechas distintas entre sí, vías de comunicación terrestre, zonas de exclusión, pendiente del terreno y el sombreado del área. El modelo realiza una predicción del posible crecimiento de las áreas urbanas, realizó predicciones de 2016, 2026, 2046 y 2056.

Para la construcción de las capas de información Mejía (2013), utilizó las siguientes fuentes de información:

- Vías de comunicación carretero (1970): digitalización de las Cartas topográficas de INEGI.
- Vías de comunicación carretero (1996): Cartas digitales de INEGI en formato DXF.
- Pendiente del terreno (1996): Derivada de las Cartas Topográficas digitales de INEGI.
- Áreas de exclusión (2006): Imagen de satélite SPOT y datos de CONABIO.

- Asentamientos humanos (1950): digitalización de las cartas topográficas de la defensa nacional.
- Asentamientos humanos (1970): digitalización de las cartas topográficas del CETENAL ahora INEGI.
- Asentamientos humanos (1996): digitalización de Cartas Topográficas de INEGI en formato DXF.
- Asentamientos humanos (2000): Imagen de satélite SPOT.
- Aspecto del terreno o hilsade (1996): Cartas topográficas de INEGI.

De los resultados obtenidos Mejía (2013), comprueba la hipótesis de investigación, identificando áreas donde el cambio de uso de suelo rural a urbano ha ocasionados problemas de abasto de agua. Estimando un aumento en la superficie urbana en 89,254.25 ha de suelo urbano para el año 2056, observando un aumento de la extensión de ciudades y la nula actividad de retroalimentación del sector primario y la disponibilidad de agua, provocando un desequilibrio tanto en el medio rural como en el urbano, repercutiendo en su sustento.

Sobre las causas de la expansión urbana, se encuentra el trabajo realizado por Urriza y Garriz (2014), observan que a pesar del bajo incremento poblacional de Bahía Blanca y la existencia de importantes superficies de tierra vacante, en el año 2010 el municipio sancionó el "Plan Director del Periurbano Bahiense" que autoriza la habilitación de nuevos desarrollos suburbanos. Derivado de ello, realizan un debate en torno a los modelos de ciudad compacta y ciudad dispersa, analizan el proceso de expansión y disponibilidad física de tierras urbanizables en Bahía Blanca y, de la normatividad urbana recientemente sancionada en la ciudad.

En donde reconocen básicamente dos formas de crecimiento espacial de las ciudades: verticales y extensas en superficie que pueden incorporar al uso urbano tierras de la periferia. Entendiendo que la urbanización compacta se caracteriza por una trama urbana contigua y densidades medias o altas; mientras que la ciudad dispersa presenta un proceso de ocupación del espacio urbano discontinuo, predominantemente de baja densidad y en extensión, con tramas urbanas formadas generalmente por viviendas unifamiliares (Urriza y Garriz, 2014).

Otro trabajo relevante, es el realizado por Jiménez y Galeana (2016), cuyo objetivo es identificar las relaciones urbano-rurales desde una perspectiva de ecosistema urbano mediante el análisis de procesos de cambio de uso de suelo en la Cuenca de México. Asimismo, busca generar

un escenario tendencial que permita la identificación y proyección de los patrones espaciales de la expansión de los sistemas productivos a partir de tasas de cambio observadas, de tal manera que contribuya a determinar los posibles efectos en la funcionalidad del área de estudio.

Utilizaron información de las Series de Uso de Suelo y Vegetación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) correspondientes a los años 1976, 1993, 2002, 2007 y 2011. Posteriormente una reagrupación de las clases de uso de suelo y vegetación de las cinco series, en los siguiente cuatro grupos:

- Vegetación.
- Sistemas productivos agropecuarios.
- Sin vegetación.
- Urbano.

Una vez reclasificada la información, se realizó una superposición espacial o cruce de mapas a través de la fusión o unión geométrica de las entidades espaciales de cada una de las series en el tiempo. Los procesos de cambio se determinaron para los siguientes periodos: 1976-1993, 1993-2002, 2002-2007 y 2007-2011.

El escenario tendencial de los sistemas productivos se construyó mediante la herramienta Scenario Generator de InVEST, desarrollado por las universidades de Stanford y Minnesota, permite elaborar modelos basados en funciones de producción que definen cómo y en qué medida la estructura de las coberturas se ve afectada por diferentes factores en distintas escalas de análisis.

Cuyos resultados obtenidos por Jiménez y Galeana (2016), son que la expansión urbana ha afectado de manera significativa a los sistemas productivos y a la vegetación. En el caso del proceso de cambio entre sistemas productivos y vegetación, existe una clara tendencia a la expansión de la superficie agropecuaria a costa del capital natural; esta transición representa más del doble de la recuperación de la cobertura vegetal. La superficie urbana pasará de alrededor del 21% de la superficie de la Cuenca en 2015 al 32% en 2030; se prevé que los sistemas productivos sean la clase más afectada por dicha expansión.

Además, se encuentra el trabajo realizado por Corna (2016), cuyo objetivo es conocer cuál ha sido la tendencia de ocupación del territorio en la Cuenca de México por la expansión de la mancha urbana en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), para posteriormente generar escenarios de crecimiento urbano que ayuden a identificar las zonas vulnerables al establecimiento de asentamientos humanos y a la consiguiente pérdida de recursos naturales utilizando el modelo S.L.E.U.T.H.

Los insumos que utilizó fueron:

- Slope (pendiente): Modelo digital del INEGI – Se generó en porcentaje.
- Land use (uso de suelo): no se empleó.
- Exclusión (zonas de exclusión: Cuerpos de agua de los vectoriales del INEGI, 1995 - Se obtuvieron y juntaron los cuerpos de agua y áreas verdes de los vectoriales de las cartas topográficas del INEGI escala 1:50 000 que conforman la Cuenca de México.
- Urbanization (urbanización): Área urbana de 1995 de los vectoriales 1:50 000 del INEGI. Cartografía geoestadística urbana de la Encuesta Intercensal 2015. Imágenes satelitales. - Cuatro fechas: 1995, 2005, 2010 y 2015. Los años 1995 y 2015 se dejaron tal cual las reporta el INEGI. Los años 2005 y 2010 se obtuvieron de la edición de las capas generadas por Corona (2010) a partir de la interpretación de imágenes satelitales pancromáticas.
- Transportation (vías de transporte): Vías de transporte de 1999 y 2015 de los vectoriales del INEGI e INE. - Se crearon editando los vectoriales a partir del análisis de la influencia que tiene cada tipo de camino en el crecimiento.
- Hillshade (sombreado): Modelo de elevación digital del INEGI. - Se generó en niveles digitales.

Los resultados que obtuvo Corona (2016) señala que, a partir del modelado, la expectativa para el año 2030 es que la mancha urbana abarque un área de 373,061 hectáreas, equivalente al 38.8% de la superficie total de la cuenca, misma que se ha dirigido hacia diferentes regiones a lo largo del periodo de estudio. Revelando que la Ciudad de México sigue demandando suelo y su tendencia de ocupación en dirección en la periferia sur.

Otro trabajo sobre el análisis de la expansión urbana es el realizado por Vilela y Moschella (2017), analizan el caso de la expansión urbana en torno a los humedales de Purrumpampa en la ciudad de Huamachuco, en los Andes peruanos. Distinguiendo que la ciudad experimenta un rápido crecimiento por ser centro de servicios públicos y privados en una provincia que se encuentra bajo la influencia de grandes inversiones mineras.

Para ello, realizado mediante la valoración del paisaje, empelan una metodología participativa basada en entrevistas, taller y mesas de trabajo, persiguiendo dos objetivos: 1) Analizar los cambios en el paisaje urbano originados por la ocupación informal de la tierra sobre el humedal de Purrumpampa desde la década de 1990, y 2) analizar las estrategias para su protección que contribuyan a la construcción de una ciudad sostenible.

Cuyos resultados obtenidos Vilela y Moschella (2017), en el caso de Purrumpampa identifican que el proceso de ocupación informal del suelo para la construcción de vivienda popular ya no es predominantemente una práctica propia de sectores en situación de pobreza, sino que se ha generalizado en la informalidad en el crecimiento de la ciudad.

En relación con el monitoreo de la expansión urbana, se encuentra el trabajo realizado por Cano et al. (2017), quienes determinan la tasa de crecimiento urbano durante el periodo 2000-2014 en el estado de Hidalgo, México, identificando las zonas potenciales de expansión a partir de imágenes Landsat.

Los resultados obtenidos, revelan a primera vista un crecimiento porcentual de la superficie urbana en la entidad de 0.35% y una tasa de crecimiento estatal para el periodo de análisis de 25.7%. Lo que representa una expansión urbana de 7,230.32 hectáreas en 14 años y una tasa promedio anual de 516.45 hectáreas. Sugiriendo expansión urbana acelerada, cuya explicación posible es el crecimiento de la población.

Otro trabajo relevante, es el desarrollado por Linares y Picone (2018), quienes modelan los cambios de usos del suelo en espacios urbanos con el propósito de conocer el impacto del crecimiento urbano en la conservación del paisaje natural, mediante el uso de autómatas celulares y Sistemas de Información Geográfica. Analizando la ciudad de Tandil en Argentina y el impacto de la Ley Provincial el área de Paisaje Protegido Tandil, centra su protección en el sistema serrano que rodea la ciudad.

Utilizaron el software LanduseSIM y ArcGis para la simulación de un escenario proyectivo a 2033 de las tendencias actuales de crecimiento para la ciudad de Tandil y analizar su distribución espacial sobre el área de conservación. Los resultados que obtuvieron mostraron, que, de seguir el

actual ritmo de crecimiento y sus características, la ciudad aumentaría su área urbanizada unas 1,632 ha. El 75% del crecimiento se producirá sobre áreas no edificadas a densificar, el 25% restante se producirá sobre el área de paisaje natural protegido. Significando una pérdida del 10% del total del área del paisaje protegido, como una reducción de los servicios ecosistémicos que se brindan.

Sumado a los trabajos de monitoreo de la expansión urbana y generación de información cartográfica, se encuentra el trabajo realizado por Miyazaki y Shibaki (2018), quienes presentan el desarrollo experimental de un sistema para le mapeo de asentamientos humanos de series temporales utilizando archivos históricos con procesamiento de datos bajo demanda.

Quienes iniciaron el desarrollo de mapas de asentamientos humanos utilizando datos satelitales a baja resolución como lo de los sensores DMSP-OLS y MODIS; además de incorporar datos satelitales de Landsat y ASTER, que son útiles para representar formas y redes de asentamientos humanos, ya sea edificios, áreas pavimentadas y otras estructuras construidas por el hombre.

Combinando distintos conjuntos de datos de varias fechas en una sola fecha objetivo, combinando los resultados de datos complementarios de múltiples fechas en solo conjunto de datos. Aplicando, además, el Aprendizaje con Consistencia Local y Global (LLCG)

Los resultados obtenidos del procedimiento obtenido por Miyazaki y Shibaki (2018), mostraron efectivamente mapas de asentamientos humanos, debido a la solidez fortalecida al combinar datos satelitales de múltiples fechas. La calidad debe validarse de manera estadística, como la evaluación de la precisión de su error.

Se añade, el trabajo realizado por Esch et al. (2018), cuyo objetivo es disminuir la brecha de carencia de información para medir la Huella Urbana Global (GUF). Así como mencionan que el GUF es un inventario de la presencia humana en la Tierra en forma de mapa ráster que refleja el patrón de asentamientos humanos en una resolución única hasta el momento de 12 metros.

Para ello, realizaron mediante un procesamiento automatizado en la etapa final de la producción de GUF, el cual consta de dos pasos. El primero, se lleva a cabo la segmentación de la imagen, que transfiere todos los grupos de píxeles conectados clasificados como construidos en cada una de las siete capas de trama bruta de GUF (niveles de confianza) a objetos de imagen individuales. En segundo lugar, se selecciona el nivel de confianza local de GUF adecuado y se seleccionan todos los segmentos de GUF de la colección resultante que probablemente representen falsas alarmas. Para este segundo paso, basado en reglas se utilizan datos auxiliares, como máscaras de relieve y de agua.

El conjunto de datos GUF obtenidos, mencionan Esch et al. (2018), por primera vez, las huellas urbanas de todo el mundo se pueden analizar en comparación, permitiendo responder preguntas sobre el área total de la ciudad o la urbanización del entorno. Por lo que los datos representan un inventario preciso tanto de las grandes aglomeraciones urbanas como de las áreas edificadas dispersas a pequeña escala en las regiones rurales. Permitiendo análisis cuantitativos detallados, tanto a nivel municipal, local hasta escala global.

Además, se encuentra el trabajo realizado por Jabari y Zhang (2018), sobre la detección de cambios urbanos mediante imágenes de satélite se ha convertido en una tarea importante la teledetección y existen numerosos artículos publicados en ese campo. Los métodos convencionales de detección de cambios pueden dividirse en dos categorías: 1. Métodos basados en imágenes, y 2. Métodos basados en modelos digitales de superficie (DSM).

Desarrollaron un método de registro conjunto de parches (PWCR), para registrar imágenes satelitales bitemporales de manera parchada. Mediante la utilización de coeficientes polinómicos racionales (RPC) de imágenes satelitales y un DSM del área para realizar el registro de imágenes por parches.

Los resultados obtenidos por Jabari y Zhang (2018), muestran que es necesario considerar dos conceptos de manera separada: la mejora de la calidad del corregistro y la mejora de la calidad de la detección de cambios. Con relación a la precisión del registro conjunto, la precisión del DSM afecta en gran medida la precisión del registro conjunto. Por lo tanto, un DSM con una precisión

superior o igual a la resolución espacial de las imágenes puede mejorar significativamente los resultados del registro conjunto.

Entre los trabajos con una orientación sobre el modelado de expansión urbana, es el realizado por Sandoval (2018), quien elabora un modelo computacional que ayuda a la identificación y análisis del surgimiento de zonas atractivas a la industria como resultado de la aglomeración espacial de condiciones propicias para este uso, y su posterior ocupación. Mismo que se aplica en el Centro de Población de Ensenada (Baja California). Para ello, desarrollo un modelo basado en agentes para encontrar zonas atractivas para la industria, mismas que pueden surgir sin importar las regulaciones en materia de usos de suelo o conforme a políticas públicas ya definidas en su Programa de Desarrollo Urbano.

Los resultados obtenidos por Sandoval (2018), demostraron que al inicio hay una mayor cantidad de suelo atractivo para industria en subsectores de incompatibilidad con la actividad, lo que pone de manifiesto, que al ir creciendo la ciudad, se mantiene una mayor demanda de reservas territoriales para la industria, que las establecidas por el Programa de Desarrollo Urbano de la ciudad, evidenciando una incongruencia entre lo permitido por el programa en materia de lo normativo y la realidad observada.

Otro trabajo relevante es realizado por Jiménez et al. (2018), cuyo trabajo se encuentra orientado en la simulación de la expansión urbana en ciudades mexicanas mediante el uso de Autómatas Celulares (AC) en un entorno experimental, para la temporalidad de 2003-2017, sumado al uso de imágenes de satélite LandSat.

Cuyo análisis se centró en las ciudades de Querétaro, San Luis Potosí, y Toluca. Las simulaciones realizadas para las ciudades fueron hasta al año 2030. Sobre los resultados objetivos, menciona que pueden ser de utilidad para distintos sectores de la población. Muestran que el proceso de expansión urbana muestra repercusiones sobre la disponibilidad de agua en las distintas ciudades donde se realizaron los modelos.

Sobre los efectos de la expansión urbana, se encuentra el trabajo realizado por Carneiro et al. (2019), analiza la accesibilidad, expansión urbana y exclusión social; mediante el caso de

estudio de la ciudad de Río de Janeiro, midiendo la accesibilidad al mercado de trabajo formal por transporte público, entendiendo el impacto de la ubicación de las diferentes áreas de la ciudad y la infraestructura de transporte disponible en cada región.

Para ello, partieron de un análisis teniendo en cuenta datos de renta familiar, accesibilidad y oferta de transporte de media y alta capacidad. Incorporando el modelo presentado por Hernández en 2017 que tiene en cuenta dos variables: tiempo de viaje y número de oportunidades. Para los tiempos de viaje, se calcularon entre los 160 barrios de la ciudad, a partir del centroide de cada barrio, mediante al API de Google Maps Disntance Matrix.

Los resultados obtenidos por Carneiro et al. (2019), resaltan que los barrios con mayor accesibilidad cuentan con estaciones de metro o tren. Mostrando una tendencia en la que a más alejado del centro se encuentra la zona, menor es la accesibilidad. Respecto a la oferta de transporte, se observa que existe un número de regiones con buena accesibilidad, aunque no se encuentran cercanas al centro.

Otra forma de análisis de la expansión urbana es analizando su estructura vial o red urbana, se encuentra el trabajo realizado por De Andrade et al. (2019), quien, por medio de mapas axiales, explorar la expansión urbana y el sistema vial urbano-regional del Valle del Paraíba Paulista, como el impacto en esta dinámica que desempeña el eje vial Presidente Dutra.

Para ello, realiza la investigación temporal de la mancha urbana en los municipios del eje vial Presidente Dutra, auxiliando por el uso de datos secundarios de diversas fuentes. Los datos secundarios incluyen imágenes de satélite Landsat (4-5, 5 y 8) correspondientes a los años 1975, 1995 y 2015. Posteriormente, se generó la delimitación de las áreas urbanas y el cálculo de las áreas urbanas. Así como el empleo de bases de datos de las vías urbanas existentes en el año 2015, obtenidas del proyecto Open Street Map (OSM).

La cartografía resultante del índice de integración de las vías urbanas menciona De Andrade et al. (2019), proporciona una visión espacial del sistema viario intraurbano relevando indicios de un proceso de urbanización dispersa, permitiendo evidenciar la Carretera Presidente Dutra como un elemento estructurado del espacio urbano-regional en el Valle del Paraíba Paulista.

Por otro lado, retomando los trabajos para analizar el crecimiento histórico, se encuentra el trabajo realizado por Ramírez (2020), sobre el crecimiento económico y expansión física de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, constituye un esfuerzo teórico-analítico de diagnóstico y prospectiva territorial, usando modelos de simulación y predicción de la expansión urbana con información histórica y de grades bases de datos.

Para ello, se uso distintas fuentes de información de datos espaciales, considerando variables de población, empleo, vivienda y actividades económicas. Además del uso de autómatas celulares, retomando el fundamento del modelo S.L.E.U.T.H. como del modelado basado en agentes.

Sobre los resultados obtenidos menciona Ramírez (2020), en la zona de estudio, en la zona norte, nororiente y norponiente, en las diversas áreas urbanas ubicadas como manchas o partes del plato roto. Comienzan a unificarse en un área urbana continua, cuyo comportamiento sería similar al poniente, como al oriente. Con relación al oriente se observan crecimientos y formaciones urbanas continuas, además del aumento de superficie urbana de algunas localidades urbanas

Adicionalmente, sobre los trabajos de monitoreo de expansión urbana, el trabajo realizado por Galimberti (2021), tiene por objetivo profundizar en el entendimiento de las dinámicas contemporáneas de expansión urbana en las áreas metropolitanas de América Latina. Asimismo, comprender las relaciones entre las políticas y normativas de urbanización, el rol del Estado, los desarrolladores inmobiliarios y los ciudadanos, en la transformación del suelo rural a urbano que se ha generado un modelo de expansión generalizada y de baja densidad.

Para realizar sus análisis Galimberti (2021), parte de una metodología cuali-cuantitativa, mediante el contraste de datos cuantitativos provenientes de dos fuentes principales: los Censos Nacionales de Población, Hogares y Viviendas (Instituto Nacional de Estadística y Censos, INDEC) correspondientes a los años 1991, 2001 y 2010; y las bases georrefernciadas del Servicios de Catastro e Información Territorial de la provincia de Santa Fe (SCIT), incorporada mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), permitiendo identificar las transformaciones de suelo, de rural a urbano durante los siglos XX y XXI. Así como, realizó un estudio comparativo de imágenes satelitales históricas y actuales.

Los resultados obtenidos, resaltan que la expansión urbana generalizada de la expansión urbana, identificando una tríada de actores claves que lo generan: i) los desarrolladores inmobiliarios, ii) el Estado, principalmente comunal o municipal; y iii) los habitantes que adquieren parcelas y lotes.

Así, como se encuentra el trabajo realizado por Cruz-Muñoz (2021), cuyo objetivo es dar cuenta del proceso social de construcción del hábitat en la periferia metropolitana ante un contexto de oferta inmobiliaria de masivos conjuntos habitacionales. Con el fin de realizar un análisis comparativo del proceso de expansión urbana de las cuatro megaurbes latinoamericanas: Buenos Aires, Ciudad de México, São Paulo y Río de Janeiro.

El periodo de análisis que se consideró de 2000 a 2010, realizando proyecciones para 2020, utilizando fuentes estadísticas y geográficas. Para el caso de las fuentes estadísticas fueron los Censos Demográficos de 2000 y 2010 del Instituto Brasileiro de Geografía e Estadística (IBGE) para el caso de río de Janeiro y São Paulo; los Censos Nacionales de Población, Higares y Vivienda de 2001 y 2010 del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) para el caso de Buenos Aires; y los Censos de Población y Vivienda 2000 y 2010 del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) para la Ciudad de México.

Las variables utilizadas para analizar el proceso de expansión metropolitana fueron la población de cada zona metropolitana y la dotación de servicios básicos a las viviendas localizadas en la periferia urbana. Respecto a la información cartográfica, utilizó los marcos geoestadísticos de la IGBR, INDEC e INEGI; complementándola con fotointerpretación derivada de fotografías aéreas.

Los resultados obtenidos por Cruz-Muños (2021), resaltan que las cuatro megaciudades se presenta un proceso de uso extensivo del suelo con una reducción sostenida de la densidad de población. Previendo que para 2020, la densidad las cuatro áreas metropolitanas será prácticamente la mitad registrada en 1990. Además, las cuatro presentan un índice de compacidad muy bajo, resultado principalmente de la existencia de numerosos polígonos urbanos circundantes al área principal.

Por último, en esta secuencia de trabajos encontramos al realizado por Dávila et al. (2021), cuyo trabajo se centra en la monitorización del cambio en los patrones de distribución espacial del uso del suelo urbano que se ha presentado en la zona de presión intermunicipal de Chihuahua en el periodo 1995-2015.

Para ello realizó el siguiente procedimiento:

- Descripción del área de estudio.
- Fuentes de datos: Se utilizaron tres escenas de satélite del sensor Landsat TM 1995, 2005 y 2015. El Path/Row correspondiente a la localización de la imagen con relación al índice Landsat fue el 32-40. Los datos y análisis de la información fueron soportados y procesados en el software RStudio (2009) Versión 1.1.463, ArcGIS® Versión 10.5 (ESRI, 2016) y FRAGSTATS Versión 4.2 (McGarigal and Marks, 1995). Para el análisis de cambio de cobertura y uso de suelo se tomaron como base las imágenes de 1995 y de 2015.
- Procesamiento de las imágenes de satélite.
- Sobreposición de bandas.
- Selección de índices de paisaje: Número de Manchas (NP), Densidad de Manchas (PD), Tamaño Medio de las Manchas (AREA_MN), Compacidad Media de los Fragmentos (GYRATE_MN), Índice de Forma (SHAPE) y Distancia Media a las Manchas más Próximas (ENN_MN).

Los resultados obtenidos por Dávila et al. (2021), destaca que las superficies de la vegetación presente en 2015, se observa claramente que siguen el mismo comportamiento respecto al porcentaje en su distribución; sin embargo, se observa una disminución considerable en la categoría de agricultura de riego y temporal y un aumento en la categoría de asentamientos humanos.

Como también muestran la existencia de una serie de cambios en los patrones de distribución espacial del uso de suelo residencial en la aglomeración urbana de la zona metropolitana de Chihuahua, desde 1995 al 2015.

Los distintos enfoques, para analizar el proceso de expansión urbana en el mundo se engloban en las siguientes categorías: monitoreo de la expansión urbana, fundamentos teóricos y técnicos, y modelos de crecimiento o construcción de escenarios futuros. Cuyos trabajos pueden pertenecer a más de una categoría, mismos que se mencionan a continuación y como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6. Estudios de crecimiento y expansión urbana

Autor	Año	Tipo	Objetivo	Resultados
Suárez y Delgado	2007	Modelo de crecimiento	Analizan tres escenarios de expansión metropolitana elaborados conforme a diferentes supuestos de densidad de población y estimados mediante análisis estadístico espacial usando SIG.	Obtienen un escenario de la expansión urbana para el año 2020 entre 38 mil y 56 mil hectáreas. Destacando el papel de la administración pública metropolitana para controlar la forma de expansión urbana y la regulación de los usos de suelo de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.
Brugués, Fuentes y Cervera	2009	Modelo de crecimiento / Fundamento técnico	Realizaron una simulación del crecimiento urbano de la ciudad de Chihuahua CCH). Mediante el uso de las siguientes fuentes de información: 1) imágenes satelitales del sensor LANSAT del período 1973 a 2008; 2) procesamiento del Modelo Digital de Elevaciones (MDE); y 3) información de datos vectoriales del INEGI. La preparación y clasificación utilizaron las plataformas del software ENVI y ArcView.	Para el caso de la ciudad de Chihuahua, observan diferencias entre la tasa de crecimiento de la mancha urbana y la población, misma que es explicada por el crecimiento expansivo de la mancha urbana. Señalan que en los últimos años el crecimiento se generó en forma de anillos concéntricos a expandirse sobre los principales ejes carreteros, resaltando en dirección -Norte.
Tapia, Reyes, y López	2009	Monitoreo de la expansión urbana	Analizaron el crecimiento que se ha dado en la zona urbana del Municipio de Puebla, durante el periodo de análisis de 1970 a 2006, realizando una separación de la mancha urbana, realizando una separación de la mancha urbana, diferenciando las manchas producidas por asentamientos dispersos dentro del municipio.	Señalan que el proceso de ocupación del suelo del territorio municipal dedicado al uso urbano se ha ido incrementando, fomentado por la especulación y la demanda; afectado la sostenibilidad futura del sistema que conforma el territorio del municipio.

Autor	Año	Tipo	Objetivo	Resultados
Bhatta	2010b	Fundamento teórico	Discutir los modelos urbanos, identificando sus clases, comenzando desde modelos teóricos hasta modelos de transporte de uso de la tierra basados en células, en agentes y en reglas; considerando tanto sus fortalezas como debilidades; concluyendo en una discusión detallada sobre estudios para modelar el crecimiento urbano a partir de datos de teledetección o precepción remota.	Respecto a la clasificación de modelos urbanos, después de realizar una revisión de literatura, propone la siguiente clasificación: • Modelos teóricos. • Modelos de dinámica urbana a nivel agregado. • Modelos de complejidad basados en la ciencia. • Modelos de transporte y uso de la tierra basados en reglas.
Bhatta	2010a	Fundamento teórico	Orientar sobre cómo se puede medir y analizar el crecimiento urbano; mediante el uso de matrices de transición, métricas y estadísticas espaciales. Resaltando que en ocasiones se solapan en aplicaciones de análisis del crecimiento urbano.	Resalta la importancia de las estadísticas espaciales, ya que permiten cuantificar la estructura espacial de los datos muestreados, por otro lado, las métricas espaciales caracterizan las propiedades geométricas y espaciales de los datos cartografiados. La estadística espacial describe el grado de autocorrelación o la dependencia espaciales de los valores de una variable que se ha muestreado en varias coordenadas geográficas.
Jantz, Goetz, Donato y Claggett	2010	Monitoreo de la expansión urbana / Fundamento teórico	Buscan describir un sistema regional de modelado de la cobertura del suelo urbano que se desarrolló para la cuenca de la Bahía de Chesapeake, localizada al este de los Estados Unidos, desarrollando un sistema de modelado regional a escala fina (30 metros x 30 metros) por tamaño de celda o pixel, basándose en el modelo de cambio de cobertura de suelo urbano SLEUTH propuesto por Clarke, Hoppen y Gaydos en 1997 y el Servicio	Los pronósticos para toda la cuenca indican una continuación e intensificación de las tendencias de desarrollo que se observaron en el período de 19900-2000. Focalizándose la urbanización en el sureste de Pensilvania, entre Harrisburg y Filadelfia, y en la península de Delmarva.

Autor	Año	Tipo	Objetivo	Resultados
			Geológico de EE. UU., en 2007; lo aplicaron para pronosticar el crecimiento hasta el año 2030 en un área que cubre 257,000 km^2.	
Santos, Azcárate, Cocero, García y Muguruza,	2012	Monitoreo de la expansión urbana / Fundamento teórico	Analizar la función residencial de Madrid y Granda, cuya estructura dominante continúa siendo la definida en el modelo metropolitano monocéntrico (origen).	El fenómeno de la dispersión o expansión urbana está caracterizado por un aumento en su superficie y en consecuencia de una urbanización extensiva de baja densidad.
Plata, Baluja y Bosque	2012	Monitoreo de la expansión urbana / Fundamento teórico	Examinan cuáles son las causas de que, unas zonas del territorio se urbanicen y otras no lo hagan. Por lo que es necesario, considerar una teoría socio-territorial que fundamente la selección de variables explicativas, en las que se establezcan indicadores empíricos y operativos.	Con la información recopilada se determinaron los factores relacionados con el crecimiento de las superficies artificiales de mayor incremento entre las dos fechas de estudio: tejido urbano continuo, estructura urbana laxa, urbanizaciones exentas, zonas industriales y zonas comerciales y en construcciones, y su agregación en conjunto.
Aguilera, Gómez y Plata	2012	Modelo de crecimiento / Fundamento técnico	Aborda la base teórica de los escenarios y modelos de simulación, como un acercamiento a ellos a través de la presentación y discusión en el contexto del proyecto SIMURBAN.	Los resultados obtenidos de las simulaciones por Aguilera et al. (2010), para la región urbana de Madrid, plasman de manera espacial los tres escenarios exploratorios establecidos. Destacando como pueden observarse los escenarios integrados pueden ser espacializados a través del empleo de instrumentos de simulación prospectiva, en esta ocasión basado en AC. Modelos normativos de simulación del crecimiento urbano basados en técnicas de evaluación multicriterio (EMC). Técnicas de EMC y su integración en un SIG para la toma de decisiones territoriales.
Gómez, Plata, Orán, Calabia y Barreria	2012	Fundamento técnico	Propone el uso de la metodología desarrollada por Gómez Delgado en 2003 para la validad de los modelos	Los distintos procesos de validación son distintos dependiendo del tipo de modelo instrumentado.

Autor	Año	Tipo	Objetivo	Resultados
			considerando el Análisis de Sensibilidad (AS) y Análisis de Incertidumbre (AI), con ello se analiza tanto su estabilidad y el alcance de los posibles errores.	Destacando que tanto para el caso de las Ciencias Experimentales y las Ciencias Sociales, no existe un acuerdo general en la comunidad científica sobre en qué consiste el proceso de validación de los resultados del modelo.
Molina, Martínez, Marquina y Amaya T	2013	Modelo de crecimiento / Fundamento técnico	Implementan la técnica de análisis espacial de "algebra de mapas", misma que permite la superposición de variables, incluyendo exclusivamente la evaluación de variables físico-naturales, las cuales juegan un papel determinante para la localización de áreas aptas para el desarrollo urbano, usando un sistema de información geográfica.	Se distingue para el caso de Venezuela, la expansión y el crecimiento de las ciudades se han acelerado recientemente, conduciendo a la formación de ciudades extendidas, incluso aquellas de tamaño mediando. Generando un proceso de transformación urbana, que incide notablemente en la sustitución de usos, el agotamiento de la capacidad de soporte de las ciudades y la ampliación de la frontera urbana hacia tierras poco aptas para la urbanización
Mejía	2013	Modelo de crecimiento / Fundamento teórico	Determinar si el crecimiento de los asentamientos humanos correspondiente a 33 municipios de la región noreste de Michoacán existe la disponibilidad agua de uso doméstico suficiente para sus habitantes para los años 2014 a 2040.	Comprueba la hipótesis de investigación, identificando áreas donde el cambio de uso de suelo rural a urbano ha ocasionados problemas de abasto de agua. Estimando un aumento en la superficie urbana en 89,254.25 ha de suelo urbano para el año 2056, observando un aumento de la extensión de ciudades y la nula actividad de retroalimentación del sector primario y la disponibilidad de agua, provocando un desequilibrio tanto en el medio rural como en el urbano, repercutiendo en su sustento.
Urriza y Garriz	2014	Fundamento teórico	Realizan un debate en torno a los modelos de ciudad compacta y ciudad dispersa, analizan el proceso de	Mencionan que la problemática del crecimiento urbano está directamente vinculada a la

Autor	Año	Tipo	Objetivo	Resultados
			expansión y disponibilidad física de tierras urbanizables en Bahía Blanca y, de la normatividad urbana recientemente sancionada en la ciudad	propiedad de la tierra, en donde los agentes que intervienen y la gestión del suelo que determina su dinámica en distintos períodos van configurando la expansión y la densificación de la mancha urbana, como el desarrollo de forma compacta o bien siguiendo algunos ejes de crecimiento.
Jiménez y Galena	2016	Modelo de crecimiento / Fundamento técnico	Identificar las relaciones urbano-rurales desde una perspectiva de ecosistema urbano mediante el análisis de procesos de cambio de uso de suelo en la Cuenca de México. Asimismo, busca generar un escenario tendencial que permita la identificación y proyección de los patrones espaciales de la expansión de los sistemas productivos a partir de tasas de cambio observadas, de tal manera que contribuya a determinar los posibles efectos en la funcionalidad del área de estudio.	La expansión urbana ha afectado de manera significativa a los sistemas productivos y a la vegetación. En el caso del proceso de cambio entre sistemas productivos y vegetación, existe una clara tendencia a la expansión de la superficie agropecuaria a costa del capital natural; esta transición representa más del doble de la recuperación de la cobertura vegetal. La superficie urbana pasará de alrededor del 21% de la superficie de la Cuenca en 2015 al 32% en 2030; se prevé que los sistemas productivos sean la clase más afectada por dicha expansión.
Corona	2016	Modelo de crecimiento / Fundamento técnico-teórico	Conocer cuál ha sido la tendencia de ocupación del territorio en la Cuenca de México por la expansión de la mancha urbana en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), para posteriormente generar escenarios de crecimiento urbano que ayuden a identificar las zonas vulnerables al establecimiento de asentamientos humanos y a la consiguiente pérdida de recursos naturales.	A partir del modelado, la expectativa para el año 2030 es que la mancha urbana abarque un área de 373,061 hectáreas, equivalente al 38.8% de la superficie total de la cuenca, misma que se ha dirigido hacia diferentes regiones a lo largo del periodo de estudio. Revelando que la Ciudad de México sigue demandando suelo y su tendencia de ocupación en dirección en la periferia sur.

Autor	Año	Tipo	Objetivo	Resultados
Dammert y Bensús	2017	Monitoreo de la expansión urbana	Analizan el proceso de conurbación de las ciudades peruanas de Zarumilla y Aguas Verdes, ubicadas en la frontera con Ecuador. Prestando especial atención a la manera en que los proceso y fenómenos a escala local, nacional, internaciones y global afectan las dinámicas socioeconómicas en zonas de frontera y, como consecuencia, alteran su forma física y el vínculo de sus habitantes con las ciudades el otro lado del límite fronterizo. Mediante un trabajo de campo que consistió en la aplicación de encuestas, entrevistas, observaciones y la revisión de fuentes secundarias.	Identifican que el grueso de la población de la conurbación tiene un origen migratorio. En donde, los principales departamentos de origen son de Piura y Lambayaque. Derivado de las posibilidades de empleo asociadas a vivir en la conurbación, además de las decisiones familiares.
Vilela y Moschella	2017	Monitoreo de la expansión urbana	Estudian las transformaciones del paisaje originas por la urbanización informal a partir de la acelerada expansión urbana sobre el humedal de Purrumpampa, en la ciudad de Huamachuco. A través del análisis participativo y mesas de trabajo. Examinando la percepción y la valoración del paisaje; así como los problemas y las posibilidades de crecimiento de la ciudad. Además, evalúan en qué medida las estrategias desde la sociedad civil y la gestión del contribuyente a la construcción de nuevos paisajes en un modelo de ciudad sostenible.	El caso de Purrumpampa se identifican el proceso de ocupación informal del suelo para la construcción de vivienda popular ya no es predominantemente una práctica propia de sectores en situación de pobreza, sino que se ha generalizado en la informalidad en el crecimiento de la ciudad. Así como el conflicto entre urbanización informal y el paisaje natural en Parrumpampa es percibido por la sociedad civil y los funcionarios de modo contradictorio. Por un lado, es valorado por los vecinos como pulmón de la ciudad, espacio público recreacional y atractivo turístico; por otro lado, manifiestan desinterés por la regulación del tipo de uso del suelo en terrenos de propiedad privada.
Cano, Rodríguez, Valdez, Acevedo y Beltrán	2017	Monitoreo de la expansión urbana	Determinar la tasa de crecimiento urbano durante el periodo de 200-2014 del estado de Hidalgo, e identificar las	El crecimiento urbano se caracteriza por la conurbación de ciudades (como es el caso de estudio), y no por el

Autor	Año	Tipo	Objetivo	Resultados
			zonas potenciales de expansión a partir de imágenes Landsat.	aumento de superficie en centros urbanos independientes, la planeación urbana se convierte en un reto aún mayor debido a que cada municipio está sujeto a regulaciones político-administrativas previamente establecidas.
Linares y Picone	2018	Monitoreo de la expansión urbana / Fundamento técnico-teórico	Mejorar la calidad de las clasificaciones y asegurar que los tipos de uso del suelo puedan representar firmas espectrales categóricas de acuerdo con la nomenclatura administrativa utilizada para planificar y gestionar el espacio urbano.	Son notorias la densificación urbana y al aumento de una clase de alta densidad. Se puede decir que existe un importante proceso de compactación caracterizado por la densificación del centro de la ciudad y alrededores. Además de un procese de suburbanización La evaluación de la metodología se realizó con información catastral del ayuntamiento, mostrando un 86% de precisión global donde los errores van del 12% al 15% como máximo.
Miyazaki, y Shibasaki	2018	Monitoreo de la expansión urbana / Fundamento técnico	Presentan el desarrollo experimental de un sistema para le mapeo de asentamientos humanos de series temporales utilizando archivos históricos con procesamiento de datos bajo demanda.	Los resultados mostraron efectivamente mapas de asentamientos humanos, debido a la solidez fortalecida al combinar datos satelitales de múltiples fechas. La calidad debe validarse de manera estadística, como la evaluación de la precisión utilizando un rango de error.
Esch, Heldens e Hierner	2018	Monitoreo de la expansión urbana / Fundamento técnico	Tienen por objetivo disminuir la brecha de carencia de información para medir la Huella Urbana Global (GUF). Así como mencionan que el GUF es un inventario de la presencia humana en la Tierra en forma de mapa ráster que refleja el patrón de asentamientos humanos en una resolución única hasta el momento de 12 metros.	Las huellas urbanas de todo el mundo se pueden analizar en comparación, permitiendo responder preguntas sobre el área total de la ciudad o la urbanización del entorno. Por lo que los datos representan un inventario preciso tanto de las grandes aglomeraciones urbanas como de las áreas

Autor	Año	Tipo	Objetivo	Resultados
				edificadas dispersas a pequeña escala en las regiones rurales. Permitiendo análisis cuantitativos detallados, tanto a nivel municipal, local hasta escala global.
Jabari y Zhang	2018	Monitoreo de la expansión urbana / Fundamento técnico	Desarrollan un método de registro conjunto de parches (PWCR) para registrar imágenes satelitales bitemporales de manera parcheada. En este método, se utilizan coeficientes polinómicos racionales (RPC) de imágenes de satélite y un DSM del área para realizar el registro de imágenes por parches, con la finalidad de observar los cambios en las coberturas de los usos de suelo.	Para mejorar la precisión de la detección de cambios urbanos señalan es necesario considerar dos conceptos de manera separada: la mejora de la calidad del corregistro y la mejora de la calidad de la detección de cambios. Con relación a la precisión del registro conjunto, la precisión del DSM afecta en gran medida la precisión del registro conjunto. Por lo tanto, un DSM con una precisión superior o igual a la resolución espacial de las imágenes puede mejorar significativamente los resultados del registro conjunto.
Sandoval	2018	Modelo de crecimiento / Fundamento técnico-teórico	Elabora un modelo computacional de Ensenada que ayude en la identificación y análisis del surgimiento de zonas atractivas a la industria como resultado de la aglomeración espacial de condiciones propicias para este uso, y la posterior ocupación de estas, tomando como base los lineamientos propuestos en el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada.	Los resultados del modelo demostraron que al inicio hay una mayor cantidad de Suelo Atractivo para industria en subsectores de incompatibilidad con esta actividad, lo que pone de manifiesto que, al ir creciendo la ciudad, se mantiene una mayor demanda de reservas territoriales, evidenciando incongruencias en lo establecido en el programa.
Jiménez, Garrocho y Chávez	2018	Modelo de crecimiento / Fundamento técnico-teórico	Diseñan un método de modelado de carácter general fundamentado en Autómatas Celulares en Cascada (ACC), que permita construir modelos operativos específicos de la expansión de las ciudades mexicanas.	El trabajo presenta aportaciones metodológicas y empíricas de alta aplicabilidad al análisis y planeación de las ciudades en México. La construcción de modelos de expansión urbana basados en ACC, permite la construcción de escenarios

Autor	Año	Tipo	Objetivo	Resultados
				sobre este fenómeno en las ciudades mexicanas.
Carneiro, Toledo, Aurélio y Orrico	2019	Monitoreo de la expansión urbana / Fundamento técnico	Analizar la accesibilidad, expansión urbana y exclusión social; mediante el caso de estudio de la ciudad de Río de Janeiro, midiendo la accesibilidad al mercado de trabajo formal por transporte público, entendiendo el impacto de la ubicación de las diferentes áreas de la ciudad y la infraestructura de transporte disponible en cada región.	Resaltan que los barrios con mayor accesibilidad cuentan con estaciones de metro o tren. Mostrando una tendencia en la que a más alejado del centro se encuentra la zona, menor es la accesibilidad. Respecto a la oferta de transporte, se observa que existe un número de regiones con buena accesibilidad, aunque no se encuentran cercanas al centro.
De Andrade, D., De Souza, A., y Gomes	2019	Monitoreo de la expansión urbana / Fundamento técnico	Realizan un análisis temporal busca, por medio de mapas axiales, explorar la expansión urbana y el sistema vial urbano-regional. Para ello, utilizaron el uso de cartas topográficas, elaboradas para el año 1977 y de la base de datos de las vías urbanas existentes en el año 2015, obtenidas del proyecto Open Street Mao (OSM).	La cartografía resultante del índice de integración de las vías urbanas proporcionó una visión espacial del sistema viario intraurbano relevando indicios de un proceso de urbanización dispersa, permitiendo evidenciar la Carretera Presidente Dutra como un elemento estructurado del espacio urbano-regional en el Valle del Paraíba Paulista.
Ramírez	2020	Modelo de crecimiento / Fundamento técnico-teórico	El trabajo realizado por Ramírez (2020), sobre el crecimiento económico y expansión física de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, constituye un esfuerzo teórico-analítico de diagnóstico y prospectiva territorial, usando modelos de simulación y predicción de la expansión urbana con información histórica y de grades bases de datos.	Sobre los resultados obtenidos en la zona de estudio, en la zona norte, nororiente y norponiente, en las diversas áreas urbanas ubicadas como manchas o partes del plato roto. Comienzan a unificarse en un área urbana continua, cuyo comportamiento sería similar al poniente, como al oriente. Con relación al oriente se observan crecimientos y formaciones urbanas continuas, además del aumento de superficie urbana de algunas localidades urbanas.
Galimberti	2021	Monitoreo de la expansión urbana / Fundamento técnico	Mediante una metodología cuali-cuantitativa y mediante un abordaje multiescalar, analizan el proceso de creación	Resalta que la expansión urbana generalizada se identifica una tríada de actores claves que lo

Autor	Año	Tipo	Objetivo	Resultados
			de suelo urbano del Área Metropolitana de Rosario desde la década de 1930 hasta 2018, identificando las nuevas urbanizaciones, dinámicas poblacionales del área, los actores que intervienen y los instrumentos de planeamiento urbano-territorial.	generan: i) los desarrolladores inmobiliarios, ii) el Estado, principalmente comunal o municipal; y iii) los habitantes que adquieren parcelas y lotes.
Cruz-Muñoz	2021	Monitoreo de la expansión urbana / Fundamento teórico	Tiene por objetivo dar cuenta del proceso social de construcción del hábitat en la periferia metropolitana ante un contexto de oferta inmobiliaria de masivos conjuntos habitacionales. Con el fin de realizar un análisis comparativo del proceso de expansión urbana de las cuatro megaurbes latinoamericanas: Buenos Aires, Ciudad de México, São Paulo y Río de Janeiro.	En su análisis resaltan que las cuatro megaciudades se presenta un proceso de uso extensivo del suelo con una reducción sostenida de la densidad de población. Previendo que para 2020, la densidad las cuatro áreas metropolitanas será prácticamente la mitad registrada en 1990. Además, las cuatro presentan un índice de compacidad muy bajo, resultado principalmente de la existencia de numerosos polígonos urbanos circundantes al área principal.
Dávila, R., A., Alatorres C., Luis, y Bravo-Peña	2021	Monitoreo de la expansión urbana / Fundamento teórico	La monitorización del cambio en los patrones de distribución espacial del uso del suelo urbano que se ha presentado en la zona de presión intermunicipal de Chihuahua en el periodo 1995-2015.	El crecimiento de la población ha impactado fuertemente en el aumento de la mancha urbana, el cual ha promovido la construcción de fraccionamientos no planeados en tierras ejidales y de pastizales abiertos, y principalmente en tierras agrícolas que han perdido su vocación de uso de suelo agrícola para convertirse en áreas urbanas.

Fuente: elaboración propia a partir de Suárez y Delgado, 2007; Brugués et al., 2009; Tapia et al., 2009; Bhatta, 2010a; Bhatta 2010b; Jantz et al., 2010; Santos et al., 2012; Plata et al., 2012; Aguilera et al., 2012; Gómez et al., 2012; Molina et al., 2013; Mejía, 2013; Urriza y Garriz, 2014; Jiménez y Galena, 2016; Corona, 2016; Dammert y Bensús, 2017; Vilela y Moschella, 2017; Cano et al., 2017; Linares y Picone, 2018; Miyazaki, y Shibasaki, 2018; Esch et al., 2018; Jabari y Zhang, 2018; Sandoval, 2018; Jiménez et al., 2018; Carneiro et al., 2019; De Andrade et al., 2019; Ramírez, 2020; Galimberti, 2021; Cruz-Muñoz, 2021; y Dávila et al., 2021.

Para poder desarrollar y construir los escenarios sobre las tendencias de crecimiento urbano en las zonas de estudio, es recomendable el uso de herramientas especializadas (software) para el tratamiento de información espacial, identificados en los distintos estudios. Entre las múltiples opciones existentes, destacan el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). En este sentido y dadas las características metodológicas que se desean implementar se propone utilizar las descritas en la siguiente tabla, destacando la evaluación de los resultados generados en ellas, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 7. Herramientas especializadas sugeridas para la construcción de modelos de simulación

Software	Funciones	Funciones del sistema	Website
modelo SLEUTH	Modelo de simulación de crecimiento urbano mediante el uso de autómata celular	Modelo de crecimiento urbano de Clarke (UGM)	http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/index.html
LanduseSIM	Modelización y análisis espacial de la expansión urbana mediante Autómatas Celulares y Sistemas de Información Geográfica	Modelización de la expansión urbana y distintos usos de suelo implementando Enhanced Cellular Automata Model Algorithm	https://www.landusesim.com/
InVest	Escenarios tendenciales de los sistemas productivos	Permite elaborar modelos basados en funciones de producción, para observar patrones de contracción-expansión de sus distintas clases	https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest
TerrSet	Herramientas de modelización geoespacial	Escenario probabilístico-espacial mediante el uso de Cadenas de Markov y Autómatas Celulares	https://clarklabs.org/terrset/
Dinamica EGO	Modelado espacial estático-modelos dinámicos complejos	Cálculos de tasas de transición, así como en la simulación de escenarios a futuro para monitorear las trayectorias de los cambios	https://csr.ufmg.br/dinamica/
Statistical Analysis System (SAS)	Lenguaje de programación para la construcción de las tendencias de crecimiento	Construcción programa para la ejeccuín de algoritmo para la integración del modelo de expansión y crecimiento urbano	https://www.sas.com/es_mx/learn/academic-programs/software.html

Software	Funciones	Funciones del sistema	Website
SACcity	Simulación de escenarios futuros mediante Autómatas Celulares	Modelos de Autómatas Celulares	http://saccity.fch.unicen.edu.ar/
NetLogo	Simulación de escenarios futuros mediante Autómatas Celulares	Es un entorno de programación para la simulación de fenómenos naturales y sociales.	https://ccl.northwestern.edu/netlogo/
Estación de Inteligencia Territorial Christaller/ Autómatas Celulares	Modelo de calibración y simulación de crecimiento urbano desarrollado en entorno SIG (Qgis)	Modelo de crecimiento urbano mediante el uso de autómatas celulares	http://www.christaller.org.mx/index.php/gallery/tools/103-automatas-celulares#simulacion-automata-celular
URSA- Sistema de apoyo a la planificación urbana (BID)	Modelo que utiliza los mapas de características físicas y sociales de un área urbana para predecir el crecimiento de las características urbanísticas en años futuros. Para el caso de ciudades mayores a 100,000 habitantes de América Latina	Modelos futuros basado en Autómatas Celulares. Islas de calor. Crecimiento histórico de la zona urbana. Coberturas de suelo.	https://code.iadb.org/es/herramientas/ursa

Fuente: Elaboración propia.

Sobre las herramientas identificadas para la creación de escenarios de expansión urbana, se usó el más adecuado conforme a la información disponible y los requerimientos del equipo de cómputo disponibles para su desarrollo.

2.2. Estudios sobre sostenibilidad urbana y deterioro ambiental

Para el análisis de la sostenibilidad urbana desde un carácter multidimensional es necesario tomar consideración de elementos socioeconómicos, demográficos y ambientales. Tomando como consecuencia los efectos ocasionados por el proceso de expansión urbana, se identifican los siguientes trabajos, mimos que abonan tantos aspectos metodológicos, conceptuales y muestran en algunas ocasiones la relación de la expansión urbana con sus impactos que ocasiona.

Partimos del trabajo desarrollado por García y Vergara (2000), en donde su trabajo se encuentra orientado a conocer la evolución del concepto de sostenibilidad y la forma de su

enseñanza. Por lo que, su objetivo central procede a una clarificación del concepto de sostenibilidad, tomando en consideración sus diferentes interpretaciones como una crítica a las mismas, realizando una revisión bibliográfica y definiendo varios elementos: origen, tipos, relaciones con otras disciplinas y formas de análisis. Proporcionando bases conceptuales para su análisis.

Otro trabajo relevante es el desarrollado por Mokate (2001), cuyo objetivo es abordar los principales problemas económicos y sociales que afectan a América Latina y el Caribe, desde una perspectiva del desarrollo social. En donde aborda distintos elementos tanto teóricos como metodológicos para un adecuado análisis de la sostenibilidad, relacionándola con los principios de eficacia, eficiencia y equidad.

Mostrando que Makote (2001), toma en consideración que la sostenibilidad, debe de reconocer las vulnerabilidades de una iniciativa y no se limita a la dimensión financiera. Señalando que no depende tan sólo de su impacto sobre el entorno de la iniciativa, sino también de los impactos de la iniciativa sobre el entorno. Además, depende de las características y comportamiento del entorno con la iniciativa, como de la armonía entre ellos.

Además, se encuentra el trabajo realizado por Quiroga (2001), quien elabora una revisión de las principales iniciativas de desarrollo e implementación de indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible en el mundo, de relevancia tanto para países latinoamericanos y caribeños. En donde los indicadores construidos, constituyen un sistema de señales para evaluar el proceso hacia el desarrollo sostenible de los distintos países.

Cuyos hallazgos menciona Quiroga (2001), menciona que en los últimos treinta años, se ha avanzado considerablemente en la agenda ambiental y de desarrollo sostenible en el mundo. A un ritmo más lento del considerado, pero denotando avances que comprenden: el desarrollo conceptual y científico, institucional, diseño de políticas públicas, educación y movimientos ciudadanos, gestión ambiental, e instrumentos de medición del progreso hacia el desarrollo sostenible.

Sobre los obstáculos de los indicadores de desarrollo sostenible, resaltan aquellos en su avance conceptual y analítico, aquellos con debilidades institucionales que son reflejados en la disponibilidad de recursos para su investigación y desarrollo, así como en su doble condición como potenciadores y objetivadores de la eficacia tanto de la política pública y la búsqueda de la sostenibilidad (Quiroga, 2001).

Se suma el trabajo realizado por Gallopín (2003), cuyo trabajo se centra en examinar las distintas concepciones sobre el sistema de referencia de los conceptos de sostenibilidad y desarrollo sostenible, desde una perspectiva antropocéntrica hasta una ecocentrica, relacionando sus criterios, identificando distintos tipos de sostenibilidad: muy fuerte, fuerte, débil y muy débil.

El desarrollo sostenible considera Gallopín (2003), debe orientarse no sólo a preservar y mantener la base ecológica del desarrollo y la habitabilidad, sino también aumentar la capacidad social y ecológica de hacer frente el cambio, y la capacidad de conservar y ampliar opciones disponibles para confrontar un mundo natural y social en permanente transformación. Por lo que no puede significar simplemente la perpetuación de la situación existente. Planteando la pregunta central sobre lo qué se debe sostener, y qué debe cambiarse.

Además, se encuentra el trabajo de Edwards y Hyett (2004), quienes eleboran una guía sobre la sostenibilidad, exponiendo los programas y las políticas de gobiernos e instituciones a favor del medio ambiente y resume de forma muy completa las distintas medidas y soluciones ecológicas. Orientada a dar respuesta a uno de los mayores retos que se enfrentan los arquitectos en el siglo XXI.

Toma en consideración el abordaje del medio ambiente y su contexto profesional, haciendo hincapié a lo que se entiende por desarrollo sostenible, el impacto de las edificaciones, su relación con la ecología como con la arquitectura. Así como su relación con las inundaciones y agricultura. Cuyos aportes del trabajo de Edwards y Hyett (2004), proporciona las dimensiones de análisis que se deben tomar en consideración de la sostenibilidad.

Además, se identifica el trabajo realizado por Cortés y Peña (2015), cuyo objetivo es presentar una revisión de la literatura para compartir algunos de los avances y discusiones en el

campo del desarrollo sustentable; considerando, además, tanto el uso y definición de los términos sustentabilidad y sostenibilidad. Para ello propone un modelo de desarrollo sustentable orientado a permitir que los tomadores de decisiones tener un punto de partida para trazar sus políticas de gestión más focalizadas.

A partir de la construcción del modelo, Cortés y Peña (2015), señalan que el desarrollo sostenible es aquel tipo de desarrollo que se da en una nación que puede mantener o sostener el equilibrio en la parte social, económica y ambiental. Por su lado, el desarrollo sustentable, se enfoca en generar una mejor calidad de vida, sin dejar que el consumismo afecte a las generaciones futuras.

Cambiando un poco la perspectiva sobre el análisis de la sostenibilidad, encontramos el trabajo propuesto por el BID (2016a), con la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES), tiene por objetivo inmediato contribuir a la sostenibilidad ambiental, urbana, fiscal y de gobernabilidad de las ciudades de la región con un modelo que fomente la participación ciudadana. La ICES es un Programa de asistencia técnica y financiera a los gobiernos de ciudades intermedias de ALC que presentan una gran dinámica de crecimiento demográfico y económico.

Para ello, estableció tres dimensiones de análisis: 1. Sostenibilidad ambiental y cambio climático; 2. Sostenibilidad urbana; y 3. Sostenibilidad fiscal y gobernabilidad. Las cuales abarcan 11 pilares, 30 temas y 67 subtemas, en su conjunto representan 127 indicadores. Los indicadores cuentan con tres rangos: “verde”, si la gestión es adecuada o buena; “amarillo”, si el tema presenta algunas dificultades en su servicio o gestión; y “rojo”, si el servicio o gestión es deficiente y necesita atención (BID, 2016a).

Sobre el carácter multidimensional de la sostenibilidad, se identifica el trabajo realizado por Prieto-Sandoval et al. (2017), en donde bajo el paradigma de la economía circular propone cinco campos de acción concretos y presenta estrategias de diseño sostenible para conseguir la circularidad en los procesos productivos, permitiendo con ello la producción y consumo sostenible de bienes y productos.

Los resultados obtenidos por Prieto-Sandoval et al. (2017), es que, desde la perspectiva planteada, muestra que la economía circular no es una moda, sino un paradigma de actuación que ha dado como resultado la evolución del concepto de sostenibilidad, mostrando tanto su aplicación a la economía, la sociedad y el cuidado del ambiente que nos rodea.

También encontramos el trabajo realizado por Ávila (2017), quien aborda la discusión del concepto de desarrollo sustentable o sostenible, tomando como eje rector la perspectiva de desarrollo de la sociedad. Observando sus cambios en la contemporaneidad respecto a los valores de la sociedad. Para ello realiza una reseña histórica de su significado desde su origen hasta nuestros días, considerando también, sus distintas dimensiones de análisis.

Por lo que, Ávila (2018) prefiere usar el concepto como sustentable, considerando su aspecto temporal, además de aristas de gran relevancia que son de importancia a todos los seres de la tierra, su relación con la vida humana, como la relación con el presente y futuro del planeta tierra y si interacción con la misma.

Respecto a los trabajos de construcción de índices resumen, para medir la sostenibilidad se encuentra el trabajo realizado por ONU-Hábitat e INFONAVIT (2019), desarrollando el Índice de las Ciudades Prósperas (CPI), que permite tener una radiografía de la complejidad urbana, traduce el bienestar en una métrica medible, y mide la eficiencia de la ciudad y el efecto de las políticas públicas.

La implementación del CPI en México, pone de manifiesto que el modelo de desarrollo urbano ha sido insostenible en las ciudades del país, lo que ha impedido poder avanzar en la senda de la prosperidad compartida. Cuyo comportamiento se observa tanto al norte, sur y de este a oeste del país (ONU-Hábitat e INFONAVIT, 2019).

Mencionando que México es y seguirá de carácter urbano, en donde si se desea subsanar los problemas que enfrenta, debe de redefinir el modelo de urbanización desde una perspectiva de desarrollo sostenible, con la finalidad de reformar y hacer más eficiente el sistema de ciudades; tomando en cuenta tanto lo rural y lo regional, para avanzar en la equidad y prosperidad compartida (ONU-Hábitat e INFONAVIT, 2019).

Además, se encuentra el trabajo realizado por Medina (2019), que tiene por objetivo encontrar el grado de sostenibilidad urbana a parir del acceso a servicios urbanos, en los municipios centrales de la Zona Metropolitana de Pachuca. Desde la línea de investigación de Población y Ambiente, para ello hace uso de métodos y técnicas de análisis espacial como análisis exploratorio de datos y regresión espacial con el software Geoda. Permitiendo comprender los factores que intervienen en la medición de la sostenibilidad urbana por acceso de servicios urbanos, como observar las condiciones de la vivienda, entorno urbano y su comportamiento en el territorio.

Los resultados obtenidos por Medina (2019), muestran la existencia de heterogeneidad en el territorio, dicho resultado se observó mediante el uso de técnicas de análisis espacial y los sistemas de información geográfica. Con ello, además se identificaron escenarios de baja sostenibilidad urbana, mediante el empleo de información censal.

También se identifica el trabajo realizado por Valdivia-Loro (2019), cuyo objetivo de la investigación es evaluar el índice de sostenibilidad urbana de Lima Metropolitana a través de la identificación de dimensiones que lo componen. Para ello se realizó una breve revisión en la base de datos Scopus sobre la producción académica sobre este tema. Posteriormente, se señalaron las consecuencias teóricas evidentes tras la revisión y el uso del Índice de Desarrollo Humano como muestra de la insostenibilidad urbana. Por último, se problematizo el caso peruano y de se demostró por el caso de Lima Metropolitana que el uso del promedio armónico es el más adecuado para el cálculo del índice de sostenibilidad urbana.

Los resultados obtenidos por Valdivia-Loro (2019), se observa que la Lima Metropolitana aún no ha alcanzado un punto de insostenibilidad, sin embargo, se encuentra en una etapa de sostenibilidad urbana cuantitativa y cualitativamente baja con tendencia negativa. Sin embargo, en otras dimensiones presenta valores positivos, tal es el caso del bienestar social y equidad, como en temas de participación ciudadana.

Otro trabajo relevante es el de Arias (2020), tiene por objetivo contrastar la realidad latinoamericana con otras realidades destacadas en el tema sobre el desarrollo de indicadores de desarrollo sostenible, como lo es la europea mediante el caso español, con la finalidad de superar una visión sectorial de análisis. Desarrollando una batería de indicadores de referencia con énfasis

en la dimensión física ambiental, cuya utilidad a un modelo de Unidad Barrial Sostenible (UBS) para Latinoamérica.

Los resultados obtenidos por Arias (2020), muestra que en el caso de Latinoamérica el desarrollo de este tipo de indicadores se ha realizado con una demarcada desigualdad; sim embargo, se observa el apoyo de algunas organizaciones internacionales en su desarrollo. Además de que se encuentran sustentadas en el marco ético de la sostenibilidad. Así como, logra comprobar que no existe un modelo de indicadores de este tipo que se adapte puntualmente a las áreas periféricas espontáneas de las ciudades latinoamericanas.

Sobre la construcción de un índice resumen, se encuentra el trabajo de De Las Heras et al. (2020a), realiza un análisis de la sustentabilidad del desarrollo urbano de la Megalópolis del Centro de México, basado en la elaboración de un índice resumen a partir de 17 indicadores con el método de componentes principales, con la aplicación de técnicas de análisis espacial (AEDE).

El Índice de Sustentabilidad del Desarrollo Urbano Integral, se encuentra integrado por tres etapas: 1. Selección de fuentes para la elaboración de indicadores y sus características; 2. Construcción del índice y su validación; y 3. Técnicas de análisis. Para la construcción del índice considera nueve temas de sustentabilidad de desarrollo urbano y 17 indicadores, para cada uno de los 198 municipios y alcaldías de la Megalópolis del Centro de México.

Los resultados obtenidos por De Las Heras et al. (2020a), muestra que la Megalópolis del Centro de México es un espacio altamente diferenciado en cuestión de sustentabilidad, donde convergen y se relacionan municipios con dinámicas de crecimiento, densidades, grados de dependencia económica, infraestructuras, calidad educativa y de servicios médicos, marginación urbana disímiles.

Sumado a ello, encontramos otro de sus trabajos en donde De Las Heras et al. (2020b), tiene por objetivo el análisis espacial de la sustentabilidad ambiental urbana de la megalópolis del centro de México mediante la creación de un Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU) a partir de tres subíndices que contemplen las tres dimensiones de la sustentabilidad (Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental; desarrollo urbano integral y una tercera de

gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia). El nivel de desagregación del estudio fueron los municipios y alcaldías de la megalópolis.

Se construyó el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU) a partir de 35 indicadores agrupados en tres dimensiones, cada una de estas correspondiendo a respectivos subíndices: el Subíndice de la Dimensión I se compone a su vez de dos subíndices, uno con 8 indicadores numéricos y el otro con 7 indicadores de tipo nominal. Con los tres subíndices se calculó a su vez el ISAU. Tanto los Subíndices como el ISAU se elaboraron con la técnica del Análisis de Componentes Principales (ACP).

Los resultados obtenidos por De Las Heras et al. (2020b), afirman que en materia de sustentabilidad ambiental urbana dentro de la megalópolis y observando su patrón espacial es de disminución de los niveles de sustentabilidad de los núcleos metropolitanos localizados en: Ciudad de México, Puebla, Toluca, Cuernavaca y Pachuca. Además de que este comportamiento también se observa en municipios vecinos conurbados en dirección a las periferias.

También se encuentra el trabajo realizado por López (2020), que pretende demostrar a través de distintas modelaciones de los sistemas de preservación ecológicos, si la restauración ambiental de estos suelos urbanos deteriorados ayudaría o no al mejoramiento de la sustentabilidad en la ciudad en la toma de decisiones como en la asignación de recursos para el ordenamiento urbano, para el caso del Valle Medio del Sistema de Preservación del Ecológica Río Tunjuelito, en la Ciudad de Bogotá, Colombia.

Para ello, desarrolla un modelo de sustentabilidad aplicado al suelo urbano, permitiendo evaluar la efectividad de las decisiones de ordenamiento urbano a través de simulaciones, dando énfasis a algunos aspectos del modelo: económico, social, ecológico y físico-espacial. Reflejándose en la construcción de escenarios de sustentabilidad con una visión holística y eficiente del fenómeno urbano.

Los resultados obtenidos por López (2020), derivados de la modelación en la zona de estudio, concluye en que el proyecto no soluciona las condiciones de insustentabilidad urbana. Por ello, es necesario trabajar en proyectos simultáneos para obtener resultados significativos. Sumado

a trabajar sobre otras posibilidades de gestión para la implantación del proyecto y el desarrollo de otros proyectos.

Por otro lado, con una perspectiva diferente, pero orientada al análisis de la sostenibilidad urbana y su relación con del derecho a la ciudad, se encuentra el trabajo realizado por Aguilera (2021), en donde usando métodos sociológicos, análisis-síntesis, teórico-jurídico y hermenéutico-jurídico, es abordado. Tomando en consideración su definición, dimensiones e indicadores que determinan su presencia, como las limitantes actuales a las que se enfrentan.

Sobre los resultados obtenidos por Aguilera (2021) se ven reflejado en tres puntos:

1. Una caracterización de manifestaciones de sostenibilidad urbana para la determinación de limitaciones que sobre ella están presentes en sociedades actuales.
2. Una sistematización de presupuestos teóricos relativos a la relación entre la sostenibilidad urbana y el derecho a la ciudad.
3. Una fundamentación que contribuye a la argumentación de aplicar el derecho a la ciudad para contribuir el alcance de una mayor sostenibilidad urbana.

En esta misma vertiente, encontramos el trabajo realizado por Flores (2022), que tiene por objetivo estimar un indicador conjunto que muestree el estado de sustentabilidad urbana y el derecho a la ciudad en Uruapan, Michoacán, para el periodo de 2005 a 2018. Para ello, adaptó la metodología propuesta por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) conocida como el biograma.

Los resultados obtenidos por Flores (2022), permiten hacer posible estimar tanto la sustentabilidad urbana y el derecho a la ciudad, cuyo resultado arroja en la zona de estudio, se encuentra en una situación crítica con un valor de 0.52/1.00, lo que se traduce en quedar comprometidas las condiciones de bienestar actuales y futuras de todos sus habitantes. Por lo que es necesario, emplear políticas públicas para el cambio de esta tendencia y lograr un desarrollo más sustentable.

Otro trabajo relevante, es el desarrollado por Citibanamex (2022), desarrollando el Índice de Ciudades Sostenibles (ICS), permite ofrecer un análisis de la sustentabilidad en las principales ciudades mexicanas se encuentran en un punto crítico para construir instituciones, definir políticas y destinar recursos con una visión sustentable de largo plazo, orientadas para evitar fenómenos de las ventajas competitivas de las económicas de escala y agoten los recursos naturales. La evaluación realizada corresponde a la temporalidad de 2015 y 2020, así como se encuentra alineada a los ODS y de la Agenda 2030.

Los resultados obtenidos por Citibanamex (2022), presenta el avance de las zonas metropolitanas en el cumplimiento de los ODS en dos momentos en el tiempo. El primero en el año 2015 y el segundo en 2020; cuyos resultados arrojaron que las zonas metropolitanas obtuvieron una puntuación promedio de 56.06, lo que se traduce con base en los indicadores utilizados y las metas propuestas para cada uno, las 63 zonas incluidas, han avanzado en promedio 56.06% del camino hacia el cumplimiento de la Agenda 2030.

Además, el promedio del índice general de las 63 ZM para el primer año de corte (2015) fue de 53.18, hubo un avance de 2.88 puntos porcentuales entre 2015 y 2020. Resaltando Chilpancingo un mayor avance hacia el cumplimiento de la Agenda 2030, con respecto a 2015, aunque es un resultado insuficiente para alcanzar las metas propuestas en el ICS.

Otro trabajo relevante, es el realizado por Hinojosa-Pérez et al. (2022), orientado en realizar una revisión que integra el uso de indicadores de sustentabilidad en la evaluación del manejo sustentable a nivel cuenca, siendo de especial relevancia su selección. Uno de los objetivos del trabajo es proporcionar información de interés que permita superar el proceso de incertidumbre durante la identificación y selección de indicadores para la evaluación de la sustentabilidad de una cuenca hidrológica. Para ello se empleó la planeación participativa y la obtención de una primera aproximación de indicadores mediante la revisión de literatura.

Los resultados obtenidos por Hinojosa-Pérez et al. (2022), permiten realizar un diagnostico espacial, cuya ventada radica en la eficiencia para planear y crear un sistema que proporciones el desarrollo y planificación de un manejo sustentable de la cuenca, considerando la gestión del suelo y agua. Por otro lado, conforme a las investigaciones seleccionadas, se observa la limitación de no

contar con información actualizada y confiable. Por lo que, se propone la necesidad de contar con una red de monitoreo, para la obtención de datos relevantes permitiendo con ello describir tanto sus interacciones como conexiones en el uso de los recursos de la cuenca.

Así como encontramos el trabajo realizado por Osorio et al. (2022), quienes observando que las áreas urbanizadas en la región de los Andes intertropicales cuentan con aparentes ventajas en escenarios de cambio climático, situación que acelera su crecimiento y vulnerabilidad socioambiental. Por lo que el trabajo tiene por objetivo comparar analíticamente seis ciudades andinas intermedias, considerando parámetros de clima como indicadores de sustentabilidad, cuyo énfasis se orientó al metabolismo urbano.

Para ello, se usó el perfil exploratorio de carácter aplicado con un enfoque cuali-cuantitativo, seleccionado una muestra de criterios políticos, históricos, geográficos de localización y población, como de acceso a la información. La información consultada se organizó en tablas comparativas y ponderados de forma positiva o negativa a partir del promedio de entre ellos.

Los resultados obtenidos por Osorio et al. (2022), muestran una evidencia del aumento de la temperatura y variabilidad de las precipitaciones, correlación observada entre los ecosistemas altoandinos y la disponibilidad de recursos hídricos, sumado a la dependencia de la red nacional de energía de fuentes hidroeléctricas, gestión inadecuada de residuos sólidos, deficiencia en el tratamiento de aguas residuales y alta susceptibilidad a los indicadores socioeconómicos. Concluyendo que la parte norte es la que cuenta con un mejor balance y cuenta con mejores condiciones para enfrentarse al cambio climático.

Además, encontramos el trabajo realizado por por Raedo (2022), que uno de sus objetivos se centra en el diseño de un indicador compuesto que permita identificar cuantitativamente los principales déficits de sostenibilidad que existen en las ciudades, cuya aplicación en una muestra de ciudades permite no solo su comparación, sino a su vez, determinar las políticas a implementar y su orden de prioridad para establecer una Agenda Urbana. El indicador se aplicó en un conjunto de ciudades, este indicador global denominado Índice de No Sostenibilidad Urbana (UNSI), mismo que refleja tanto la existencia de no sostenibilidad, como su intensidad.

Los resultados obtenidos por Raedo (2022), muestran la gravedad de los déficits en materia de sostenibilidad urbana, concentrándose en la dimensión ambiental. Además, que la totalidad de las ciudades se observa en su dimensión ambiental problemas de sostenibilidad, reflexionando sobre la prioridad de las políticas públicas para resolver esta situación y establecer una agenda urbana en donde los recursos económicos se orienten a la resolución de problemas.

Por último, encontramos el trabajo realizado por Vélez et al. (2023), en relación con los objetivos de la Agenda 2030, que promueve un desarrollo sostenible, inclusivo y en armonía con el medio ambiente. Para logarlo, es necesario evaluar y mejorar la sostenibilidad de las ciudades. En ese sentido evaluó la sustentabilidad urbana de una ciudad intermedia en el contexto latinoamericano, para lo cual se tomó un sector piloto en la ciudad de Loja en Ecuador. Utilizando la metodología de Evaluación de la Sustentabilidad Urbana a través de indicadores de densificación urbana sustentable.

Los resultados obtenidos por Vélez et al. (2023), revelaron valores bastantes inferiores a los óptimos propuestos: cinco de los ochos indicadores alcanzan el valor óptimo en subsectores del área del estudio y tres indicadores no lo alcanzan. Sumando a que el Índice de Densificación Urbana Sustentable es inferior a la mitad del valor referencial. Mostrando cuán bajo es el desarrollo urbano desde la visión de la sustentabilidad en un sector representativo de la ciudad, resaltando la necesidad de realizar mediciones para establecer objetivos que oriente sus políticas de planificación hacia la sustentabilidad y disminuir las desigualdades urbanas

Los trabajos analizados con anterioridad se agrupan en las siguientes categorías: Bases conceptuales sobre el análisis de la sostenibilidad o sustentabilidad, Construcción de un índice para medir el grado de sostenibilidad urbana, Dimensiones del desarrollo sostenible, Dimensiones que considera la sostenibilidad, Evolución de la sostenibilidad, Evaluación de la sostenibilidad, y Modelos de sustentabilidad. Resaltando que los trabajos por sus aportes se pueden encontrar en una o más categorías.

Tabla 8. Estudios de base y análisis de la sostenibilidad

Autor	Año	Método	Objetivo	Resultados
García y Vergara	2000	Bases conceptuales sobre el análisis de la sostenibilidad o sustentabilidad- dimensiones de análisis.	El objetivo del trabajo es realizar una clasificación del concepto sostenibilidad, analizando y realizando una crítica desde sus distintas interpretaciones.	El concepto de sostenibilidad es el desarrollo de dos versiones de este: sostenibilidad débil y sostenibilidad fuerte. La primer se ubica dentro del paradigma de la economía estándar, mientras que el segundo se formula por un puñado de economistas heterodoxos, vinculados a disciplinas como la termodinámica y la ecología. La sostenibilidad débil, puede definirse como la viabilidad de un sistema socioeconómico en el tiempo. En contra parte, la sostenibilidad fuerte se concibe como la viabilidad de la relación que mantiene un sistema socioeconómico con un ecosistema.
Mokate	2001	Bases conceptuales sobre el análisis de la sostenibilidad o sustentabilidad	Dar a conocer los resultados y conclusiones de los estudios realizados por el Instituto Interamericano para el Desarrollo Social, como promover el intercambio de ideas y opiniones sobre temas relacionados al desarrollo social.	Sobre la ambigüedad de la definición de sostenibilidad, tomando como base sus diferentes interpretaciones, menciona una forma útil de su clasificación en relación con su unidad de análisis: 1. Un grupo de conceptualizaciones y definiciones orientadas a una unidad de análisis al modelo de macro o que toma como elementos al consumo, crecimiento y desarrollo de la sociedad o de sus grupos dominantes; 2. Orientadas a la unidad de análisis mirco -procesos, programas o proyectos.
Quiroga	2001	Dimensiones que considera la sostenibilidad	Realiza una revisión de las principales iniciativas de desarrollo e implementación de indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible en el mundo, de relevancia tanto	Se ha avanzado considerablemente en la agenda ambiental y de desarrollo sostenible en el mundo. A un ritmo más lento del considerado, pero denotando avances que

Autor	Año	Método	Objetivo	Resultados
			para países latinoamericanos y caribeños. En donde los indicadores construidos, constituyen un sistema de señales para evaluar el proceso hacia el desarrollo sostenible de los distintos países.	comprenden: el desarrollo conceptual y científico, institucional, diseño de políticas públicas, educación y movimientos ciudadanos, gestión ambiental, e instrumentos de medición del progreso hacia el desarrollo sostenible.
Gallopín	2003	Bases conceptuales sobre el análisis de la sostenibilidad o sustentabilidad	Analizar los conceptos de sostenibilidad y desarrollo sostenible desde una perspectiva sistémica. Considerando los factores determinantes de la sostenibilidad: disponibilidad de recursos, adaptabilidad/flexibilidad, homeostasis, su capacidad de respuesta, autodependencia y empoderamiento.	Sobre la bibliografía que definen al desarrollo sostenible, se identificar en tres enfoques: 1. Según si la variable crucial o la función objetivo a maximizar sea el bienestar; 2. El consumo; y 3. El capital. Además, para lograr el desarrollo sostenible es de vital importancia comprender las vinculaciones entre los aspectos social, ecológico y económico de nuestro mundo. Para comprender sus vinculaciones, conviene usar un enfoque sistémico.
Edwards y Hyett	2004	Dimensiones que considera la sostenibilidad	Realiza un análisis de los programas y políticas de gobiernos e instituciones en favor del medio ambiente, resumiendo las medidas como soluciones ecológicas. Además, de proporcionar elementos claves del desarrollo sostenible.	Sobre la definición de desarrollo sostenible menciona, se considera cada vez más como un concepto válido pero impreciso, abierto a distintas interpretaciones y en ocasiones contrarias, aún sigue siendo la principal referencia internacional, aquella acuñada en 1987 en la comisión de la ONU por el Medio ambiente bajo la dirección de Gro Harlam Brundtland, como aquella que "aborda las necesidades de las generaciones presentes y fututas en cuanto a los recursos medioambientales". Por lo que, los sistemas económicos y sociales no

Autor	Año	Método	Objetivo	Resultados
				pueden desligarse de la capacidad de carga del medio ambiente. El deseo de crecimiento y bienestar social debe equilibrarse con la necesidad de preservar los recursos ambientales para generaciones futuras. Concediendo al medio ambiente tanta importancia en el orden económico mundial.
Cortés y Peña	2015	Dimensiones del desarrollo sostenible	Realizar una revisión de la literatura para compartir alguno de los avances y discusiones de los términos de dos conceptos sustentabilidad y sostenibilidad, para proponer un modelo de desarrollo sustentable que permita a los tomadores de decisiones tener un punto de partida para el trazo de sus políticas de gestión.	A partir de la construcción del modelo, señalan que el desarrollo sostenible es aquel tipo de desarrollo que se da en una nación que puede mantener o sostener el equilibrio en la parte social, económica y ambiental. Por su lado, el desarrollo sustentable, se enfoca en generar una mejor calidad de vida, sin dejar que el consumismo afecte a las generaciones futuras.
Banco Interamericano de Desarrollo	2016	Construcción de un índice para medir el grado de sostenibilidad urbana	Contribuir a la sostenibilidad ambiental, urbana, fiscal y de gobernabilidad de las ciudades de la región con un modelo que fomente la participación ciudadana. La ICES es un Programa de asistencia técnica y financiera a los gobiernos de ciudades intermedias de ALC que presentan una gran dinámica de crecimiento demográfico y económico.	El ICES se estructura en tres dimensiones: 1) cambio climático y medio ambiente; 2) desarrollo urbano; y 3) fiscal y gobernabilidad. Las tres dimensiones abarcan 11 pilares, 303 temas y 67 subtemas, cada uno con indicadores que lo definen. Los indicadores cuentan con tres rangos: "verde", si la gestión es adecuada o buena; "amarillo", si el tema presenta algunas dificultades en su servicio o gestión; y "rojo", si el servicio o gestión es deficiente y necesita atención.
Prieto-Sandoval, Jaca y Ormazabal	2017	Evolución de la sostenibilidad	La finalidad del trabajo es probar si la Economía Circular es un paradigma de actuación resultante de la evolución del concepto de sostenibilidad. Así	Se muestra como la Economía Circular no es una moda, sino un paradigma de actuación, que ha dado como resultado

Autor	Año	Método	Objetivo	Resultados
			como elaborar una descripción del campo de acción de la Economía Circular, como la construcción de estrategias para su implementación, abonando además a comprender la evolución del análisis de la sostenibilidad.	la evolución del concepto de sostenibilidad y su aplicación en la economía, la sociedad y haciendo énfasis en el cuidado del medio ambiente.
Ávila	2018	Bases conceptuales sobre el análisis de la sostenibilidad o sustentabilidad	Realizar una reseña histórica sobre el significado de lo sostenible y/o sustentable hasta nuestros días (principios del siglo XXI)	Sobre el concepto de desarrollo sustentable o sostenible, se encuentra aún en construcción, así como ha trascendido y enriquecido, pero también fragmentándose, provocando su alejamiento a su origen. Considerando que contempla cambios importantes en la contemporaneidad respecto a los valores de la sociedad. Por lo que, lo sustentable hace relación a la armonía existente entre lo económico, social, ambiental con el sistema de valores; en contra parte lo sostenible considera cada uno de los sistemas por separado.
ONU-Hábitat e INFONAVIT Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores	2019	Construcción de un índice para medir el grado de sostenibilidad urbana	ONU-Habitat desarrolló en 2012 el Índice de las Ciudades Prósperas (CPI, por sus siglas en inglés), cuya medición permite conocer las condiciones actuales de las ciudades con base en más de 40 indicadores y, además, a partir del análisis de sus resultados, proponer acciones estratégicas que las mejoren. Este índice —transformado hoy en día en la Iniciativa de las Ciudades Prósperas— es un paso importante en la construcción de una ciencia de las ciudades.	La implementación del CPI en México, pone de manifiesto que el modelo de desarrollo urbano ha sido insostenible en las ciudades del país, lo que ha impedido poder avanzar en la senda de la prosperidad compartida. Cuyo comportamiento se observa tanto al norte, sur y de este a oeste del país. Además de que, México es y seguirá de carácter urbano, en donde si se desea subsanar los problemas que enfrenta, debe de redefinir el modelo de urbanización desde una perspectiva de desarrollo sostenible, con la finalidad de reformar y hacer más

Autor	Año	Método	Objetivo	Resultados
				eficiente el sistema de ciudades; tomando en cuenta tanto lo rural y lo regional, para avanzar en la equidad y prosperidad compartida[2].
Medina-Pérez	2019	Construcción de un índice para medir el grado de sostenibilidad urbana	Encontrar el grado de sostenibilidad urbana a parir del acceso a servicios urbanos, en los municipios centrales de la Zona Metropolitana de Pachuca. Desde la línea de investigación de Población y Ambiente, para ello hace uso de métodos y técnicas de análisis espacial como análisis exploratorio de datos y regresión espacial con el software Geoda.	Los resultados obtenidos muestran la existencia de heterogeneidad en el territorio, dicho resultado se observó mediante el uso de técnicas de análisis espacial y los sistemas de información geográfica. Con ello, además se identificaron escenarios de baja sostenibilidad urbana, mediante el empleo de información censal.
Valdivia-Loro	2019	Construcción de un índice para medir el grado de sostenibilidad urbana	Evaluar el índice de sostenibilidad urbana de Lima Metropolitana a través de la identificación de dimensiones que lo componen. Para ello se realizó una breve revisión en la base de datos Scopus sobre la producción académica sobre este tema. Posteriormente, se señalaron las consecuencias teóricas evidentes tras la revisión y el uso del Índice de Desarrollo Humano como muestra de la insostenibilidad urbana. Por último, se problematizo el caso peruano.	Sobre las dimensiones de análisis y aplicando el índice de sostenibilidad urbana, se observa que la Lima Metropolitana aún no ha alcanzado un punto de insostenibilidad, sin embargo, se encuentra en una etapa de sostenibilidad urbana cuantitativa y cualitativamente baja con tendencia negativa.
Arias	2020	Bases conceptuales sobre el análisis de la sostenibilidad o sustentabilidad	Contrastar la realidad latinoamericana con otras realidades destacadas en el tema, como lo es la europea mediante el caso español, con la finalidad de superar una visión sectorial de análisis.	Se construye una batería de indicadores de referencia con énfasis en la dimensión física ambiental, que puede ser de utilidad al plantear un modelo de Unidad Barrial Sostenible (UBS) para Latinoamérica. Mismos que pretende servir de base para la construcción del modelo de

[2] Prosperidad compartida: "sentido general de seguridad socioeconómica para el futuro inmediato y previsible, que está acompañado de la satisfacción de diversas aspiraciones u necesidades no materiales" (ONU-Hábitat e INFONAVIT, 2019, p.17).

Autor	Año	Método	Objetivo	Resultados
				evaluación de periferias barriales espontaneas latinoamericanas, con orientación en la dimensión física ambiental de la sostenibilidad.
De Las Heras, Adame, Cadena y Campos	2020a	Construcción de un índice para medir el grado de sostenibilidad urbana	Realizar un análisis de la sustentabilidad del desarrollo urbano de la Megalópolis del Centro de México, basado en la elaboración de un índice resumen a partir de 17 indicadores con el método de componentes principales, con la aplicación de técnicas de análisis espacial (AEDE).	Identifican la presencia de autocorrelación espacial positiva y la existencia de clústeres, destacando municipios más rezagados y con necesidad de intervención. Además, de que la Megalópolis del Centro de México es un espacio altamente diferenciado en cuestión de sustentabilidad, donde convergen y se relacionan municipios con dinámicas de crecimiento, densidades, grados de dependencia económica, infraestructuras, calidad educativa y de servicios médicos, marginación urbana disímiles.
De Las Heras, Adame, Cadena y Campos	2020b	Construcción de un índice para medir el grado de sostenibilidad urbana	El análisis espacial de la sustentabilidad ambiental urbana de la megalópolis del centro de México mediante la creación de un Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU) a partir de tres subíndices que contemplen las tres dimensiones de la sustentabilidad (Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental; desarrollo urbano integral y una tercera de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia). El nivel de desagregación del estudio fueron los municipios y alcaldías de la megalópolis.	De los resultados obtenidos se puede afirmar que, en cuestión de sustentabilidad ambiental urbana de la megalópolis, se observa un patrón espacial de disminución de los niveles de sustentabilidad en los núcleos metropolitanos y municipios vecinos conurbados hacia sus periferias.
López	2020	Modelos de sustentabilidad	Desarrolla un modelo de sustentabilidad aplicado al suelo urbano, permitiendo evaluar la efectividad de las decisiones de ordenamiento urbano a través de	Los resultados obtenidos de la modelación en la zona de estudio, concluye en que el proyecto no soluciona las condiciones de insustentabilidad urbana.

Autor	Año	Método	Objetivo	Resultados
			simulaciones, dando énfasis a algunos aspectos del modelo: económico, social, ecológico y físico-espacial. Reflejándose en la construcción de escenarios de sustentabilidad con una visión holística y eficiente del fenómeno urbano	Por ello, es necesario trabajar en proyectos simultáneos para obtener resultados significativos. Sumado a trabajar sobre otras posibilidades de gestión para la implantación del proyecto y el desarrollo de otros proyectos.
Aguilera	2021	Bases conceptuales sobre el análisis de la sostenibilidad o sustentabilidad	Se observa el insuficiente reconocimiento jurídico del derecho a la ciudad limita el pleno alcance de la sostenibilidad urbana. Por ende, se desarrolla el trabajo con el uso de los métodos sociológicos, análisis-síntesis, teórico-jurídico y hermenéutico-jurídico; abordando el derecho a la ciudad desde su relación intrínseca con la sostenibilidad urbana.	Sobre los resultados obtenidos se ven reflejado en tres puntos: 1. Una caracterización de manifestaciones de sostenibilidad urbana para la determinación de limitaciones que sobre ella están presentes en sociedades actuales. 2. Una sistematización de presupuestos teóricos relativos a la relación entre la sostenibilidad urbana y el derecho a la ciudad. 3. Una fundamentación que contribuye a la argumentación de aplicar el derecho a la ciudad para contribuir el alcance de una mayor sostenibilidad urbana.
Flores	2022	Construcción de un índice para medir el grado de sostenibilidad urbana	Establecer un sistema de indicadores que evalué la relación entre la sostenibilidad y el derecho a la ciudad en el municipio de Uruapan, Michoacán, México para el periodo 2005-2018.	Adaptando la metodología propuesta por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) conocida como el biograma[3]. Estimando tanto la sustentabilidad urbana y el derecho a la ciudad, cuyo resultado arroja en la zona de estudio, se encuentra en una situación crítica con un

[3] Se le conoce como biograma al diagrama multidimensional y a los índices respectivos que representan gráficamente el grado de desarrollo sustentable en un territorio, incluidos los aparentes desequilibrios y los posibles niveles de conflicto existentes al interior y entre las mismas dimensiones, y en un sentido comparativo determinar las mejoras o deterioros del sistema a lo largo del tiempo (Sepúlveda, 2008; citado en Flores, 2022, p. 143).

Autor	Año	Método	Objetivo	Resultados
				valor de 0.52/1.00, lo que se traduce en quedar comprometidas las condiciones de bienestar actuales y futuras de todos sus habitantes.
Citibanamex El Banco Nacional de México	2022	Construcción de un índice para medir el grado de sostenibilidad urbana	El Índice de Ciudades Sostenibles permite medir el avance de las zonas metropolitanas hacia el cumplimiento de cada ODS y de la Agenda 2030; presentado en tres medios: un índice, semáforo de control y un sistema de flechas. Permitiendo identificar de manera eficiente cuáles son los mayores avances y retos de cada ZM, así como aquellos objetivos en donde existen temas que requieren mayor atención, además de la evolución que han tenido por indicadores y ODS	Presenta los resultados sobre el avance de las zonas metropolitanas en el cumplimiento de los ODS en dos momentos en el tiempo. El primero en el año 2015 y el segundo en 2020; cuyos resultados arrojaron que las zonas metropolitanas obtuvieron una puntuación promedio de 56.06, lo que se traduce con base en los indicadores utilizados y las metas propuestas para cada uno, las 63 zonas incluidas, han avanzado en promedio 56.06% del camino hacia el cumplimiento de la Agenda 2030.
Hinojosa-Pérez, Hernández-Juárez, Otazo-Sánchez y Acevedo-Sandoval	2022	Construcción de un índice para medir el grado de sostenibilidad urbana	Realiza una revisión que integra el uso de indicadores de sustentabilidad en la evaluación del manejo sustentable a nivel cuenca, siendo de especial relevancia su selección. Además de proporcionar información de interés que permita superar el proceso de incertidumbre durante la identificación y selección de indicadores para la evaluación de la sustentabilidad de una cuenca hidrológica. Para ello se empleó la planeación participativa y la obtención de una primera aproximación de indicadores mediante la revisión de literatura.	Se construyo el índice de sustentabilidad de cuencas, mide la respuesta a ciertas presiones, cuyos resultados son fácil de interpretar, mostrando el vínculo entre la sustentabilidad y las actividades humanas. Sumado al uso de indicadores no agregados para definir la situación de la cuenca, permitiendo analizar tanto su condición actual, tendencias y obtener modelos espaciales para una eficaz planeación como manejo sustentable de la cuenca.
Osorio, Antunes y Hard	2022	Bases conceptuales sobre el análisis de la sostenibilidad o sustentabilidad	Las áreas urbanizadas en la región de los Andes intertropicales cuentan con aparentes ventajas en escenarios de cambio climático, situación que	Se evidencia el aumento de la temperatura y variabilidad de las precipitaciones, correlación observada entre los ecosistemas altoandinos

Autor	Año	Método	Objetivo	Resultados
			acelera su crecimiento y vulnerabilidad socioambiental. Por lo que el trabajo tiene por objetivo comparar analíticamente seis ciudades andinas intermedias, considerando parámetros de clima como indicadores de sustentabilidad, cuyo énfasis se orientó al metabolismo urbano.	y la disponibilidad de recursos hídricos, sumado a la dependencia de la red nacional de energía de fuentes hidroeléctricas, gestión inadecuada de residuos sólidos, deficiencia en el tratamiento de aguas residuales y alta susceptibilidad a los indicadores socioeconómicos. Concluyendo que la parte norte es la que cuenta con un mejor balance y cuenta con mejores condiciones para enfrentarse al cambio climático.
Raedo	2022	Construcción de un índice para medir el grado de sostenibilidad urbana	Se centra en el diseño de un indicador compuesto que permita identificar cuantitativamente los principales déficits de sostenibilidad que existen en las ciudades, cuya aplicación en una muestra de ciudades permite no solo su comparación, sino a su vez, determinar las políticas a implementar y su orden de prioridad para establecer una Agenda Urbana.	Los resultados obtenidos, muestran la gravedad de los déficits en materia de sostenibilidad urbana, concentrándose en la dimensión ambiental. Además, que la totalidad de las ciudades se observa en su dimensión ambiental problemas de sostenibilidad, reflexionando sobre la prioridad de las políticas públicas para resolver esta situación y establecer una agenda urbana en donde los recursos económicos se orienten a la resolución de problemas.
Vélez, Ordóñez y Salas	2023	Evaluación de la sostenibilidad	Sobre los objetivos de la Agenda 2030, que promueve un desarrollo sostenible, inclusivo y en armonía con el medio ambiente. Para logarlo, es necesario evaluar y mejorar la sostenibilidad de las ciudades. En ese sentido se evaluó la sustentabilidad urbana de una ciudad intermedia en el contexto latinoamericano, para lo cual se tomó un sector piloto en la ciudad de Loja en Ecuador.	Los resultados obtenidos revelaron valores bastantes inferiores a los óptimos propuestos: cinco de los ochos indicadores alcanzan el valor óptimo en subsectores del área del estudio y tres indicadores no lo alcanzan. Sumando a que el Índice de Densificación Urbana Sustentable es inferior a la mitad del valor referencial. Mostrando cuán bajo es el

Autor	Año	Método	Objetivo	Resultados
			Utilizando la metodología de Evaluación de la Sustentabilidad Urbana a través de indicadores de densificación urbana sustentable	desarrollo urbano desde la visión de la sustentabilidad en un sector representativo de la ciudad, resaltando la necesidad de realizar mediciones para establecer objetivos que oriente sus políticas de planificación hacia la sustentabilidad y disminuir las desigualdades urbanas.

Fuente: elaboración propia de García y Vergara, 2000; Mokate, 2001; Quiroga, 2001; Gallopín, 2003; Edwards y Hyett, 2004; Cortés y Peña, 2015; BID 2016a; Prieto-Sandoval et al., 2017; Ávila, 2018; ONU-Hábitat e INFONAVIT, 2019; Medina-Pérez, 2019; Valdivia-Loro, 2019; Arias, 2020; De Las Heras et al., 2020a; De Las Heras et al., 2020b; López, 2020; Raedo, 2020; Aguilera, 2021; Flores, 2022; Citibanamex, 2022; Hinojosa-Pérez et al., 2022, Osorio et al., 2022; y Vélez et al., 2023.

Los trabajos revisados con anterioridad para la evaluación de la sostenibilidad urbana, se analizan trabajos de la temporalidad 2000 a 2023, considerando tantos elementos conceptuales, la evaluación del concepto de sostenibilidad o sustentabilidad. Sumado a que se identifica que la sustentabilidad implica un carácter multidimensional considerando tres grandes dimensiones de análisis: económica, ambiental y económica. Además de la proporcionar una visión para medir la sostenibilidad urbana, como tener en cuenta tanto los distintos aspectos metodológicos y técnicos, conforme a la información disponible de la zona de estudio o de nuestro interés.

CAPÍTULO III

Instrumentos Jurídico-Normativos en materia de Desarrollo y Sostenibilidad

Capítulo III. Instrumentos Jurídico-Normativos en materia de desarrollo y sostenibilidad

En este capítulo analizan de manera breve y concisa, los instrumentos jurídico-normativos en materia de desarrollo y sostenibilidad (o en su defecto sustentabilidad), que se han implementado y cuyos impactos modelan tanto la dinámica urbana, como su sostenibilidad y manejo de los recursos naturales. Sumando tanto los agendas y acuerdos globales en busca de la sostenibilidad. Además de un breve análisis de las políticas instrumentadas a partir de mitades del siglo XX, que dan pauta a la configuración territorial actual de México, cuyo impacto también se ve reflejado en las zonas de estudio.

Posteriormente, se describen los instrumentos que tiene un contexto nacional. Subsecuentemente se incorporan las entidades de las zonas de estudio (Estado de México, Puebla y Tlaxcala) que pertenecen a la Megalópolis del Centro de México, como se observa en la Figura 11. Es importante señalar que se toma la versión de los instrumentos y normativas más recientes en el transcurso del desarrollo de la investigación.

Figura 11. Jerarquía de Instrumentos Jurídico-Normativos en materia de Desarrollo y Sostenibilidad



Fuente: elaboración propia.

3.1. Acuerdos y Agendas Globales

Los acuerdos y agendas globales sobre el desarrollo sostenible, el de mayor relevancia está *La Agenda 2030*, aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 Estados Miembros que la suscribieron y será la guía de referencia para el trabajo de la institución en pos de esta visión durante los próximos 15 años (UN. 2017).

Los acuerdos y agendas globales más importantes son:

a) ODS. Incluye 17 Objetivos y 169 metas, presenta una visión ambiciosa del desarrollo sostenible e integra sus dimensiones económica, social y ambiental. es una agenda transformadora, que pone a la igualdad y dignidad de las personas en el centro y llama a cambiar nuestro estilo de desarrollo, respetando el medio ambiente (UN, 2017).

   Para México, tanto sus distintos documentos normativos, ya sea leyes, planes o programas, la vinculan como un eje rector en el diseño de estos, para dar cumplimiento a la misma y fomentar el desarrollo sostenible. Además de que se observa, distintos ejercicios para medir el grado de avance o retroceso ya sea a escala nacional, estatal y en algunos casos municipal. Destacando que, a nivel municipal, una de las problemáticas para medir su avance es la disponibilidad de información y la temporalidad de esta.

b) La Nueva Agenda Urbana. Tiene por meta principal lograr un futuro mejor y más sostenible, en donde todas las personas gocen de igualdad de derechos, como acceso a beneficios y oportunidades que las ciudades pueden ofrecer. Incorporando la corrección entre la buena urbanización y el desarrollo; además de su conexión con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, centrándose en el Objetivo 11 (ciudades y comunidades sostenibles) (NU y CEPAL, 2018).

   La *Nueva Agenda Urbana*, reafirma el compromiso mundial bajo el enfoque del desarrollo urbano sostenible, como el paso decisivo para lograr el desarrollo sostenible de manera integrada y coordinada tanto a nivel mundial, regional, nacional, subnacional y local, considerando a todos los actores pertinentes. Además, de que

contribuye a la implementación y localización integrada de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, tanto sus objetivos como metas, cuyo énfasis en el Objetivo 11, centrado en lograr que las ciudades y asentamientos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles (NU y CEPAL, 2018).

Cuyo objetivo principal, es logar que las ciudades y asentamientos humanos, donde todas las personas pueden gozar de igualdad de derechos y oportunidades. Cuyos fundamentos son la Declaración Universal de Derechos Humanos, tratados internacionales de derechos humanos, la Declaración del Milenio y el Documento Final de la Cumbre Mundial 2005, entre otros (NU y CEPAL, 2018).

c) *Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la Reducción del Riesgo de Desastres*, cuyo objetivo central es la reducción sustancial del riesgo de desastres y de las pérdidas ocasionadas: vidas, medios de subsistencia y salud como bienes económicos, ya sea físicos, sociales, culturales y ambientales de las personas (UNDRR, 2015b).

Con el fin de apoyar la evaluación de los avances mundiales en el logro del resultado y el objetivo del presente Marco, se han acordado siete metas mundiales (UNDRR, 2015b, p. 12):

1. Reducir considerablemente la mortalidad mundial causada por desastres para 2030, y lograr reducir la tasa media de mortalidad mundial por cada 100,000 personas en el decenio 2020-2030 respecto del período 2005-2015;
2. Reducir considerablemente el número de personas afectadas a nivel mundial para 2030, y lograr reducir el promedio mundial por cada 100.000 personas en el decenio 2020-2030 respecto del período 2005-2015;
3. Reducir las pérdidas económicas causadas directamente por los desastres en relación con el producto interno bruto (PIB) mundial para 2030;
4. Reducir considerablemente los daños causados por los desastres en las infraestructuras vitales y la interrupción de los servicios básicos, como las instalaciones de salud y educativas, incluso desarrollando su resiliencia para 2030;
5. Incrementar considerablemente el número de países que cuentan con estrategias de reducción del riesgo de desastres a nivel nacional y local para 2020;

6. Mejorar considerablemente la cooperación internacional para los países en desarrollo mediante un apoyo adecuado y sostenible que complemente las medidas adoptadas a nivel nacional para la aplicación del presente Marco para 2030;
7. Incrementar considerablemente la disponibilidad de los sistemas de alerta temprana sobre amenazas múltiples y de la información y las evaluaciones sobre el riesgo de desastres transmitidas a las personas, y el acceso a ellos, para 2030.

   Además, se centra en cuatro prioridades de acción, en los planos locales, regionales y mundial, para el cumplimiento del objetivo central, las prioridades son: 1. Comprender el riesgo de desastres, 2. Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastre para gestionar dicho riesgo, 3. Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia, y 4. Aumentar la preparación para caso de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y reconstruir mejor en os ámbitos de la recuperación, rehabilitación y reconstrucción (UNDRR, 2015b).

d) Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto. En su edición de 2023, cuyas acciones se ven reflejado en el Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 27º período de sesiones, celebrado en Sharm el-Sheikh del 6 al 20 de noviembre de 2022. En donde se plantean 12 decisiones por parte de la Conferencia de las Partes (UN, 2023).

   Dichas decisiones tienen por objetivo principal, instar a los países a reducir progresivamente la generación de energía a partir del carbón. Resaltando la importancia de la cooperación internacional para hacer frente a los problemas mundiales, entre ellos el cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible, sumando a los esfuerzos de erradicar la pobreza (UN, 2023).

   Las decisiones adoptadas por la Conferencia de las Partes son:

   1. Plan de Implementación de Sharm el-Sheikh.
   2. Establecer arreglos financieros para dar respuesta a las pérdidas y daños relacionados con los efectos adversos del cambio climático (pérdidas y daños).
   3. Establecer una labor conjunta del plan, sobre la acción climática para la agricultura y la seguridad alimentaria.

4. Revisar las modalidades y los procedimientos de evaluación y examen internacional.
5. Revisar las modalidades y directrices para la consulta y análisis internacional.
6. Revisar las directrices de la Convención Marco para la presentación de informes sobre los inventarios anuales de las Partes incluidas en el anexo I de la Convención.
7. Establecer una métrica común utilizada para el cálculo de la equivalencia en dióxido de carbono de las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros de gases de efecto invernadero.
8. Un informe del Comité de Adaptación (2022) y examine los progresos, eficacia y desempeño del Comité de Adaptación.
9. Realizar planes nacionales de adaptación.
10. Mencionar los asuntos relacionados con los países menos adelantados (logros y aportes con los países menos adelantados).
11. Establecer la Red de Santiago, orientada en evitar, reducir al mínimo y afrontar las pérdidas como los daños relacionados con los efectos adversos del cambio climático en el marco del Mecanismo Internacional de Varsovia para las Pérdidas y los Daños relacionados con las Repercusiones del Cambio Climático.
12. Realizar el Informe del Comité Ejecutivo del Mecanismo Internacional de Varsovia para las Pérdidas y los Daños relacionados con las Repercusiones del Cambio Climático.

e) La Convención de las Naciones Unidas de la Lucha contra la Desertificación (CNULD). Reconoce que la desertificación y la sequía constituyen problemas de dimensión mundial, por sus repercusiones en todas las regiones del mundo, por lo que es necesario que la comunidad internacional adopte medidas conjuntas para su lucha. Además, de la urgente necesidad de mejorar la eficiencia como la coordinación de la cooperación internacional para facilitar la aplicación de los planes y prioridades nacionales (UNCCD, 2022).

Sobre la lucha contra la desertificación, establece actividades que formen parte de un aprovechamiento integrado de la tierra en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas para el desarrollo sostenible, con el objetivo de: prevención o reducción de la degradación

de las tierras, rehabilitación de tierras parcialmente degradas, y la recuperación de tierras desertificadas (UNCCD, 2022).

Su principal objetivo, es la lucha contra la desertificación y mitigar los efectos de sequía en los países afectados tanto por sequía grave o desertificación, en particular en África. Mediante la adopción de medidas eficaces en todos los niveles (local a global), apoyándose de los acuerdos de cooperación y asociación internacional, en el marco de un enfoque integrado acorde al Programa 21, permitiendo contribuir al logro del desarrollo sostenible en las zonas afectadas (UNCCD, 2022).

Permitiendo exigir la aplicación en las zonas afectadas estrategias integradas con una visión a largo plazo que se centre simultáneamente en el aumento de la productividad de las tierras, su rehabilitación, conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos de tierras y recursos hídricos, orientado en la mejora de las condiciones de vida, esencialmente a un nivel comunitario (UNCCD, 2022).

Estos acuerdos y agendas globales se toman como ejes rectores para el desarrollo de la investigación, así como en la búsqueda de la sostenibilidad ambiental y urbana con sus respectivas dimensiones, ya sea definiendo metas, acciones y estrategias a desarrollar tanto a corto, mediano y largo plazo.

3.2. Contexto histórico de instrumentos normativos durante el siglo XX, orientadas en el Desarrollo Urbano

Sobre las políticas que explican parte del proceso de urbanización actual de México, menciona Unikel (1978), las políticas económicas del gobierno federal, de índole sectorial, son las que han influido en las características y dinámicas del desarrollo urbano en la medida y dirección que influyen en la vida económica y social del país. Entre las políticas del período de 1940 a 1970 destacan:

- Reforma agraria y modernización agrícola (1915-1970). La Ley de Reforma Agraria (1915) incorporada a la Constitución de 1917, consistió en el reparto agrario unos 3 millones de campesinos y más de medio millón de pequeños propietarios.

- Modernización agrícola durante el período de 1946-1950, reflejándose en el crecimiento del producto agropecuario sea mayor a la tasa de crecimiento nacional.
- Comisión de Cuencas Hidrológicas (1946-1952), mediante la creación de la Secretaría de Recursos Hídricos.
- Políticas de industrialización (1940-1970). El proceso acelerado de la industrialización en México a partir de 1940 es resultado en gran medida de la respuesta del sector privado a una diversidad de incentivos gubernamentales en forma de aranceles, subsidios e incentivos fiscales, construcción de infraestructura, etc. Orientando gran parte del gasto público federal.
- Leyes de exención fiscal estatal para la industria. Entraron en vigor desde 1940, concediendo diversas exenciones por períodos que varían entre 10 y 30 años.
- Ley de Industrias Nuevas y Necesarias. Ha sido la ley más ampliamente utilizada para industrializar el país desde su promulgación en 1941, otorga iguales concesiones en todo el país.
- Créditos a la pequeña y a la mediana industria. En 1953 se creó el Fondo de Garantía y Fomento a la Pequeña y Mediana Industria.
- Programa Nacional Fronterizo. Se crea en 1961 con la intención de incorporar las poblaciones fronterizas a la vida económica del país, estimular la industrialización zonal y fomentar la afluencia de la producción nacional al mercado fronterizo.
- Parques y ciudades industriales. Inició en 1653 con la construcción de Ciudad Sahagún, teniendo por objetivo la descentralización industrial con la finalidad de disminuir las disparidades entre regiones. Durante 1950-1960 se construyeron 4 parques y para finales del decenio 1960-1970 el número de ciudades industriales llegó a 18.

Para la década de los 70´s, menciona Unikel (1978), existe una nueva concepción que presta atención a tres principales objetivos: I) los problemas de nutrición de las clases populares; II) el aumento del empleo rural y urbano, y III) la distribución del ingreso. En materia agraria, destacan el Fondo Nacional de Fomento Ejidal (FONAFE) y el Programa Integral de Desarrollo Rural (PIDER), que se realizó bajo la coordinación de la Secretaría de la Presidencia; realizando diversas inversiones en actividades agropecuarias en 40 microrregiones. Además, la Comisión

Nacional de las Zonas Áridas, cuya finalidad fue promover el desarrollo de 8 millones de habitantes que viven en condiciones de subsistencia en la agricultura.

En materia industrial se promueven programas de fomento a la pequeña y mediana industria, con la finalidad de aliviar el agudo problema de subocupación y desempleo del país. En los que participaron principalmente Nacional Financiera y el Banco de México, coadyuvándose por la Secretaría de Obras Públicas y la banca privada; mediante las siguientes acciones (Unikel, 1978):

i. Fondos de Estudios de Pre-inversión, cuya labor fue en la identificación de las industrias, que sea importante ampliar o establecer.
ii. Fono Nacional de Fomento Industrial (1972), destinado a participar parcial y transitoriamente en la capital social de las pequeñas y medianas industrias.
iii. Fondo de Garantía y Fomento a la Industria Mediana y Pequeña, fue un mecanismo del sector público en la promoción de este tipo de industrias.
iv. Fideicomiso para la promoción de conjuntos, parques y ciudades industriales, fue creado en 1970.
v. Proyecto de ordenamiento territorial, en el que coadyuvaron Nacional Financiera y la Secretaría de Obras Públicas (1973), encargado de clasificación 130 ciudades en 1970 con más de 20,000 habitantes, cuyo objetivo era en señalar los posibles polos de desarrollo del país.
vi. La división zonal del país para estímulos fiscales a partir del decreto de 1972 procuraba diferenciar regionalmente los estímulos a la industria a fin de promover la descentralización industrial

Otro elemento para considerar es el Paquete legislativo, visto como otra de las intervenciones del Estado en favor del proceso de industrialización y de la concentración territorial, fue mediante la promulgación de un conjunto de leyes, cuya retorica enfatizaba los fines de descentralización y desarrollo del territorio, para ello se expidieron Leyes Estatales de exención fiscal. Este tipo de legislación se aplicó de manera generalizada en el territorio sin considerar las diferencias del mercado e infraestructura existente (Cabrera, 2015).

Como la derogación en 1954 de la Ley de Exención Fiscal para el Distrito Federal (D.F.) actualmente Ciudad de México, en tanto que mantuvo su vigencia para el Estado de México, lo que propició que las empresas industriales se asentaran en este estado. Resaltando que con la aplicación del paquete legislativo la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se vigorizaría (Cabrera, 2015).

Además, de la Ley de Créditos a la Pequeña y Mediana Industria, para cuyo efecto se creó el "Fondo de Garantía y Fomento a la Mediana y Pequeña Industria" que inicio sus operaciones en 1954. Fue un instrumento eficaz del Estado para evitar el surgimiento de conflictos al interior del sector industrial y fungió como ente regulador (Cabrera, 2015).

En el caso políticas sectoriales, la actuación del Estado tuvo el objetivo de apoyar al proceso de industrialización, implementando el **Programa de Parques y Ciudades Industriales y el Programa Nacional Fronterizo.** El primero se concibió con el objetivo de apoyar a la descentralización e impulsar el desarrollo de las regiones pobres, aplicado desde 1953 en el cual se pueden ejemplificar dos casos: La construcción de Ciudad Sahagún y el Programa Nacional Fronterizo. El segundo tuvo el objetivo de incorporar a las poblaciones fronterizas a la vida económica del país, estimular la industrialización y fomentar la afluencia de la producción nacional al mercado fronterizo, derivando en un conjunto de medidas fiscales para fortalecer la industrialización (Cabrea, 2015).

Este conjunto de instrumentos normativos, dieron pauta a la configuración actual del territorio nacional, así como jugaron un papel en el proceso de urbanización durante el siglo XX en México, cuyo impacto aún podemos ver hoy en día. Un aspecto negativo de ellas es las disparidades regionales observadas en otras partes del país.

3.3. Ámbito Federal de Instrumentos Jurídico-Normativo

Sobre los instrumentos jurídicos-normativos de orden federal en materia de Desarrollo y Sostenibilidad, que repercuten tanto en aspectos territoriales y ambientales, además de que configuran los distintos procesos que moldean el territorio, en este caso la expansión urbana, son:

Tabla 9. Instrumentos Jurídico-Normativos de orden Federal

Instrumento	Último año de reforma o fecha de publicación	Nombre	Características
Ley	12/07/2018	Ley General de Población	• Tiene por objetico regular los fenómenos que afectan a la población en cuanto a su volumen, estructura, dinámica y distribución en el territorio nacional, con la finalidad de lograr una participación justa y equitativa de los beneficios del desarrollo económico y social. • Pretende influir en la dinámica de la población a través de los sistemas educativos, salud pública, capacitación profesional y técnica, protección a la infancia, como obtener la participación de la colectividad en la solución de los problemas que les afectan. • Busca también, adecuar la distribución geográfica a las posibilidades de desarrollo regional, con fundamento en los programas especiales de asentamientos de cada población.
Ley	14/05/2019	Ley de Vivienda	• Establece y regula la política nacional, programas, instrumentos y apoyos para que toda familia pueda disfrutar de una vivienda digna y decorosa. • La ley busca corregir las disparidades regionales y las inequidades sociales derivadas de un desordenado crecimiento de las zonas urbanas. • Promueve una distribución y atención equilibrada de las acciones de vivienda en todo el territorio nacional, considerando las necesidades tanto a escala local y regional. • El desarrollo de la política de vivienda cuenta con una visión de orientada al desarrollo sustentable.
Plan	12/07/2019	Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024	• Busca el bienestar general de la población. En materia de desarrollo sostenible, lo impulsa como un factor indispensable del bienestar. • Considera los impactos que tendrá las políticas y programas en el tejido social, ecológico, políticos y económicos del país. • La idea de desarrollo se encuentra orientado en subsanar las injusticias sociales e impulse el crecimiento económico, sin provocar afectaciones tanto en la convivencia, ni a la diversidad cultural ni al entorno.

Instrumento	Último año de reforma o fecha de publicación	Nombre	Características
			• Establece programas en materia de desarrollo urbano y vivienda.
Programa	30/12/2020	Programa Nacional Hídrico 2020-2024 (PNH)	Los objetivos prioritarios del programa son (Programa Nacional Hídrico 2020-2024, 2020, p. 11): • Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable. Aprovechar eficientemente el agua para contribuir el desarrollo sostenible de los sectores productivos. • Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y afromexicanos. • Preservar la integridad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindad cuencas y acuíferos. • Mejorar las condiciones para la gobernanza a fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción.
Ley	01/06/2021	Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	• Fija las normas básicas e instrumentos de gestión, orientadas en ordenar el uso del territorio y Asentamientos Humanos en el país. • Estable los principios para la regulación de las distintas delimitaciones del territorio de los centros de población.

Instrumento	Último año de reforma o fecha de publicación	Nombre	Características
Programa	02/06/2021	El Programa Nacional de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (PNOTDU) 2021-2024	• Establece la reorientación de los usos, ocupación y aprovechamiento sostenible del territorio, integrando las dimensiones ambiental, social, cultural y económica. Considera tanto los ámbitos rurales y urbanos (municipio, metropolitana, estatal, regional y nacional). Además, promueve el cuidado de la biodiversidad, con una orientación de reconciliar a las personas con su entorno natural. • Busca contribuir a la diminución de las desigualdades y la discriminación estructural de algunas regiones del país. • Toma en consideración la Agenda 2030, vinculándose a sus 17 objetivos de Desarrollo Sostenible. • Una de sus principales finalidades, es generar en la sociedad conciencia ambiental y cuidado del entorno en el ordenamiento del territorio y desarrollo urbano, para garantizar un futuro habitable y armónico.
Programa	08/11/2021	Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024	• Se encuentra orientado a la planeación de acciones que se realizarán en materia de adaptación a los efectos adversos del cambio climático, mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero por parte de las dependencias y entidades que integran la Administración Pública Federal; mediante una visión de mediano y largo plazo. • Establece la acción puntual de promover la gestión integral del riesgo en la planeación territorial y desarrollo urbano para la prevención y adaptación del territorio y sus habitantes ante fenómenos perturbadores. • Además de acciones puntuales de desarrollo urbano para el fortalecimiento tanto de acciones de aprovechamiento de servicios ecosistémicos, como armonización de instrumentos de regulación de la gestión territorial.

Instrumento	Último año de reforma o fecha de publicación	Nombre	Características
Ley	08/05/2023	Ley de Aguas Nacionales	• Tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, como su distribución y control, así tanto su preservación en su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integra sustentable. • En materia de desarrollo sustentable, sobre los recursos hídricos, busca la preservación del equilibrio hidrológico, aprovechamiento y protección de recursos hídricos.
Ley	08/05/2023	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	• Busca la preservación y restauración del equilibrio ecológico, como la protección al ambiente tanto en el territorio nacional y zonas sobre las que la nación tenga soberanía y jurisdicción. • Cuenta con una visión orientada al desarrollo sustentable. • Considera distintas escalas territoriales tanto para el cuidado y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.
Ley	08/05/2023	Ley de Planeación	• Establece que la planeación debe llevarse a cabo como un medio para el eficaz desempeño de la responsabilidad del Estado, siguiendo los principios de un desarrollo equitativo, incluyente, integral, sustentable y sostenible del país. • Se encuentra alineada a las estrategias para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, considerando sus metas, que se encuentran en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.
Ley	15/11/2023	Ley General de Cambio Climático	• Tiene por objetivo principal la protección al ambiente, el desarrollo sustentable, así como la preservación y restauración del equilibrio ecológico. • Regula las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático. • Establece las bases para que México contribuya al cumplimiento del Acuerdo de París. • Busca además el ordenamiento ecológico del territorio.

Fuente: elaboración propia a partir de Ley General de Población, 2018; Ley de Vivienda, 2019; Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024; Programa Nacional Hídrico 2020-2024; Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, 2021; SEDATU, 2021; Programa Especial de Cambio Climático 2020-2024; Ley de Aguas Nacionales, 2023; Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 2023; Ley de Planeación, 2023; y Ley General de Cambio Climático, 2023.

3.4. Ámbito Estatal de Instrumentos Jurídico-Normativo (Estado de México, Puebla y Tlaxcala)

Sobre los instrumentos de carácter nacional correspondientes a la localización de las zonas de estudio, partimos de los correspondientes a la Zona Metropolitana de Toluca, ubicada en el Estado de México, en donde se identificaron los siguientes instrumentos jurídico-normativos:

Tabla 10. Instrumentos Jurídico-Normativos del Estado de México

Instrumento	Último año de reforma o fecha de publicación	Nombre	Características
Plan de Desarrollo	01/07/2018	Plan de Desarrollo del Estado de México 2017-2023	• Se encuentra alineado a los Objetivos y Metas para el Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030. • Cuenta con una visión de desarrollo sostenible. • Uno de sus objetivos, se encuentra orientado a la disminución de los contrastes presentes en la entidad, ya sea en materia de sus condiciones sociales, económicas y ambientales. • Busca aprovechar las vocaciones regionales de la entidad, para su desarrollo económico. • Una de sus estrategias para el combate al cambio climático, es la protección del medio ambiente. • Presenta un manejo de indicadores alienados a los ODS.
Ley	06/05/2022	Ley de Cambio Climático del Estado de México	• Tiene por objeto establecer las disposiciones para logar la adaptación al cambio climático, así como mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. • Presenta una visión de desarrollo sustentable resaltando en temas de movilidad y aprovechamiento de recursos naturales. • Muestra una visión de programas de ordenamiento ecológico del territorio.
Código administrativo	11/05/2023	Código para la Biodiversidad del Estado de México	• Tiene por objeto el cuidado de la biodiversidad de la entidad, en

Instrumento	Último año de reforma o fecha de publicación	Nombre	Características
			materia de protección al medio ambiente, aprovechamiento de recursos forestales, manejo de residuos y la protección al bienestar animal. • Presenta una visión de uso sostenible del aprovechamiento de los recursos naturales. • Maneja la figura del pago por servicios ambientales o servicios ecosistémicos.
Ley	11/05/2023	Ley de Movilidad del Estado de México	• Establece las bases y directrices, para la planeación, regulación, gestión y el fomento de la movilidad de las personas de la entidad, bajo el reconocimiento de la movilidad como un derecho humano. • Presenta una visión de desarrollo sustentable. • Para su instrumentación se apoya de distintas secretarías en materia de planeación, desarrollo urbano, seguridad y finanzas. Además de coadyuvar con los municipios.
Ley	22/06/2023	Ley del Agua para el Estado de México y Municipios	• Tiene por objeto normar la explotación, uso, aprovechamiento, administración, control y suministro de las aguas de jurisdicción estatal como estatal, así como sus bienes inherentes, para la presentación de servicios tanto de agua potable, drenaje y alcantarillado, su saneamiento como tratamiento, reúso y disposición final de los productos resultantes. • Ya menciona la problemática presente en los recursos hídricos del Estado. • Presenta una visión del manejo sustentable del manejo de los recursos hídricos. • Impulsa la innovación científica para el manejo sustentable del agua.
Ley	22/06/2023	Ley de Planeación del Estado de México y Municipios	• Establece normas que definen tanto el sistema de planeación de la entidad, considerando las particularidades de sus habitantes.

Instrumento	Último año de reforma o fecha de publicación	Nombre	Características
			• Establece la formulación de los distintos instrumentos de planeación para el desarrollo tanto de los municipios como de la entidad.
Ley	22/06/2023	Ley de Vivienda del Estado de México	• Establece y regula la política estatal, como los programas, instrumentos y acciones en materia de vivienda, con la finalidad de que toda persona pueda disfrutar de una vivienda digna y decorosa. • Cuenta con un enfoque de protección al ambiente y desarrollo sustentable.
Constitución	20/07/2023	Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México	• Estable las bases de un sistema estatal de planeación, con un carácter multidimensional, con la finalidad de un desarrollo sin desigualdades y fomentando su desarrollo ya sea a escala municipal, regional o metropolitana. • Planeta una visión de aprovechamiento de los recursos naturales de manera sustentable, tomando como base la definición de desarrollo sostenible.
Código administrativo	28/12/2023	Código Administrativo del Estado de México	• Tiene por objeto regular distintas materias, ya sea en. Salud, Educación, Ordenamiento territorial, Transporte, Desarrollo de equipamiento e infraestructura. • Promueve tanto el desarrollo regional, como funciones específicas de algunas dependencias de gobierno. • Promueve el desarrollo sostenible de algunas actividades económicas de importancia regional.

Fuente: elaboración propia a partir de GEM, 2018; GEM, 2022; GEM, 2023a; GEM, 2023b; GEM, 2023c; GEM, 2023d; GEM, 2023e; GEM, 2023f y GEM, 2023g.

Para el caso correspondiente de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala, partimos de los instrumentos correspondientes al Estado de Puebla (Tabla 11), subsecuentemente con el Estado de Tlaxcala (Tabla 12). Entidades en donde se ubica la segunda zona de estudio, los instrumentos identificados son:

Tabla 11. Instrumentos Jurídico-Normativos del Estado de Puebla

Instrumento	Último año de reforma o fecha de publicación	Nombre	Características
Ley	26/03/2003	Ley de Desarrollo Urbano Sustentable del Estado de Puebla	• Cuenta con 11 objetivos orientados al Desarrollo Urbano Sustentable de la entidad. • Cuenta tanto con una visión de desarrollo sustentable y de ordenamiento territorial de los asentamientos humanos. • Toma en cuenta los planes y programas de desarrollo urbano, tanto de orden estatal como municipal. • Fortalece las zonas de conservación, mediante la creación de parques y áreas naturales protegidas.
Plan	24/04/2019	Publicación del Plan Estatal de Desarrollo Puebla, Estabilidad con Rumbo	• Tiene por objetivo generar mejores condiciones para el desarrollo económico, social, político y cultural de la entidad. • Presenta un diagnóstico de las necesidades de la entidad. • Cuenta con una visión de desarrollo sostenible y sustentable. • Se encuentra alineado a la Agenda 2030 para el Desarrollo sostenible. Tomando tanto la visión mundial y nacional. • Presenta un conjunto de indicadores de acuerdo con la Agenda 2030.
Ley	21/10/2022	Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Puebla	• Establece los lineamientos en materia de ordenamiento territorial y desarrollo urbano. • Cuenta con cinco objetivos que repercuten en el ordenamiento territorial y conservación de los recursos naturales. • Cuenta con una visión de desarrollo sostenible. • Promueve el desarrollo regional y metropolitano en condiciones de equidad. • Fomenta la protección ambiental.
Ley	22/12/2022	Ley de Fraccionamientos y Acciones Urbanísticas del Estado Libre y Soberano de Puebla	• Estable los lineamentos relativos a los actos relacionados con los fraccionamientos, o inmuebles de propiedad primada, como aquellos desarrollados en régimen de propiedad y condómino en los municipios de le entidad. • Cuenta con una visión de desarrollo urbano sustentable. • Considera estudios de impactos orientados a la mitigación de impactos urbanos, económicos, sociales y ambientales, en la edificación de un fraccionamiento.
Ley	26/12/2022	Ley del Agua para el Estado de Puebla	• Establece los lineamientos en materia tanto del uso, aprovechamiento y cuidado del agua. Además de la prestación del servicio público. • Cuenta con una orientación de desarrollo sustentable.

Instrumento	Último año de reforma o fecha de publicación	Nombre	Características
			• Establece lineamientos para la regulación en las distintas vertientes relacionadas con los recursos hídricos. • Promueve el desarrollo de políticas para el desarrollo hídrico de la entidad.
Ley	03/07/2023	Ley de Vivienda para el Estado de Puebla.	• Estable las disposiciones en materia de vivienda, considerando tanto programas, instrumentos, financiamiento, comercialización y títulos. • Promueve que sus habitantes cuenten con una vivienda digna y decorosa. • Menciona que la vivienda no podrá establecerse en zonas de alto riesgo. • Cuenta con una visión sostenible para la dotación de vivienda.
Constitución	31/07/2023	Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Puebla	• Impulsa el desarrollo integral y sustentable de los pobladores de la entidad. • Estable las bases de planeación para un desarrollo integral, sustentable y equilibrado de la entidad. • Cuenta con una visión de desarrollo sustentable. • Impulsa la disminución de las disparidades regionales de la entidad.
Ley	08/08/2023	Ley de Cambio Climático del Estado de Puebla	• Se encuentra estructurada por 15 objetivos, orientados a la mitigación y adaptación al cambio climático. • Cuenta con una visión de sustentabilidad en el manejo de los recursos naturales. • Toma en cuenta varias acciones para la disminución de gases de efecto invernadero, de las que destacan la búsqueda de una movilidad sustentable, desarrollo forestal y el ordenamiento territorial. • Cuenta con una visión de desarrollo sustentable de la entidad.
Ley	25/08/2023	Ley de Planeación para el Desarrollo del Estado de Puebla	• Establece los lineamientos del proceso de planeación de la entidad, considerando tanto las distintas entidades y dependencias de sus órdenes de gobierno. • Cuenta con una orientación de manejo de los recursos de manera sustentable y sostenible. • Considera al desarrollo sustentable como una forma de combatir al cambio climático.
Ley	05/12/2023	Ley de Movilidad y Seguridad Vial del Estado de Puebla	• Establece los lineamientos generales en materia de movilidad y seguridad vial. • Cuenta con una visión de desarrollo sostenible. • Impulsa el desarrollo tecnológico en materia de los medios de transporte de pasajeros. • Se aliena a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Instrumento	Último año de reforma o fecha de publicación	Nombre	Características
Ley	28/12/2023	Ley para la Protección del Ambiente Natural y el Desarrollo Sustentable del Estado de Puebla	• Tiene por objetivo principal apoyar la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente. • Cuenta con 17 objetivos secundarios para cumplir su principal objetivo. • Busca la conservación del suelo natural. • Establece la aptitud del suelo conforme a su regionalización ecológica.

Fuente: elaboración propia a partir de GEP, 2003; GEP, 2019; GEP, 2022a; GEP, 2022b; GEP, 2022c; GEP, 2023a; GEP, 2023b; GEP, 2023c; GEP, 2023d; GEP, 2023e y GEP, 2023f.

Tabla 12. Instrumentos Jurídico-Normativos del Estado de Puebla

Instrumento	Último año de reforma o fecha de publicación	Nombre	Características
Ley	17/04/2004	Ley de Desarrollo Forestal Sustentable para el Estado de Tlaxcala	• Tiene por objeto regular y fomentar la conservación, protección, restauración, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales. • Cuenta con 15 fines, para dar cumplimiento a su objetivo principal. • Cuenta con una visión de desarrollo sustentable. • Promueve la reforestación como una actividad prioritaria.
Ley	04/09/2018	Ley de Asentamientos Humanos Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Tlaxcala	• Establece las disposiciones para regular la planeación y administración del ordenamiento territorial, considerando tanto a los asentamientos humanos y el desarrollo urbano de la entidad. • Promueve la participación ciudadana. • Cuenta con una visión de desarrollo sustentable. • Promueve el desarrollo urbano y regional de la entidad. • Promueve una adecuada gestión del territorio, para resolver sus disparidades.
Ley	10/05/2021	Ley de Aguas para el Estado de Tlaxcala	• Establece la regulación de la gestión integral de los recursos hídricos de la entidad, considerando tanto su valor social, ambiental y económico. • Tiene como finalidad el respeto, protección y el garantizar el acceso al agua para su consumo personal como doméstico. • Cuenta con una visión de desarrollo sustentable para la gestión hídrica.

Instrumento	Último año de reforma o fecha de publicación	Nombre	Características
Ley	21/04/2023	Ley de Cambio Climático para el Estado de Tlaxcala	• Tiene por objetivo establecer las disposiciones y políticas públicas que permitan la mitigación, adaptación y resiliencia al cambio climático. • Cuenta con 11 objetivos específicos para lograr el objetico central. • Cuenta con una visión de desarrollo sustentable. • Promueve el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.
Constitución	31/10/2023	Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Tlaxcala	• Tiene por objetivo general preservar y elevar las condiciones de los habitantes de la entidad. • Promueve el cuidado y aprovechamiento de los recursos naturales. • Promueve el desarrollo tanto a nivel municipal, regional estatal o interestatal. Con la finalidad de disminuir sus desigualdades.
Ley	16/11/2023	Ley de Vivienda del Estado de Tlaxcala	• Establece los lineamientos en materia de vivienda dentro de la entidad. • Cuenta con nueve objetivos en materia de vivienda que repercuten tanto en su dotación, financiamiento, gestión y regulación. • Fomenta el desarrollo sustentable y sostenible para la dotación de vivienda. • Promueve una distribución equilibrada de la vivienda, tomando en consideración sus condiciones locales y regionales.
Ley	12/12/2023	Ley de Protección al Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible del Estado de Tlaxcala	• Establece los preceptos contenidos en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (Orden Federal). • Su objetivo es la preservación y protección al ambiente, como su restauración ecológica, regulación y distribución de competencias propiciando el desarrollo sostenible. • Cuenta con una visión de desarrollo sostenible y sustentable.

Fuente: elaboración propia a partir de GET, 2004; GET, 2021a; GET, 2021b; GET, 2023a; GET, 2023b; GET, 2023c y GET, 2023d.

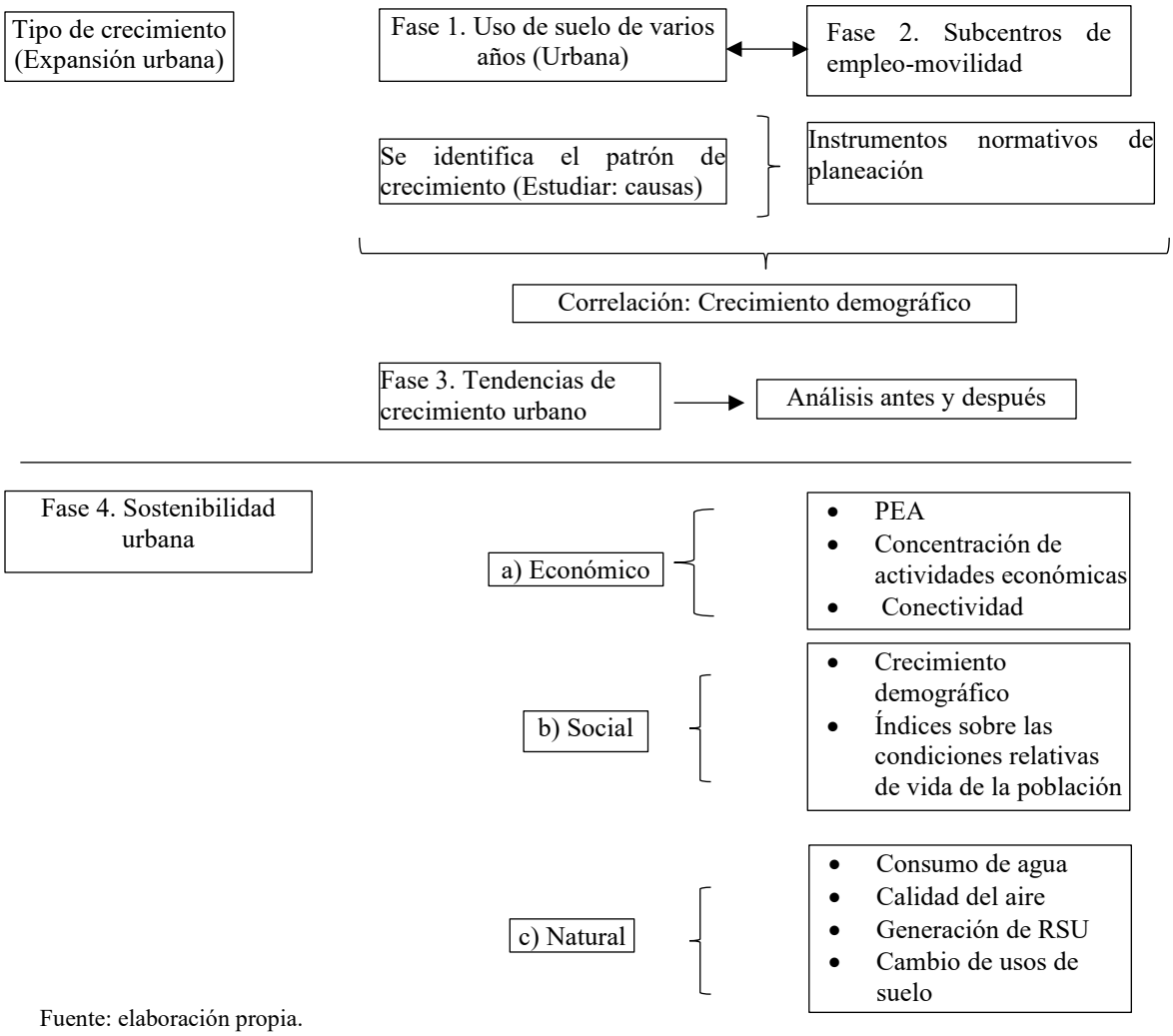
CAPÍTULO IV

Metodología

Capítulo IV. Metodología

Con referencia a los capítulos anteriores en dónde se establecen tanto los fundamentos teóricos y conceptuales para la comprensión del origen del proceso de expansión urbana y su sostenibilidad, así como una de sus consecuencias sobre el territorio. Además de la integración de marco de referencia sobre su estudio y distintas formas de medir este fenómeno. Dando como resultado que se debe tomar en consideración su evaluación conjunta, considerando sus distintas dimensiones de análisis, mismas que se pueden observar en la Figura 12, ya que esta dinámica de análisis debe abordarse desde un carácter multidimensional.

Figura 12. Dimensiones de análisis de la expansión urbana y sostenibilidad



Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, en este capítulo se desarrolla una alternativa para el análisis de los procesos de expansión urbana y su sostenibilidad, retomando los criterios metodológicos identificados en el Capítulo II, como las dimensiones de análisis mencionadas en la figura anterior. Permitiendo con ello profundizar en su análisis, sumando a ello la construcción de escenarios futuros de la expansión urbana, para observar sus distintas tendencias en las dos zonas de análisis.

En este sentido, se parte del análisis de la sostenibilidad desde una perspectiva del desarrollo sostenible, para ello se elaboró un índice resumen tomando en consideración tantos indicadores espaciales y no-espaciales, considerando su perspectiva multidimensional, empleando técnicas de análisis espacial y Sistemas de Información Geográfica, aplicado en las zonas de estudio.

En contra parte, para el análisis de la expansión urbana, se parte de la identificación de los subcentros de empleo en las zonas de estudio, mismos que son considerados como una fuerza modeladora del proceso de expansión urbana. Subsecuentemente, se realiza la construcción de escenarios de expansión urbana mediante el desarrollo de dos modelos, empleando un conjunto de variables e indicadores que condicionan el crecimiento de la zona urbana.

A continuación, se describen los siguientes apartados que integran a la metodología, misma que nos permite cumplir con el objetivo central de la investigación.

4.1. Índice de Sostenibilidad Urbana

Tomando como base los Capítulos I y II, para el análisis de la sostenibilidad urbana se generó un índice resumen, como subíndices resultantes de su carácter multidimensional, mismos que funcionan como una gama de instrumentos sumados al uso de técnicas cuantitativas de análisis espacial, permitiendo con ello el análisis del territorio y el manejo de grandes volúmenes de información estadística como espacial. Dando como resultado la identificación de factores que permiten, o no, la búsqueda de la sostenibilidad urbana.

Sumado a ello, se apoyó del documento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el cual analizó el proceso de urbanización en las últimas décadas en América Latina y el Caribe

(ALC), elaborando en 2010 la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES). Estableciendo tres dimensiones de análisis: 1) sostenibilidad ambiental y cambio climático; 2) sostenibilidad urbana, y 3) sostenibilidad fiscal y gobernabilidad (BID, 2016a), que abarcan 11 pilares, 30 temas y 67 subtemas; en conjunto representan 127 indicadores (BID, 2016b).

El índice como subíndices se construyeron a través de uno de los métodos más utilizados para el análisis multidimensional, el Método de Análisis de Componentes Principales (ACP) mediante el uso de 33 indicadores cuantitativos correspondientes a las tres dimensiones de análisis. Denominando al índice resultante como Índice de Sostenibilidad Urbana en Zonas Metropolitanas (ISUZM) en relación con la escala de su evaluación, aplicando el mismo a las zonas de estudio.

4.1.1. Selección de indicadores y fuentes de información

Para el abordaje multidimensional de la sostenibilidad urbana, se toma como eje rector la metodología ICES, la cual comprende un conjunto de temáticas (Tablas 13, 14, y 15), agrupadas en las grandes dimensiones que se componen. Dando pauta a la organización de los indicadores de los subíndices para calcular el ISUZM. Un elemento de principal importancia para resaltar es la limitante en la disponibilidad de información a escala municipal, como en el desarrollo de los distintos temas que considera el BID (2016b).

En la construcción de los indicadores a una escala municipal, se consultaron bases de datos de instituciones públicas mexicanas. Recopilando datos adecuados para la elaboración de 33 indicadores, estructurados en Dimensión I Sostenibilidad Ambiental y Cambio Climático 12 indicadores; Dimensión II Sostenibilidad Urbana 18 indicadores; y Dimensión III Sostenibilidad Fiscal y Gobernabilidad tres indicadores.

Tabla 13. Dimensión I Sostenibilidad Ambiental y Cambio Climático

Temas de sostenibilidad	Indicador	Unidades	Fuente
I. Agua	1. Cobertura de Agua	Porcentaje de Viviendas con agua potable	INEGI, 2021a
	2. Disponibilidad de recursos hídricos	Volumen concesionado de agua (metros cúbicos) por habitante	CONAGUA, 2022
	3. Concentración de contaminantes en las aguas superficiales	Existencia de estaciones de mantenimiento en el municipio de Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	CONAGUA, 2023

Temas de sostenibilidad	Indicador	Unidades	Fuente
	4. Cobertura de sistema de drenaje habitacional	Porcentaje de Viviendas con sistema de drenaje	INEGI, 2021a
II. Saneamiento y Alcantarillado	5. Tratamiento de aguas residuales	Existencia de Instalación de Tratamiento de aguas residuales en el municipio	CONAGUA, 2022
	6. Efectividad del drenaje	Capacidad de tratamiento de aguas residuales (metros cúbicos) respecto al volumen concesionado	CONAGUA, 2022, 2023
III. Gestión de residuos sólidos	7. Cobertura de recolección de residuos sólidos	Existencia se Servicio de recolección de residuos sólidos urbanos	INEGI, 2022
	8. Eliminación final adecuada de residuos sólidos	Existencia de Servicio de Tratamiento de residuos sólidos urbanos	INEGI, 2022
IV. Energía	9. Cobertura energética	Porcentaje de Viviendas con suministro de energía eléctrica	INEGI, 2021a
V. Calidad del Aire	10. Control de la calidad del aire	Existencia de estaciones de monitoreo en el municipio	SINAICA, 2023
VI. Mitigación del cambio climático	11. Planes y objetivos de mitigación	Existencia de Planes y objetivos de mitigación	INECC, 2020
VII. Vulnerabilidad ante desastres naturales	12. Sensibilidad ante desastres naturales	Riesgo de Inundación a nivel municipal	CENAPRED, 2017

Fuente: elaboración a partir de datos del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2021a); Sistema Nacional de Información del Agua (CONAGUA, 2022); Calidad del Agua Superficial a nivel nacional (CONAGUA, 2023); Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021 (INEGI, 2022); Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) (INECC 2022); Instrumentos de política climática por estado, a partir de información aportada por los gobiernos estatales (INECC, 2020); y Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2017).

Con relación a la Dimensión II, el indicador 8 de movilidad interna de la población, se calculó con el siguiente procedimiento conforme a Vazquez (2016) para el caso de movilidad laboral y se complementó para la estimación de la movilidad estudiantil:

$$P = \frac{\Sigma \text{PME} + \Sigma \text{PMT}}{\text{PTMie}} . 100$$

En donde,

ΣPME = Población que se desplaza por motivos de estudio dentro del municipio (INEGI, 2021c)

ΣPMT = Población que se desplaza por motivos de trabajo dentro del municipio (INEGI, 2021c)

PTMie = Población total del municipio ie estimada (INEGI, 2021c)

Tabla 14. Dimensión II Sostenibilidad Urbana

Temas de sostenibilidad	Indicador	Unidades	Fuente
I. Uso del suelo y ordenamiento del territorio	1. Densidad	Habitantes por kilómetro cuadrado	INEGI, 2021a
	2. Vivienda	Porcentaje de viviendas particulares con hacinamiento	CONAPO, 2021
	3. Áreas verdes y de recreación	Superficie de áreas verdes por habitante (metros cuadrados por habitante)	INEGI, 2021b
II. Desigualdad urbana	4. Pobreza	Porcentaje de población en situación de pobreza	CONEVAL, 2021a
	5. Segregación socioespacial	Índice de segregación	Elaboración con base en De Las Heras et al., 2020a
	6. Desigualdad de ingresos	Coeficiente de GINI	CONEVAL, 2021b
III. Movilidad y transporte	7. Seguridad vial	Víctimas de accidentes de tráfico por 100,000 habitantes	INEGI, 2021d
	8. Movilidad interna de la población	Porcentaje de población que se desplaza por motivos de trabajo o estudio	Elaboración propia
IV. Competitividad de la economía	9. Producto Bruto	Valor Agregado Bruto Censal por habitante	INEGI, 2020 e INEGI, 2021a
V. Empleo	10. Desempleo	Porcentaje de población desocupada sobre la PEA	INEGI, 2021a
	11. Empleo informal	Porcentaje de población ocupada en el sector informal	INEGI, 2020 e INEGI, 2021a
VI. Conectividad	12. Internet	Porcentaje de viviendas particulares habitadas con servicio de internet	INEGI, 2021a
	13. Telefonía	Porcentaje de viviendas particulares habitadas con teléfono celular	INEGI, 2021a
VII. Educación	14. Calidad educativa	Grado promedio de escolaridad (Resultado de dividir el monto de grados escolares aprobados por las personas de 15 a 130 años de edad entre las personas del mismo grupo de edad. Excluye a las personas que no especificaron los grados aprobados)	INEGI, 2021a
	15. Asistencia escolar	Porcentaje de población de entre 3 y 14 años que asiste a la escuela	INEGI, 2021a
	16. Educación superior	Porcentaje de población de 18 años y más con educación posbásica	INEGI, 2021a
VIII. Seguridad	17. Violencia	Número de delitos por cada 100,000 habitantes	SESNSP, 2022
IX. Salud	18. Provisión de servicios de salud	Porcentaje de población afiliada a servicios de salud	INEGI, 2021a

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2021a); Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2021b); Muestra del Censo de Población y Vivienda 2020. Cuestionario ampliado (INEGI, 2021c); Índice de marginación por municipio, con base en el Censo de Población y Vivienda 2020 (CONAPO, 2021); Pobreza a nivel municipio 2010-2020 (CONEVAL, 2021a); Índice de segregación (De Las Heras et al., 2020a); Cohesión Social Municipios (CONEVAL, 2021b); Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas (INEGI, 2021d); Censos Económicos 2019 (INEGI, 2020); Incidencia delictiva del Fuero Común Municipal 2015-2022 (SESNSP, 2022).

Sobre la Dimensión III, incluye sólo tres indicadores, además de que considera si el municipio se encuentra con deuda pública, situación que puede modificar la focalización del presupuesto anual, para el desarrollo e instrumentación de políticas públicas.

Tabla 15. Dimensión III Sostenibilidad Fiscal y Gobernabilidad

Temas de sostenibilidad	Indicador	Unidades	Fuente
I. Impuestos y autonomía	1. Ingresos e impuestos municipales	Indicador calculado mediante el índice de Autonomía Financiera	INEGI, 2023 y Barceleta Chávez, 2015
II. Gestión del gasto	2. Calidad del gasto público	Indicador calculado mediante el índice de gasto público municipal	INEGI,2020, 2023 y Barceleta Chávez, 2015
III. Deuda	3. Sustentabilidad de la deuda municipal	Municipios con deuda pública	SHCP, 2022

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Censo Económico 2019 (INEGI, 2020); Estadística de Finanzas Públicas Estatales y Municipales 1989-2021, información anual, cifras preliminares 2021 (INEGI, 2022); Financiamientos y Obligaciones Inscritos en el Registro Público Único (SHCP, 2022); y Barcelata Chávez, 2015.

Sobre las fuentes de información utilizadas, es conveniente mencionar que son de carácter público, el periodo de análisis conforme a los datos disponibles es de 2017 a 2020, para la construcción de los indicadores de las tres dimensiones, con la finalidad de tener la visión más reciente para la elaboración del índice como sus subíndices.

4.1.2. Elaboración de Índice de Sostenibilidad Urbana en Zonas Metropolitanas

Para los fines de la evaluación de la metodología ICES, se elaboró el Índice de Sostenibilidad Urbana en Zonas Metropolitanas (ISUZM) a partir de 33 indicadores agrupados en las tres dimensiones, cada una correspondiente a un subíndice. El Subíndice de la Dimensión I, se compone a su vez de dos subíndices, uno con cinco indicadores numéricos y el otro con siete de tipo nominal. Los tres subíndices permitieron el cálculo del índice, mismos que se elaboraron con el método de Análisis de Componentes Principales (ACP) para lo cual se empleó el software SPSSTM (Programa Estadístico para las Ciencias Sociales).

La organización de las dimensiones de la sostenibilidad queda formulada de la siguiente forma:

$$ISUZM = \overline{X}\ DI\ (VDI) + \overline{X}\ DII\ (VDII) + \overline{X}\ DIII\ (VDIII)$$

ISUZM = Índice de Sostenibilidad Urbana en Zonas Metropolitanas

$\overline{X}$ = Función ponderada

DI = Dimensión I *Sostenibilidad Ambiental y Cambio Climático*

VDI = Variables de Dimensión I (12 indicadores)

DI = Dimensión II *Sostenibilidad Urbana*

VDII = Variables de Dimensión II (18 indicadores)

DIII = Dimensión III *Sostenibilidad Fiscal y Gobernabilidad*

VDII = Variables de Dimensión III (3 indicadores)

Para el cálculo de los componentes principales, se estandarizaron las variables para que fueran comparables entre sí. Así como se organizaron los indicadores conforme a su dimensión de análisis, para el cálculo de los subíndices, fue con la siguiente organización:

Subíndice DIb1. Es el subíndice con dos tipos de indicadores, cinco de tipo número y siete binario en donde el 0 significa ausencia y 1 presencia. Para el caso de los indicadores de tipo numérico se llevó a cabo su estandarización y ACP. En el caso de los siete indicadores binarios, se calculó su subíndice de mediante el siguiente procedimiento para su posterior ACP:

- Subíndice DIb2 = [(Concentración de contaminantes en las aguas superficiales + Tratamiento de aguas residuales + Cobertura de recolección de residuos sólidos + Eliminación final adecuada de residuos sólidos + Control de la calidad del aire + Planes y objetivos de mitigación + Sensibilidad ante desastres naturales) /7]*100.
- Subíndice DII. Consta de 18 indicadores, los cuales fueron estandarizados y se aplicó el ACP.
- Subíndice DIII. Consta de tres indicadores que también se estandarizaron, para posteriormente aplicar el ACP.

Sobre la validación del índice como los subíndices que lo integran, se realizó con la obtención de la Varianza Total Explicada, la cual debe ser superior a 50% en el segundo componente (De Las Heras, 2020b). Para la Zona Metropolitana de Toluca, el subíndice Dimensión I fue de 75.616%, Subíndice de la Dimensión II fue de 65.651%, y de la Dimensión III fue de 84.287%. Para el ISUZM se obtuvo 91.164% de varianza en el segundo componente. Se re-

escalado el índice para su representación y análisis en 5 rangos de sostenibilidad urbana, mediante la técnica de Dalenius y Hodge en los siguientes estratos: Muy bajo (-2.255400 a -1.410372); Bajo (-1.410371 a -0.565343); Medio (-0.565342 a 0.279686); Alto (0.279687 a 1.124715) y Muy alto (1.124716 a 1.969744).

Para el caso de la Zona Metropolitan de Puebla-Tlaxcala el subíndice Dimensión I fue de 68.814%, Subíndice de la Dimensión II fue de 57.473%, y de la Dimensión III fue de 81.339%. Para el ISUZM se obtuvo 84.742% de varianza en el segundo componente. El ISUZM fue re-escalado y estratificado al igual que la ZMT en cinco estratos: Muy bajo (-1.610000 a -0.901429); Bajo (-0.901428 a -0.192859); Medio (-0.192855 a 0.515716); Alto (0.515717 a 1.224289) y Muy alto (1.224290 a 3.350006).

4.2. Subcentros de empleo

Para la elaboración de este trabajo se utilizó, fundamentalmente la información disponible del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) en sus ediciones de 2010 y 2020, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010b e INEGI, 2020e). Además de la información censal de los años de análisis como sus respectivos Marcos Geoestadísticos. La información utilizada se encuentra desagregada por subsector de actividad incorporando todas las actividades definidas por el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) en 2018 (INEGI, 2018b) a escala de Área Geoestadística Básica (AGEB) a nivel urbano.

En esta investigación, se optó por el uso la definición de los subcentros de tipo de doble umbral, deriva del propuesto de por Guiliano y Small en 1990 (Garrocho y Campos, 2007), entre las ventajas de su uso es su sencilla aplicación a las condiciones de las zonas urbanas con estructuras policéntricas. Derivado de ello, se definieron como subcentros de empleo aquellas áreas que registran:

1. Una magnitud de empleo superior a la media de la ciudad de estudio más una desviación estándar.
2. Una densidad de empleo superior a la media de la ciudad de estudio o zona metropolitana. Los umbrales definidos para la identificación de los subcentros de empleo se instrumentaron de la siguiente expresión:

$$Di, s > De, s, t$$

$$Mi, s > (Ec, s, t) + (STD\ Ec, s, t)$$

Donde:

D = Densidad del empleo (empleos / hectárea)

I = Área geoestadística básica (AGEB)

s = Agregación sectorial

c = Zona metropolitana de estudio

t = Año para el que se realiza el análisis

M = Magnitud del empleo (número de empleos)

E = Magnitud promedio del empleo por AGEB

STD = Desviación estándar

Para conocer el aspecto de que tan diversificado o especializado se encuentra la zona de estudio, a nivel AGEB, con ligeras modificaciones al usado por Garrocho y Campos (2007), el Índice de Especialización Local (IE) para cada AGEB, se obtuvo relacionando el porcentaje de empleo en cada AGEB respecto del empleo total de la zona de estudio, con el porcentaje del empleo en cada AGEB respecto del empleo total de los AGEB de la zona de estudio. Quedando la siguiente expresión matemática:

$$IEs = (Es, i/Es, t)/(EST, i/EST, t)$$

Donde:

IEs = Índice de especialización local del AGEB “s”

Es, i = Empleo del AGEB "s" en el sector "i”;

Es, t =Empleo total del AGEB"s”;

EST, i = Empleo de los AGEB´s de la zona de estudio en el sector "i”;

EST, t = Empleo total de los AGEB´s de la zona de estudio.

Los valores más cercanos a uno mostrarán aquellas zonas con mayor diversificación económica, por el contrario, aquellos con valores cercanos a cero, indican una tendencia de especialización o con poca diversidad de actividades económicas.

Otro aspecto, ha considerar es la estimación de la población empleada por cada unidad económica y obtener la magnitud de empleo a nivel AGEB, para ello se establecieron los siguientes rangos: 0 a 5 personas = 3 personas, 6 a 10 personas = 8 personas, 11 a 30 personas = 20 personas, 31 a 50 personas = 40 personas, 51 a 100 personas = 75 personas, 101 a 250 personas = 175 personas, y 251 y más = 400 personas.

Para analizar los patrones de movilidad laboral, el insumo principal para su construcción para 2010, fue los microdatos de la muestra (cuestionario ampliado) del Censo de Población y Vivienda 2010; en el caso del año 2020 se usó también los microdatos de la Muestra (cuestionario ampliado) del Censo de Población y Vivienda 2020 ambos publicados por el INEGI, de las entidades federativas que integran la zona de estudio, la información se procesó mediante el uso de SPSS y Excel, para su representación espacial se usó ArcGis 10.8, mediante el siguiente procedimiento:

- La dimensión de movilidad laboral para el año 2010 se construyó de la pregunta "¿En qué estado (o país) está el negocio, empresa o lugar donde trabajó (NOMBRE) la semana pasada? (LTRABPAI_C)", más la pregunta "¿En qué municipio (delegación) está el negocio, empresa o lugar donde trabajó (NOMBRE) la semana pasada? (LTRABMUN_C)"; ambas preguntas del cuestionario ampliado del Censo de Población y Vivienda 2010.
- Para la construcción de la dimensión laboral en el año 2020, se construyó de la pregunta "¿En qué estado o país está el negocio, empresa o lugar donde trabajó (NOMBRE) la semana pasada? (ENT_PAIS_TRAB)", sumando la pregunta "¿En qué municipio (Demarcación territorial) está el negocio, empresa o lugar donde trabajó (NOMBRE) la semana pasada? (MUN_TRAB)", permitiendo conocer los desplazamientos de la población laboral.
- La delimitación de los movimientos ocasionados por motivos de trabajo para la zona de estudio a escala municipal consistió en la eliminación los destinos no especificados, considerando únicamente los movimientos de los municipios que integran la zona metropolitana. Excluyendo aquellos desplazamientos en dirección a otros municipios o entidades externos a la zona de análisis.
- Se construyó una matriz de entrada y salida de la movilidad laboral, para obtener los valores absolutos de desplazamientos, estructurando una matriz de doble entrada, cuyo resultado permitió la cuantificación de los desplazamientos existentes entre municipios, distinguiendo tanto las entradas como salidas de población por motivos de trabajo.

- Los flujos de movilidad o direcciones de movilidad se obtuvieron a partir del calculó del centroide de cada municipio, para posteriormente con su coordenada X e Y, se obtuvo el origen y destino de los desplazamientos, como su distancia euclidiana entre los municipios que tienen interacción.
- Para la representación espacial de los resultados obtenidos, se consideró el marco geoestadístico de cada temporalidad de análisis con sus respectivas claves municipales, con la información estadística generada, para su posterior vinculación y realizar su representación de las interacciones o flujos.

Por último, los valores de los umbrales de densidad de empleo para la Zona Metropolitana de Toluca fueron de 7 y 8.5 empleos/ha para los años 2010 y 2020; para el caso de la magnitud de empleo fue de 1,725 y 2,318 empleos para los mismos años respectivamente. En el caso de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala fueron de 7 y 8.5 empleos/ha para los años 2010 y 2020; la magnitud de empleo fue de 1,374 y 1,814 empleos para la misma temporalidad.

4.3. Simulación de crecimiento urbano-modelos mediante autómatas celulares y análisis multicriterio

Para comprender el proceso de expansión urbana en las zonas de estudio y contando con la información necesaria, para la construcción de una simulación de esta, considerándolo como un fenómeno complejo que obedece a la interacción de múltiples factores, para ello se usó la estructura del modelo S.L.E.U.T.H., que es uno de los modelos de crecimiento urbano desarrollado con este fin. Además, de que permite comparar y contemplar las tendencias del crecimiento de la mancha urbana, realizando varios ajustes usando distintos parámetros de restricción. La modelización realizada emplea técnicas de análisis espacial mediante Autómatas Celulares y Sistemas de Información Geográfica. El proceso de modelización consta de tres fases: 1. Preparación de datos, 2. Simulación y 3. Evaluación y visualización de resultados.

Para el desarrollo de la simulación se desarrolló la primera fase, correspondiente a la preparación de datos e identificación de la información disponible. Aunado a ello, es importante la selección de factores determinantes para la expansión urbana para las zonas de estudio. Es importante mencionar que se realizó la construcción de los modelos tomando o no la variable de los subcentros de empleo, como un factor que acelera el crecimiento de la zona urbana. Estableciendo los siguientes factores:

1. Proximidad a áreas urbanas edificadas o superficie construida.
2. Proximidad a vialidades primarias.
3. Proximidad a vialidades secundarias.
4. Proximidad a áreas centrales o subcentros de empleo.
5. Relieve o distintos grados de pendiente aptos para el crecimiento urbano.

Una vez identificados los factores para la construcción de los modelos, es necesario contar con las capas de información espacial, ya sea en formato shapefile o ráster. Para ello se utilizó el

software LanduseSim v2.3.1[4] y sus complementos para ArcGis 10.8. En ellos se simuló el crecimiento urbano de las zonas de estudio en un periodo de 15 años (2020-2035), siguiendo los patrones de crecimiento, sumado a la delimitación de las Áreas Naturales Protegidas de orden Federal y Estatal, tomándolas como principales zonas de restricción para la construcción de los modelos.

4.3.1. Preparación del modelo

Para la preparación de los parámetros de la simulación de crecimiento urbano en las zonas de estudio consistió en varias etapas. La primera etapa consistió en la construcción de un mapa de usos de suelo relacionado con los objetivos planteados en la investigación. Para este caso, con la finalidad de observar los patrones de la expansión urbana o superficie construida, tomando en consideración la conservación de las áreas verdes y áreas naturales protegidas, se elaboró un mapa de usos de suelo con siete usos: Bosque (1), Cultivos (2), Superficie construida (3), Suelo desnudo (4), Pastizal (5), Cuerpo de agua (6)y ANP (Área Natural Protegida, 7).

En el caso de los distintos usos de suelo se utilizó la información proporcionada por el "Global land use/land cover with Sentinel-2 and 153eep learning" elaborado por Impact Observatory, Microsoft, and Esri (Karra et al., 2021). En donde posteriormente se realizó una reclasificación y depuración de las capas de información para corregir errores topológicos. Además, para el caso de los cuerpos de agua y mejorar su delimitación se utilizó el conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica escala 1:20,000 (INEGI, 2023b)

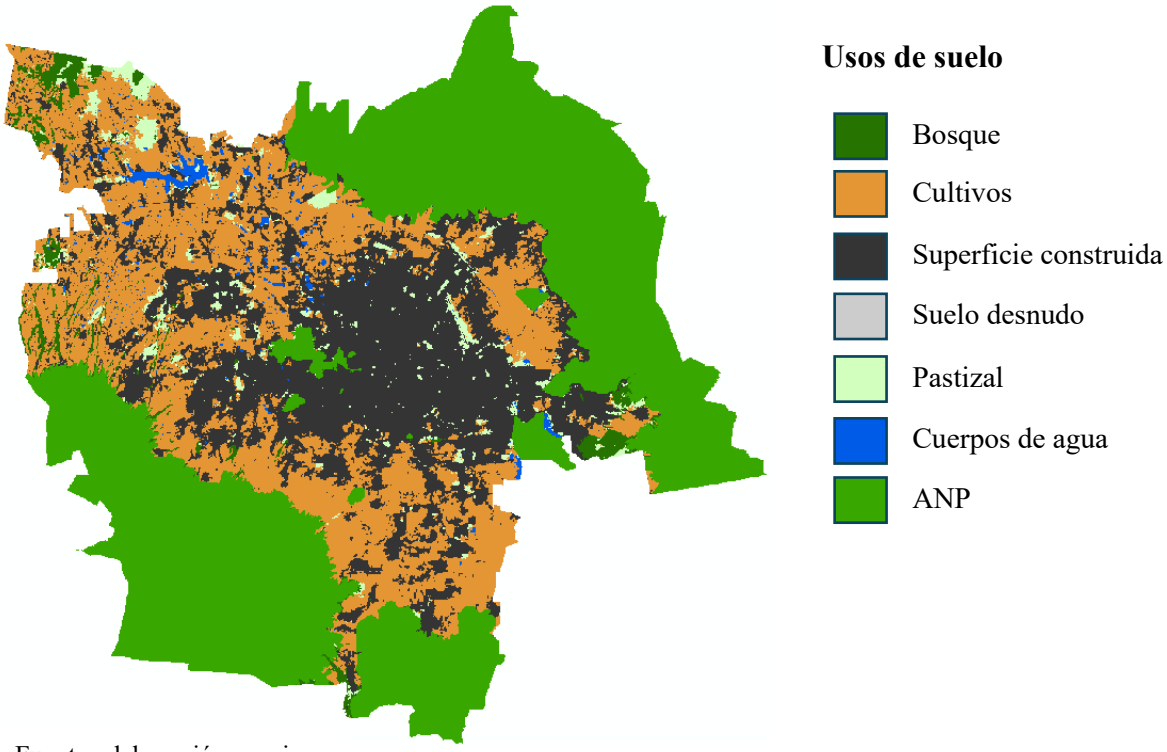
Sobre el aspecto de las Áreas Naturales Protegidas, se utilizó la Información Geoespacial de las Áreas Naturales Protegidas de México (CONANP, 2023), para su delimitación de aquellas que son de orden Federal. Por otro lado, en el caso de las de orden Estatal se utilizó las Áreas Naturales Protegidas Estatales, Municipales, Ejidales, Comunitarias y Privadas de México 2020 (CONABIO, 2020). Para la construcción de la capa de vialidades, se utilizó la información de la

[4] Para el año 2024, el software ha dejado de ser de uso gratuito y a fecha de enero del mismo año, han cambiado sus políticas de uso.

Red Nacional de Caminos (RNC) en su edición 2020 (INEGI, 2020d), en la construcción de vialidades primarias. Para las vialidades secundarias se usó el eje de vialidades del Marco Geoestadístico 2020 (INEGI, 2021b).

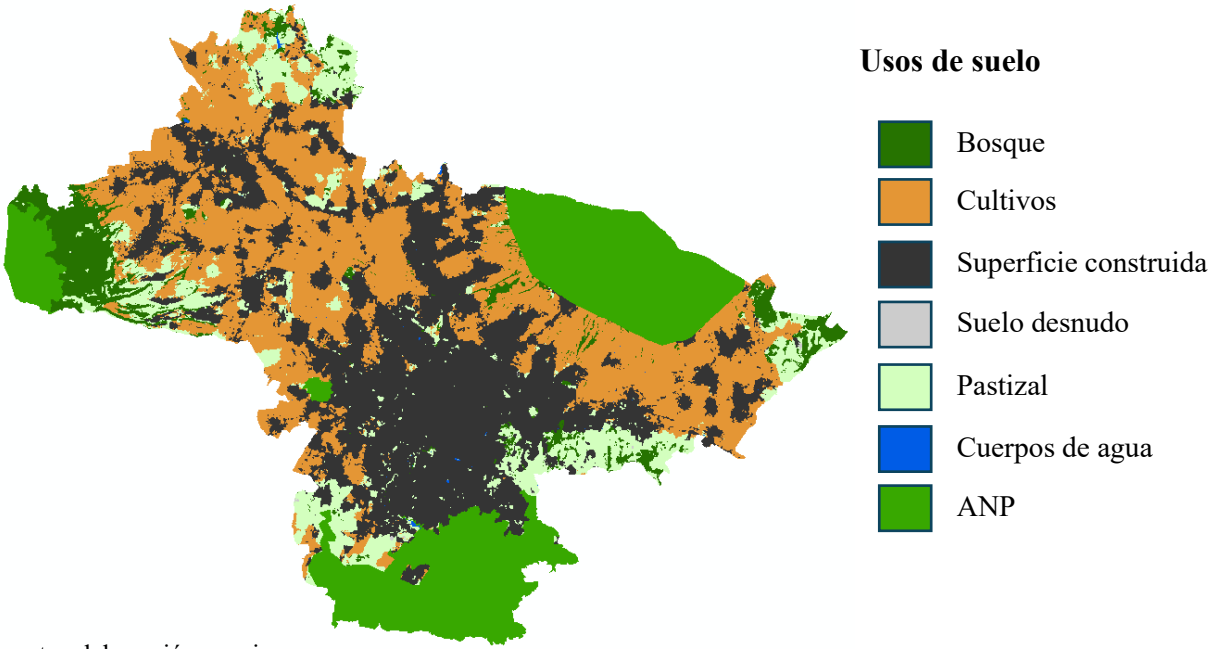
En la capa de pendientes se utilizó el Continuo de Elevaciones Mexicano o CEM (INEGI, 2013). En el caso de los subcentros de empleo, se utilizaron los resultados obtenidos del apartado 4.1, de las zonas de estudio. Sobre la delimitación de las zonas de estudio, se empleó la delimitación de zonas metropolitanas de 2015 por parte de SEDATU et al. (2018). Una vez establecido las variables y distintas fuentes de información para la construcción de los modelos, da como resultado las capas de información de usos de suelo en 2020 de la ZMT a una resolución espacial del píxel de 35 metros, para el caso de la ZMPT fue de 45 metros por cada píxel, ambas resoluciones fueron las escalas permitidas en el software empleado para la construcción de los escenarios.

Figura 13. Usos de suelo codificado en 2020 de la Zona Metropolitana de Toluca



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Usos de suelo codificado en 2020 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala

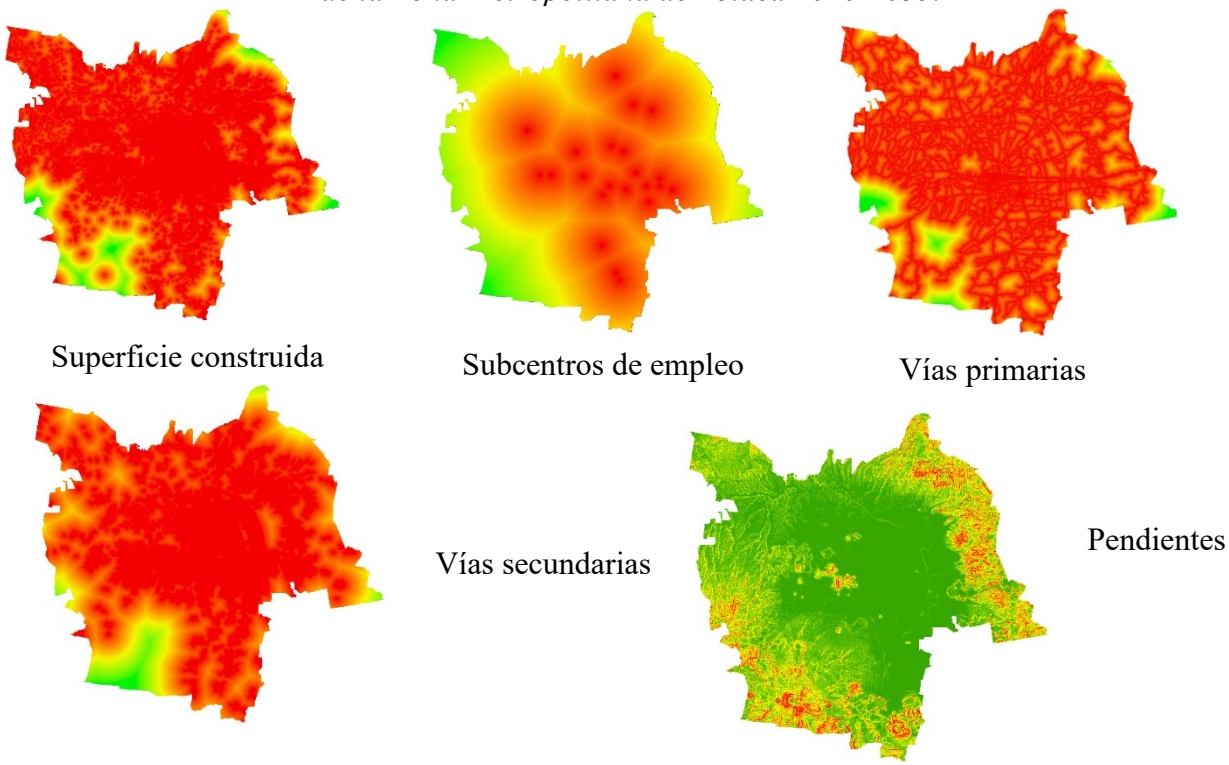


Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Selección de factores de crecimiento

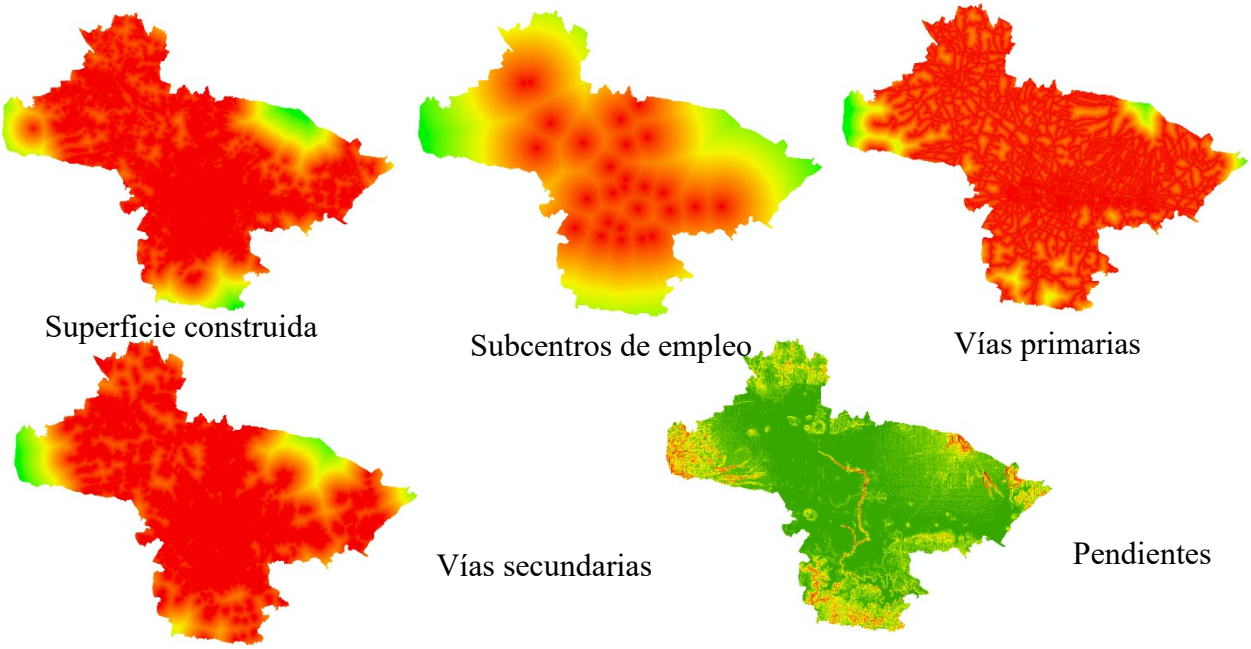
Para la definición de los factores de crecimiento para la construcción de los modelos de simulación urbana, para el primer modelo aplicado tanto para la ZMT y ZMPT fueron: proximidad a la superficie construida (a partir del mapa de usos de suelo), proximidad a vías primarias (mapa de vialidades primarias), proximidad a vías secundarias (mapa de ejes de vialidad), subcentros de empleo o centralidades (mapa de los subcentros de empleo identificados en las zonas de estudio) y relieve (mapa de pendientes). Para el caso del segundo modelo, solo se eliminó el factor de los subcentros de empleo. A partir, de la selección anterior se procede al cálculo de las distancias euclidianas de los pixeles a cada uno de los factores, haciendo hincapié que para la ZMT la resolución fue de 35 metros y para la ZMPT corresponde a 45 metros (Figura 15 y 16).

Figura 15. Distancia euclidiana de los factores utilizados para la construcción del Modelo 1 y 2 de la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035.



Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Distancia euclidiana de los factores utilizados para la construcción del Modelo 1 y 2 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 2020-2035



Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, para realizar una evaluación de cada uno de los factores seleccionados (distancia y pendiente), se deben de estandarizar. Para ello, se utiliza un método lineal de ajuste difuso, con el cual se asume la importancia de cada factor presenta un decrecimiento monotónico a medida que aumenta la distancia o la pendiente. Dando como resultado que todos los factores varíen entre valores de 0 y 1, siendo aquellos con valores más bajos los que presenten una mayor distancia o valor más alto de pendiente.

Con los mapas generados, se procedió a la elaboración del mapa de Potencial de Transición Inicial (PTI) siendo la base en donde se simulará la expansión urbana. El mapa es creado utilizando el método de evaluación multicriterio e implica la incorporación de ponderaciones individuales para cada uno de los factores seleccionados (Weighted Raster Module). Para la realización del primer modelo se empleó la siguiente ponderación: distancia a superficie construida 0.20, distancia a subcentros de empleo 0.20, distancia a vías primarias 0.20, distancia a vías secundarias 0.20, y pendientes 0.20. Para el caso del modelo dos, se elimina el factor de subcentros de empleo,

quedando la siguiente ponderación: distancia a superficie construida 0.25, distancia a vías primarias 0.25, distancia a vías secundarias 0.25, y pendientes 0.25.

Para complementar el análisis del PTI y orientarlo a la conservación de los recursos naturales mediante el respeto a las Áreas Naturales Protegidas y áreas verdes, estableciendo las zonas de restricción conforme al mapa de usos de suelo, fueron: Bosque, Pastizal, Cuerpos de agua y ANP; definidas como aquellas zonas en donde no se dará el crecimiento de la zona urbana.

4.3.3. Simulación de la expansión urbana 2020-2035

Para la realización de la simulación, se debe definir la vecindad a partir de la cual se simulará el cambio de cada una de las celdas, señalando cuantos vecinos influirán en dicho cambio. En este caso se utilizó la vecindad de Moore radio 2 (3x3) una de las más utilizadas en la construcción de escenarios futuros, aplica la misma ponderación (1) a todas las celdas dentro del vecindario o zona de análisis. Se definió a la suma como la operación focal que realizará entre las celdas comprendidas dentro de la zona de estudio. Su selección indica un efecto colectivo de todos los vecinos sobre el uso de suelo en la celda central.

Una vez realizado el PTI y la vecindad, se determina el grado de elasticidad de cambio entre usos de suelo, lo que se traduce en la probabilidad de cambio de un uso a otro. A mayor valor de elasticidad el cambio es más probable que suceda. Para la finalidad de los objetivos planteados en la investigación, el único uso con posibilidades de crecimiento es la superficie construida (3) y el mismo puede cambiar sobre cultivos (2) y suelo desnudo (4).

Por último, se elaboran las Reglas de Transición. Las mismas consisten en: el crecimiento esperado para la clase de superficie construida, el potencial de transición inicial para cada uso de suelo, los usos de suelo que no pueden cambiar o son de uso restringido (bosque, pastizal, cuerpos de agua y ANP) y la elasticidad de cambio de cada una de las categorías, en este caso sólo a la superficie construida.

CAPÍTULO V

Resultados y Discusión

Capítulo V. Resultados y Discusión

En el presente capítulo se presenta la instrumentación de la metodología propuesta en el capítulo anterior, dando como resultado el análisis de la expansión urbana, considerando tanto sus patrones como escenarios de crecimiento de 2020 a 2035 de la Zona Metropolitana de Toluca y Puebla-Tlaxcala, mismas que se localizan en la Megalópolis del Centro de México, sumando su análisis de sostenibilidad con un carácter multidimensional, considerando tantos aspectos ambientales como de cambio climático, sostenibilidad urbana, y sostenibilidad fiscal y gobernabilidad.

Permitiendo con ello, medir los distintos niveles de sostenibilidad urbana de las zonas de estudio, observando tanto sus ventajas y desventajas que expliquen sus distintos niveles de sostenibilidad. El segundo elemento de análisis son los subcentros de empleo, como un factor predominante para la configuración del comportamiento de la expansión urbana. Cerrando con la construcción de escenarios de expansión urbana, permitiendo con ello observar sus patrones de comportamiento. Destacando que cada uno se realizó su propio procedimiento de información y análisis estadístico, mediante las herramientas de medición apropiadas conforme a la literatura.

5.1. Análisis de la Sostenibilidad

Para analizar los patrones de sostenibilidad urbana, se aplicó el Índice de Sostenibilidad Urbana en Zonas Metropolitanas (ISUZM) para el año 2020, en las zonas de estudio. La medición de la sostenibilidad urbana presenta una visión de carácter multidimensional, por el conjunto de factores que intervienen en la misma, además de los insumos utilizados para medirla como de los indicadores empleados.

5.1.1. Sostenibilidad Urbana en la Zona Metropolitana de Toluca

La Zona Metropolitana de Toluca, está conformada por 16 municipios y de acuerdo con la Figura 17 el comportamiento espacial de la mayoría de los municipios presenta un índice de sostenibilidad urbana medio con un total de nueve, correspondiente a municipios colindantes con el municipio central, localizados al noreste de la zona metropolitana (agrupamiento de siete

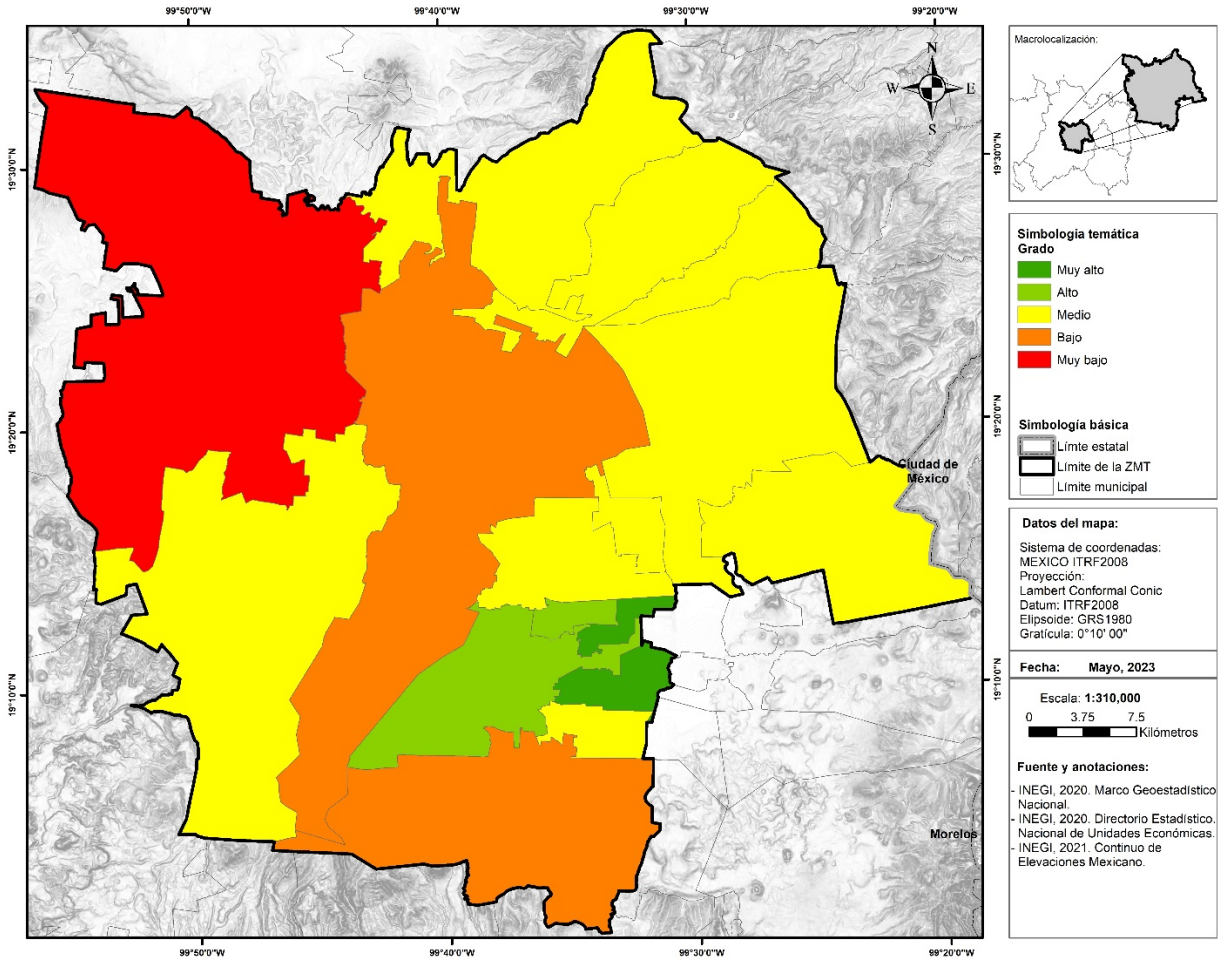
municipios), uno en dirección al oeste y una presencia con este comportamiento en dirección sureste.

Dos municipios cuentan con un ISUZM con un rango Muy alto, correspondiendo a Chapultepec (valores más altos de sostenibilidad urbana) y San Antonio la Isla, ubicados en dirección sureste de la ZMT. Otro elemento para resaltar, son agrupamientos que son conformados por aquellos municipios que presentan un rango medio, bajo y alto. Se observa, además, un patrón descendente de los municipios con mayores niveles de sostenibilidad con dirección sureste a noroeste; en donde el municipio con menor nivel de sostenibilidad le corresponde a Almoloya de Juárez.

Por otro lado, de acuerdo con la Tabla 16, el nivel de sostenibilidad con mayor concentración de población le corresponde al rango medio, con 44.66% (1,051,181 habitantes en 2020) del total de la población de la ZMT concentrada en una superficie de 1,139.38 km^2, representando 47.45% de la extensión total. En segunda posición le siguen aquellos municipios con un nivel de sostenibilidad Bajo con dos municipios (Toluca y Tenango del Valle), mismos que concentran 42.53% de la población y una superficie de 634.48 km^2, representando 26.42% del total de su territorio. Estos dos rangos concentran 87.19% de la población total y 73.87% de la superficie de la ZMT.

Sobre los municipios que presentan mayores niveles de sostenibilidad urbana, aquellos con un nivel de sostenibilidad urbana Muy alto, concentra solo 1.9% de la población total y 1.53% de la superficie de la ZMT. Subsecuentemente, aquellos con un nivel Alto concentran tan solo 3.5% de la población total y 4.75% de la superficie. Siendo estos los de menor presencia en términos de concentración de población y superficie.

Figura 17. Niveles de sostenibilidad urbana en la Zona Metropolitana de Toluca en 2020



Fuente: elaboración propia a partir del Marco Geoestadístico (INEGI, 2021b)

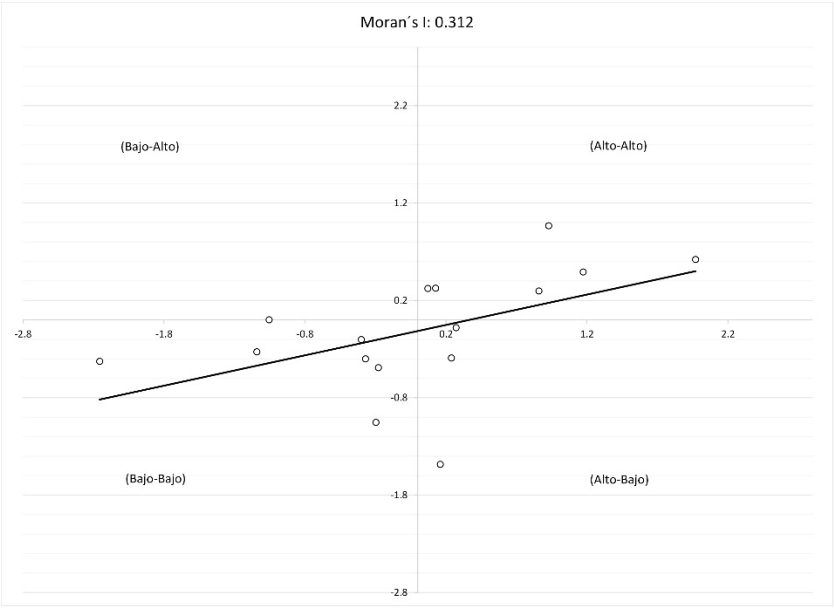
Tabla 16. Distribución espacial del grado de sostenibilidad urbana por municipio en la Zona Metropolitana de Toluca en 2020

Nivel de sostenibilidad urbana	Número de municipios	Población 2020	Porcentaje de población sobre el total	Superficie total (kilómetros cuadrados)	Porcentaje de superficie sobre el total
Muy bajo	1	174,587	7.42	476.84	19.86
Bajo	2	1,001,126	42.53	634.48	26.42
Medio	9	1,051,181	44.66	1,139.38	47.45
Alto	2	82,296	3.50	114.08	4.75
Muy alto	2	44,734	1.90	36.67	1.53
Total	16	2,353,924	100.00	2,401.46	100.00

Fuente: elaboración propia a partir del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2021a)

El comportamiento del índice, aplicando técnicas de asociación espacial, calculando el índice de autocorrelación global de Morán, presenta un índice de 0.312 (Figura 18), lo que se traduce en la zona de estudio la presencia de uno o varios agrupamientos espaciales de unidades con valores de sostenibilidad urbana similar.

Figura 18. Diagrama de dispersión. Índice de Autocorrelación Global de Moran para la Zona Metropolitana de Toluca



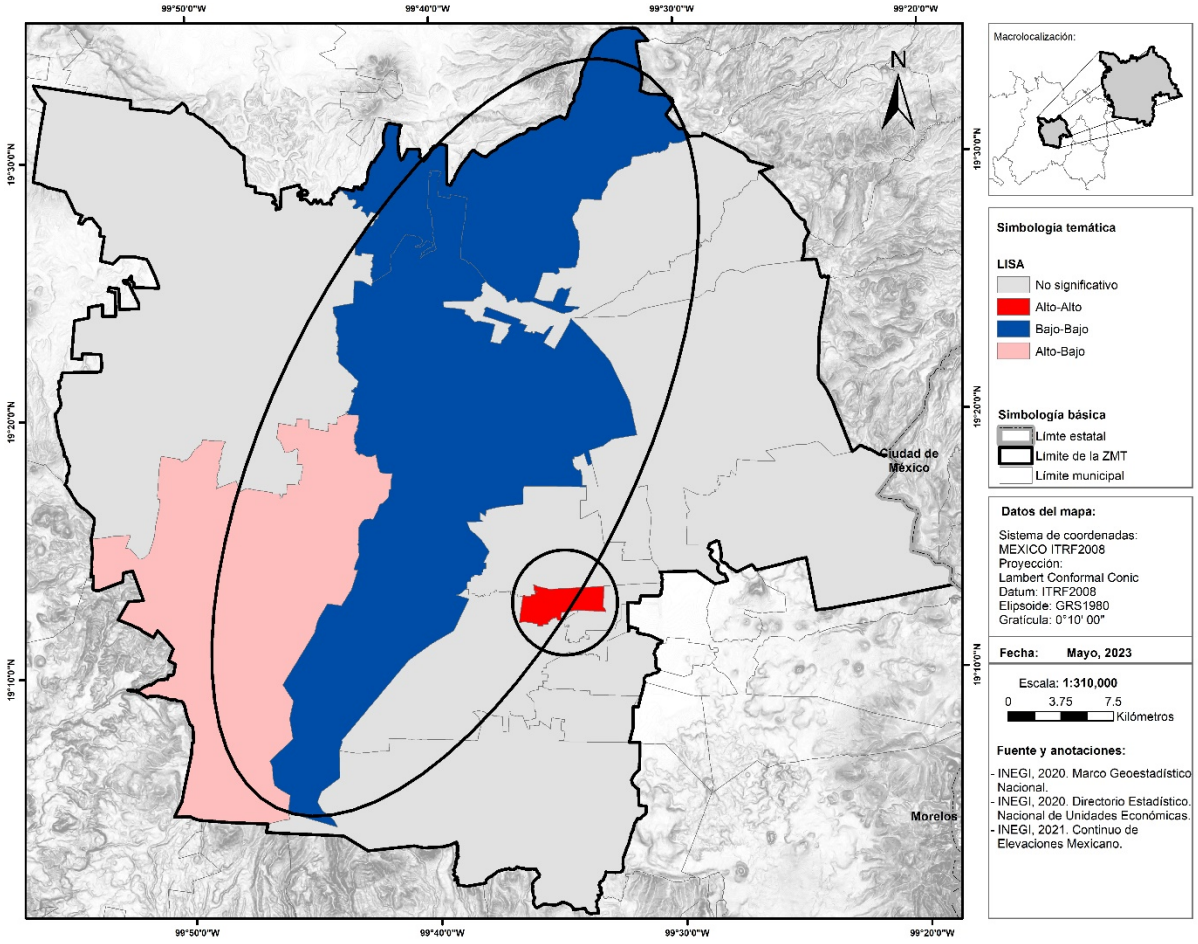
Fuente: elaboración propia a partir del Índice de Sostenibilidad Urbana para Zonas Metropolitanas.

Sobre el comportamiento del diagrama de dispersión, se observa que la pendiente de la recta de regresión formado con el eje de las abscisas indica la importancia de la autocorrelación existente, mostrando una autocorrelación espacial baja. Localizándose en los cuadrantes Alto-Alto, Alto-Bajo y Bajo-Bajo; mismos en los que se ubican unidades espaciales o municipios con un ISUZM con valores superiores o inferiores a la media de la zona metropolitana, mostrando agrupamientos entre aquellos con valores o características similares respecto a su nivel de sostenibilidad urbana.

Presentando una baja significancia de asociación espacial en sus niveles de sostenibilidad urbana en los municipios que conforman la zona de estudio. Identificando tres tipos de clúster (Figura 19) uno Alto-Alto ubicado en la parte este de la ZMT correspondiente al municipio de Mexicaltzingo; el otro tipo de clúster Alto-Bajo correspondiente a Zinacantepec; y el tercer clúster Bajo-Bajo conformado por Toluca y Temoaya, con dirección norte-sur. Se observa, que la mayoría de los municipios presentan valores "No significativos[5]", como se observa en la Tabla 17.

[5] Esta categoría se refiere a unidades espaciales con valores estadísticamente no significativos y cuyos valores de segregación no se pueden determinar de manera confiable en términos estadísticos.

Figura 19. Análisis de Clúster y de valores atípicos (Índice de Autocorrelación Espacial Local de Morán) para la Zona Metropolitana de Toluca



Fuente: elaboración propia a partir del Marco Geoestadístico (INEGI, 2021b)

Tabla 17. Distribución espacial de los niveles de sostenibilidad en la Zona Metropolitana de Toluca en 2020

Tipo de clúster	Número de municipios	Población total (2020)	Porcentaje de población sobre el total
Alto-Alto	1	13,807	0.59
Bajo-Bajo	2	1,016,374	43.18
Alto-Bajo	1	203,872	8.66
No significativo	12	1,119,871	47.57
Total	16	2,353,924	100.00

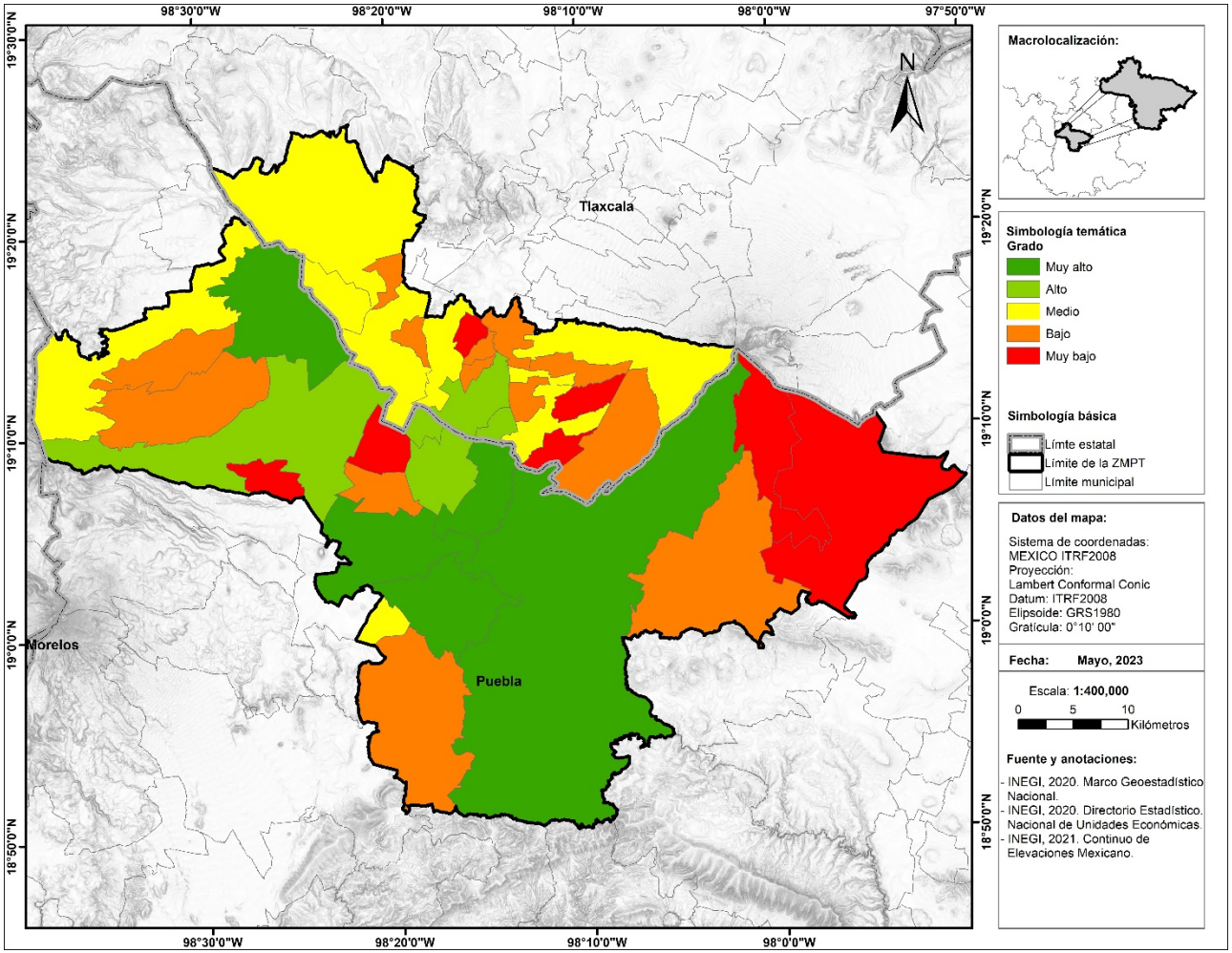
Fuente: elaboración propia a partir del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2021a)

Sobre el primer tipo de clúster, concentra 0.59% de la población total, presenta además un nivel de sostenibilidad Alto. El segundo tipo correspondiente al Alto-Bajo concentra 8.66% de la población total, sobre sus niveles de sostenibilidad se encuentra en el nivel Medio. Sobre el tercer tipo identificado Bajo-Bajo, concentra 43.18% de la población total y cuenta con niveles de sostenibilidad Bajo (Toluca) y Medio (Temoaya).

5.*1.2. Sostenibilidad Urbana en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala*

Para el caso de los distintos niveles que sostenibilidad urbana que presenta la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala, en sus 39 municipios que la conforman, una vez aplicado el ISUZM, se observa que la mayoría de sus municipios presentan un índice de sostenibilidad urbana multidimensional Bajo (Figura 20). Observando que los municipios con un ISUZM con un rango Muy alto se localizan en 5 municipios correspondientes a Cuautlancingo (mayor sostenibilidad urbana), Puebla, San Pedro Cholula, San Andrés Cholula y San Martín Texmelucan; estos se localizan en la entidad de Puebla, así como cuatro de ellos conforman un agrupamiento en el centro de la Zona Metropolitana.

Figura 20. Niveles de Sostenibilidad Urbana Multidimensional en la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala en 2020



Fuente: elaboración propia a partir del Marco Geoestadístico (INEGI, 2021b)

Además, se distingue un patrón disperso entre los distintos grados de sostenibilidad urbana multidimensional, con ligeros agrupamientos de estos correspondiente a los grados Alto, Medio, Bajo y Muy bajo. Otro elemento por resaltar es que al noroeste y norte se conforma un corredor de municipios con un grado de sostenibilidad urbana medio.

Sobre el rango de sostenibilidad urbana más predominante le corresponde aquellos municipios con un nivel Bajo, tiene una presencia en 19 de los 39 municipios que la conforman, con un patrón en su distribución aleatorio y formando dos agrupamientos localizados al oeste correspondientes a los municipios de San Felipe Teotlalcingo y Chiautzingo, el segundo al este entre los municipios de Acuamanala de Miguel Hidalgo, San Juan Huactzinco, San Lorenzo Axocomanitla, San Pablo del Monte y Tepeyanco todos ellos localizados en el estado de Tlaxcala.

De acuerdo con la Tabla 18, el nivel de sostenibilidad con mayor concentración de población le corresponde al rango "Muy alto" con 71.21% (2,275,235 habitantes en 2020) del total de la población de la ZM y en una superficie de 799.24 km^2, representando 33.58% del total de la superficie.

Tabla 18. Distribución espacial de los niveles de sostenibilidad en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala en 2020

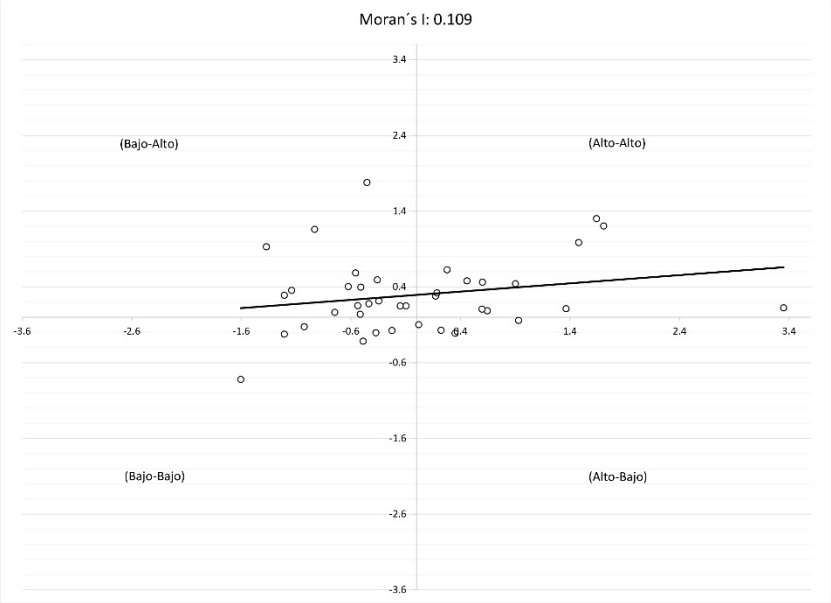
Nivel de sostenibilidad urbana	Número de municipios	Población 2020	Porcentaje de población sobre el total	Superficie total (kilómetros cuadrados)	Porcentaje de superficie sobre el total
Muy bajo	7	135,813	4.24	309.17	12.99
Bajo	13	363,306	11.35	529.81	22.26
Medio	9	212,171	6.63	488.61	20.53
Alto	5	210,005	6.56	253.51	10.65
Muy alto	5	2,278,235	71.21	799.24	33.58
Total	39	3,199,530	100.00	2,380.34	100.00

Fuente: elaboración propia a partir del Censo de Población y Vivienda. (INEGI, 2021a)

Seguido por aquellos municipios con un nivel de sostenibilidad "Bajo" con una presencia en 13 municipios concentrando 11.35% de la población total y en una superficie de 529.81 km^2 lo que representa 22.26% del total de la superficie. Sobre los municipios con un menor nivel de

sostenibilidad urbana "Muy baja", se encuentran municipios con una concentración del 4.24% (135,813 habitantes) del total de población, en una superficie de 309.17 km^2 representando 12.99% del total de la superficie. En el caso del comportamiento de la sostenibilidad urbana multidimensional, aplicando técnicas de asociación espacial, se calculó el Índice de Autocorrelación Global de Morán que fue de 0.109 (Figura 21), traduciéndose en la presencia en la zona de estudio de uno o varios agrupamientos espaciales de unidades territoriales con valores de sostenibilidad urbana similares.

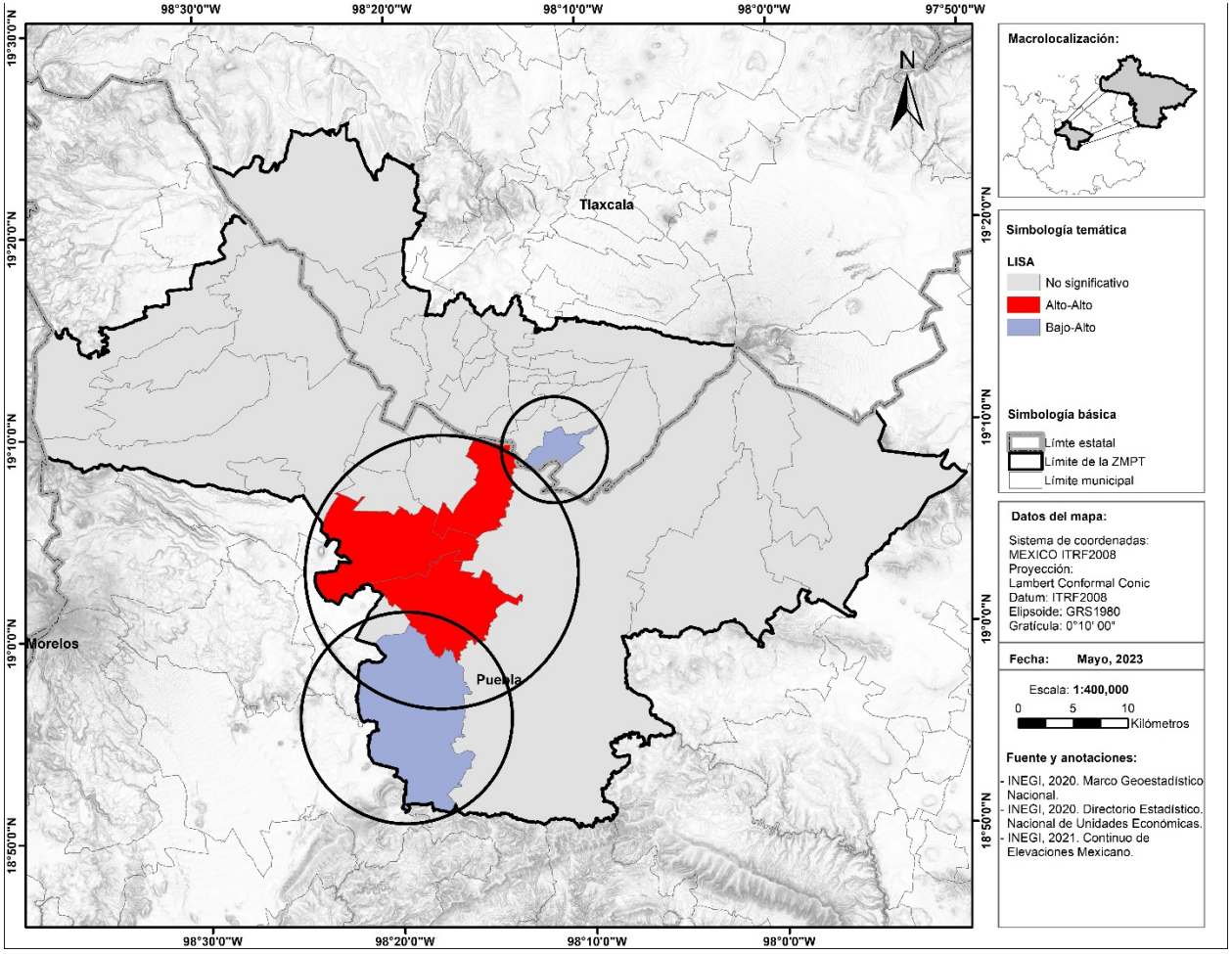
Figura 21. Diagrama de dispersión. Índice de Autocorrelación Global de Moran para la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala



Fuente: elaboración propia a partir del Índice de Sostenibilidad Urbana para Zonas Metropolitanas.

Sobre el comportamiento del diagrama de dispersión de la Figura 21, se observa que la pendiente de la recta de regresión formado con el eje de abscisas indica la importancia de la auto correlación existente, en este caso se observa una autocorrelación espacial baja. La cual se localiza en los cuadrantes Alto-Bajo y Bajo-Alto (Figura 22), donde se ubican las unidades espaciales (municipios) con un ISUZM con valores superiores o inferiores a la media de la zona metropolitana, estos se encuentran rodeados de municipios con características o valores similares respecto a su nivel de sostenibilidad urbana.

Figura 22. Análisis de Clúster y de valores atípicos (Índice de Autocorrelación Espacial Local de Morán) para la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala



Fuente: elaboración propia a partir del Marco Geoestadístico (INEGI, 2021b)

Para el año 2020 presenta una baja significancia asociación espacial de sus niveles de sostenibilidad urbana en los municipios que la conforman, como se puede observar en la Figura 21. Con relación a los resultados de la Figura 22, se observa la identificación de dos tipos de clúster uno Alto-Alto localizado en la parte centro-este de la zona metropolitana y dos de tipo Bajo-Alto, localizados al suroeste y centro-noreste. Por otro lado, la mayoría de los municipios presentan valores No significativos, como puede verse en la Tabla 19.

Con relación a las características de cada tipo de clúster y como se observa en la Tabla 19, el clúster Alto-Alto, se encuentra en tres municipios que son vecinos entre sí (Cuautlancingo, San Pedro Cholula y San Andrés Cholula), formando un punto focal en la Zona Metropolitana. Concentra 13.45% del total de la población en 2020, destacando que estos municipios son vecinos del municipio central de la Zona Metropolitana. Este tipo de clúster presenta niveles de sostenibilidad urbana Muy alta en los municipios que lo conforma. En el caso del clúster Bajo-Alto, se encuentra presente en dos municipios (Ocoyucan y Tenancingo) concentrando 1.74% de la población total. En relación con los niveles de sostenibilidad urbana, se encuentra entre un nivel "Bajo" localizado en el Estado de Puebla y "Muy bajo" en el estado de Tlaxcala.

Tabla 19. Distribución espacial de los niveles de sostenibilidad multidimensional en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala en 2020

Tipo de clúster	Número de municipios	Población total (2020)	Porcentaje de población sobre el total
Alto-Alto	3	430,316	13.45
Bajo-Alto	2	55,643	1.74
No significativo	34	2,713,571	84.81
Total	39	3,199,530	100.00

Fuente: elaboración propia a partir del Censo de Población y Vivienda. (INEGI, 2021a)

5.2. Subcentros de empleo

Los subcentros de empleo de la Zona Metropolitana de Toluca y Puebla-Tlaxcala, permiten examinar: la estructura espacial, tamaño, jerarquía y la localización espacial. A ello hay que agregar los intercambios de población por motivos de trabajo, en los municipios que se identifican los subcentros y el centro principal de empleo.

5.2.1. Subcentros de empleo en 2010 de la Zona Metropolitana de Toluca

Para el año 2010 se identificaron 18 subcentros de empleo distribuidos en el área urbana de la ZMT (Tabla 20), mismos que se encuentran integrados en 66 AGEB´s, con una superficie de 7,499 hectáreas que representan 18.56% de la superficie urbana, concentran 15.27% del total de población, 35% del total de unidades económicas (UE) y 51.76% del total de empleos. Además, se identifican 82 subsectores de actividad económica, predominando las actividades terciarias. Los subcentros identificados se localizan en 12 de los 16 municipios que integran la zona de estudio, su localización deriva de las ventajas competitivas que cuenta en cada municipio, con mayor predominancia de subcentros de empleo en Toluca contando con cuatro subcentros.

Tabla 20. Características de los subcentros de empleo de la Zona Metropolitana de Toluca, 2010

Subcentro	Número de AGEB´s	Población total en 2010	Porcentaje	Total de Unidades Económicas	Porcentaje	Total de empleados	Porcentaje	Superficie (ha)	Porcentaje
1-(Principal)-Toluca	34	104,007	6.67	14,203	17.90	136,428	27.82	2,402	5.94
2-Toluca	1	10,830	0.69	1,183	1.49	4,662	0.95	297	0.73
3-Lerma	2	5,224	0.34	790	1.00	11,745	2.39	266	0.66
4-Temoaya	1	3,301	0.21	628	0.79	2,836	0.58	123	0.30
5-Otzolotepec	1	5,732	0.37	655	0.83	2,685	0.55	167	0.41
6-Tenango del Valle	1	5,067	0.32	687	0.87	3,100	0.63	76	0.19
7-Toluca	1	0	0.00	32	0.04	4,762	0.97	619	1.53
8-Toluca	7	20,226	1.30	1,537	1.94	38,474	7.84	1,441	3.57
9-San Mateo Atenco	3	16,392	1.05	2,195	2.77	9,182	1.87	311	0.77
10-Zinacantepec	2	10,942	0.70	645	0.81	3,935	0.80	267	0.66
11-Zinacantepec	1	1,562	0.10	119	0.15	1,808	0.37	103	0.25
12-Metepec	5	15,886	1.02	1,725	2.17	18,269	3.72	461	1.14

Subcentro	Número de AGEB´s	Población total en 2010	Porcentaje	Total de Unidades Económicas	Porcentaje	Total de empleados	Porcentaje	Superficie (ha)	Porcentaje
13-Xonacatlán	2	20,680	1.33	1,626	2.05	6,144	1.25	470	1.16
14-Almoloya de Juárez	1	1,507	0.10	475	0.60	2,410	0.49	49	0.12
15-Ocoyoacac	1	8,941	0.57	470	0.59	1,818	0.37	151	0.37
16-Ocoyoacac	1	2,751	0.18	351	0.44	1,727	0.35	42	0.10
17-Calimaya	1	5,014	0.32	373	0.47	1,861	0.38	77	0.19
18-Metepec	1	43	0.00	81	0.10	2,010	0.41	178	0.44
Resto de la zona urbana	458	1,321,275	84.73	51,592	65.00	236,620	48.24	32,912	81.44
Total	524	1,559,380	100.00	79,367	100.00	490,476	100.00	40,411	100.00

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2010 (INEGI, 2010b) y Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2010c).

El subcentro de mayor importancia metropolitana le corresponde al localizando en el centro de la zona metropolitana identificado como “1-(Principal)-Toluca”, localizado en Toluca, se encuentra integrado por 34 AGEB´s lo que representa 5.94% del total de la superficie, 6.67% del total de la población. Sobre el grado de diversificación económica de los AGEB´s que lo integran oscila entre un rango de 0.1829 a 0.6463, indicado zonas del centro de empleo muy especializadas (15 subsectores) a zonas diversificadas (53 subsectores).

El segundo subcentro de mayor importancia le corresponde a “8-Toluca”, concentra 1.3% de la población total, 1.94% del total de UE, emplea al 7.84% del total y cuenta con una superficie que abarca 3.75% de la zona metropolitana; sobre su grado de diversificación económica de 0.2073 (17 subsectores) a 0.5488 (45 subsectores) identificando zonas que se encuentran con un ligero grado de especialización a medianamente diversificadas.

En tercer lugar, de importancia se encuentra “12-Metepec”, con una representación de 1.02% del total de población, 2.17% del total de UE, 3.72% del total de empleos, con una superficie que representa 1.14% del total. Sobre su diversidad económica se encuentra entre un rango de 0.3537 (29 subsectores) a 0.5 (41 subsectores); mostrando un ligero proceso a la diversificación económica.

En conjunto estos tres subcentros de empleo concentran 39.38% del total de empleo, 22.01% del total de UE, 8.99% del total de población, en una superficie de 4,304 hectáreas

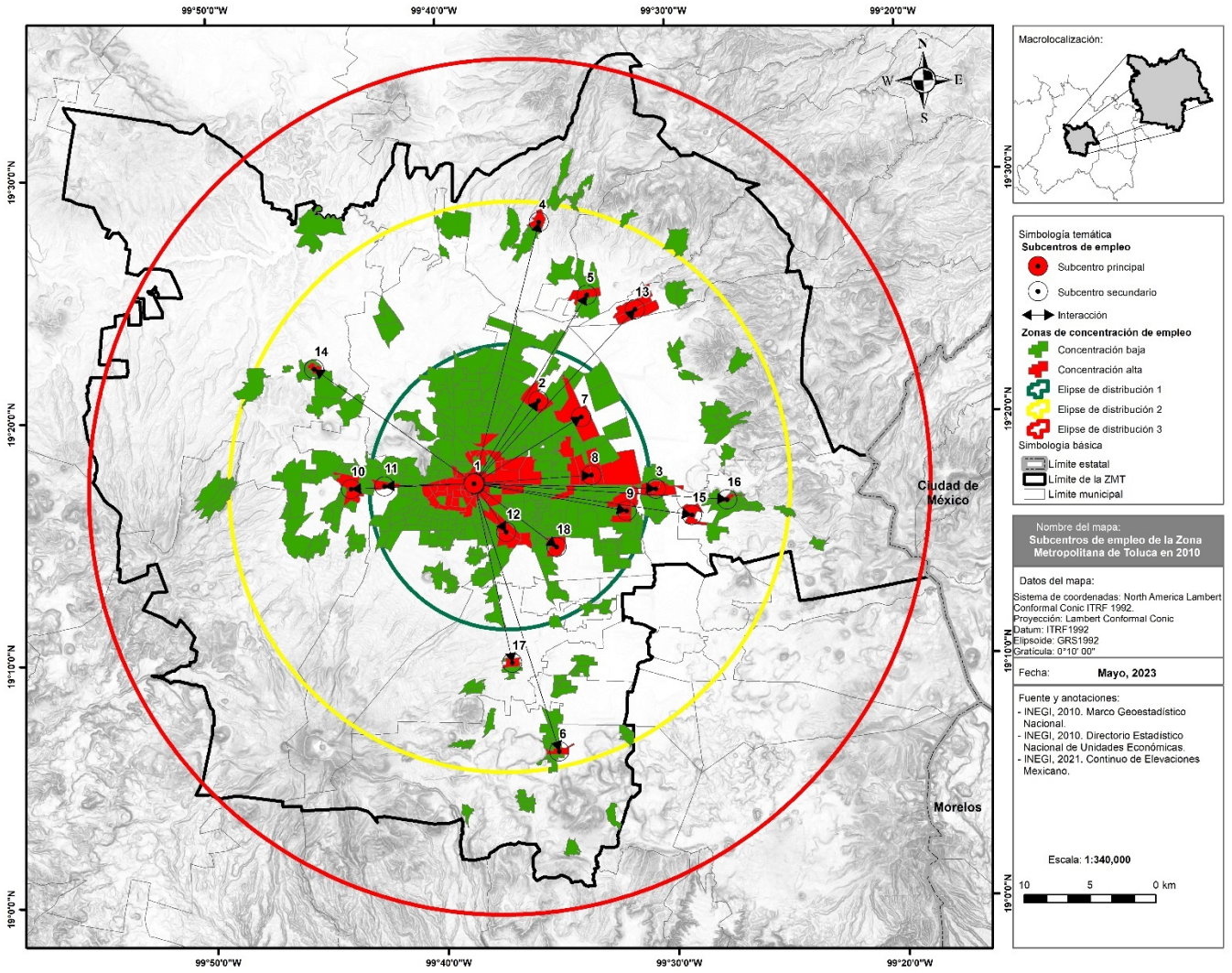
representando 10.65% del total de la superficie urbana. Por otro lado, el subcentro principal, además de ser la zona de mayor concentración de empleo y UE, también se caracteriza por su relevancia histórica como política, ya que es la zona donde se localiza los poderes legislativos tanto a nivel municipio como entidad.

En relación con la distribución espacial y como se observa en la Figura 23, el subcentro principal se localiza en Toluca, siendo el de mayor importancia metropolitana, en donde el resto de los subcentros identificados orbitan alrededor del mismo. Sobre el patrón de distribución de los subcentros de empleo, se observa que la mayoría se localiza con un patrón dispersa, reflejándose en una elipse[6] de distribución de forma circular mostrando la forma en la que orbitan alrededor del subcentro principal, además que la mayoría se localiza al este de la zona de estudio.

La mayoría de los subcentros de empleo se localizan en la intersección de la elipse de distribución 1 y 2, con un total de diez subcentros de empleo, mostrando un patrón de descentralización de las actividades económicas en la zona de estudio. Pero, en términos de importancia metropolitana los subcentros localizados en la elipse de distribución 1, son los de mayor relevancia, localizándose ocho subcentros.

[6] Elipse de distribución es una medida de distribución geográfica es la elipse de confianza, permite tener una referencia de potencial de la amplitud y dirección del espacio en donde se distribuye una actividad. Consiste en la creación de un intervalo bivariado, correspondiente a las coordenadas X e Y, que definen el eje principal y el eje menor de una elipse con el área más pequeña posible (Aguilera-Sáez et al., 2020).

Figura 23. Localización de los subcentros de empleo de la Zona Metropolitan de Toluca, 2010



Fuente: elaboración propia a partir del Marco Geoestadístico (INEGI, 2010c)

El subcentro cuya distancia euclidiana de mayor distancia con relación al subcentro principal es "6-Tenango del Valle" con 21.33 kilómetros en dirección sureste. En contra parte el más cercano es "12-Metepec" con 4.4 kilómetros de distancia. Señalando que ya sea el subcentro más cercano al más alejado dotan de actividades complementarias al subcentro principal para lograr sus funciones metropolitanas.

Los intercambios de población por motivos de trabajo entre los municipios que conforman la zona de estudio, en 2010 se desplazó un total de 176,630 personas y 198 interacciones por motivos de trabajo (Tabla 21), el municipio de mayor atracción de población (entradas) es Toluca con una representación de 59.02% del total, seguido por Lerma con 13.54% y Metepec con 10.18% del total. En su conjunto atraen al 82.74% del total de atracción de población por motivos de trabajo.

Tabla 21. Movilidad laboral de los municipios que conforman la Zona Metropolitana de Toluca, 2010

Clave municipal	Municipio	Entradas	Porcentaje	Salidas	Porcentaje
15005	Almoloya de Juárez	3,029	1.71	19,616	11.11
15018	Calimaya	1,628	0.92	5,972	3.38
15027	Chapultepec	172	0.10	1,786	1.01
15051	Lerma	23,907	13.54	12,506	7.08
15054	Metepec	17,979	10.18	31,273	17.71
15055	Mexicaltzingo	997	0.56	1,019	0.58
15062	Ocoyoacac	2,599	1.47	4,647	2.63
15067	Otzolotepec	1,683	0.95	11,669	6.61
15072	Rayón	1,133	0.64	1,662	0.94
15073	San Antonio la Isla	1,504	0.85	2,405	1.36
15076	San Mateo Atenco	4,510	2.55	9,209	5.21
15087	Temoaya	1,061	0.60	11,770	6.66
15090	Tenango del Valle	1,338	0.76	5,544	3.14
15106	Toluca	104,255	59.02	26,702	15.12
15115	Xonacatlán	6,435	3.64	5,726	3.24
15118	Zinacantepec	4,400	2.49	25,124	14.22
	Total	176,630	100.00	176,630	100.00

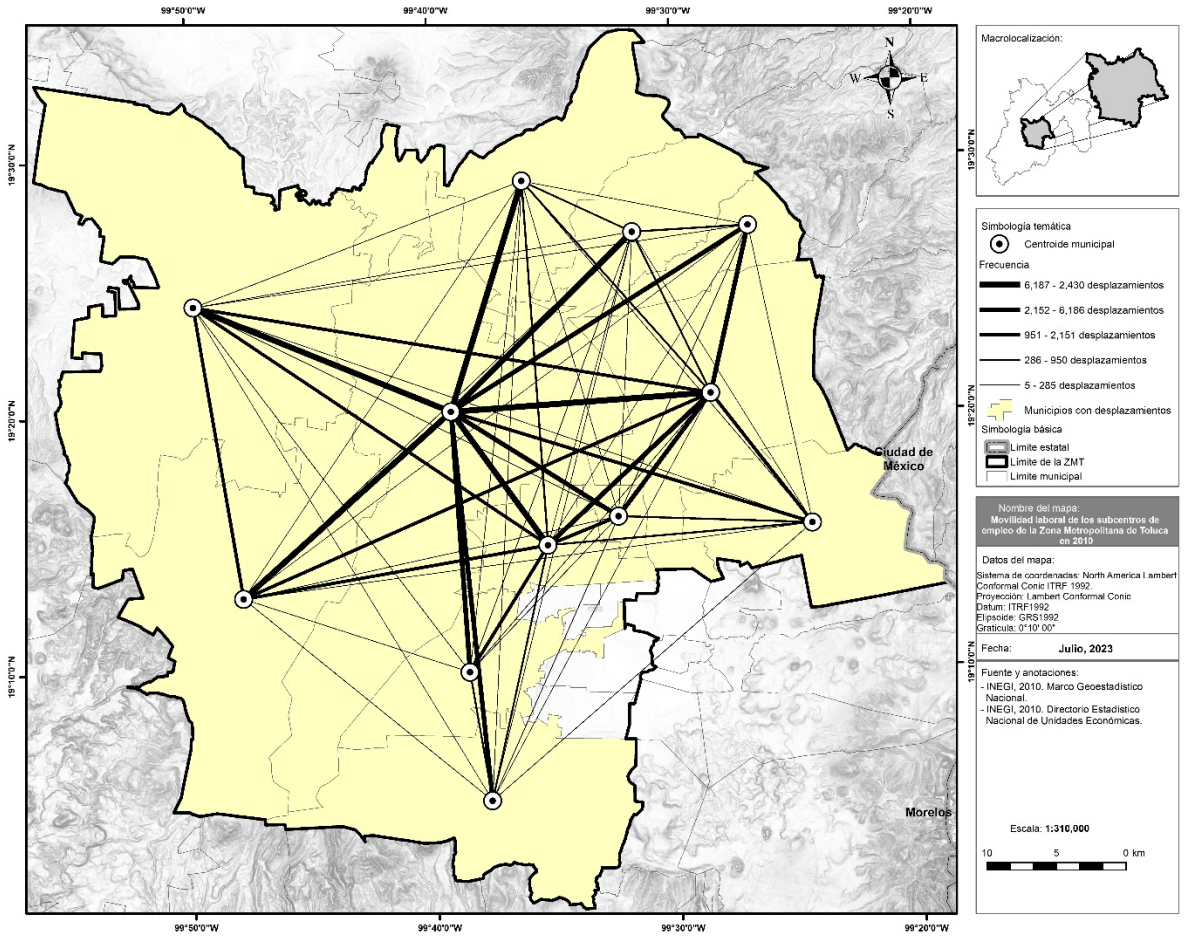
Fuente: elaboración propia a partir de datos de la muestra censal del Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2010c).

La expulsión de población, el de mayor predominancia es Metepec con 17.71% del total, en segunda posición se ubica Toluca con 15.12% del total y en tercera posición Zinacantepec con 14.22% del total. Los tres municipios en su conjunto representan 47.05% del total de expulsión de población a otros municipios, para satisfacer su demanda de empleo. El comportamiento espacial de las interacciones que se dan en los municipios en donde se identificaron subcentros de empleo y como se observa en la Figura 24, registrando entre ellos un total de 119 interacciones de las 198 identificadas, observando un total de 166,923 desplazamientos.

La zona de mayor interacción y flujo de personas le corresponde al municipio central (Toluca), distinguiendo movimientos pendulares entre ellos, se observa también que la mayor interacción (24,301 personas) se da entre Toluca y Metepec, cuyo comportamiento puede ser explicado tanto por su localización geográfica y su complementariedad funcional en materia de dotación de empleo e infraestructura que permite estos intercambios. Las interacciones más importantes entre la zona central y otros municipios, se presentó con Zinacantepec (21,102 desplazamientos), y Almoloya de Juárez (15,071 desplazamientos).

Por otro lado, la menor cantidad de desplazamientos se da entre Calimaya y Otzolotepec con 5 personas que se desplazan por motivos de trabajo que recorren una distancia euclidiana de 33.74 kilómetros. La interacción de mayor distancia se da entre Almoloya de Juárez y Ocoyoacac, con una distancia de 33.28 kilómetros y un desplazamiento de 31 personas; y la de menor distancia con 5.48 kilómetros se da entre Metepec y San Mateo Atenco desplazando a 1,165 personas. Observando la integración entre municipios para satisfacer sus demandas de empleo, conforme a los subsectores económicos especializados.

Figura 24. Desplazamientos por motivos de trabajo de los municipios con subcentros de empleo en la Zona Metropolitana de Toluca, 2010



Fuente: elaboración propia a partir del Marco Geoestadístico (INEGI, 2010c)

5.2.2. Subcentros de empleo en 2020 de la Zona Metropolitana de Toluca

En el año 2020 se identificaron 22 subcentros de empleo (Tabla 22), cuatro más en comparación al año 2010, se observa la disminución en términos de superficie del subcentro principal, como una descentralización de actividades económicas, que explican la formación de estos nuevos subcentros.

Tabla 22. Características de los subcentros de empleo de la Zona Metropolitana de Toluca, 2020

Subcentro	Número de AGEB´s	Población total en 2010	Porcentaje	Total de Unidades Económicas	Porcentaje	Total de empleados	Porcentaje	Superficie (ha)	Porcentaje
1-(Principal)-Toluca	28	67,053	3.66	14,872	13.07	156,269	22.39	1,926.98	4.36
2-Lerma	5	13,391	0.73	1,851	1.63	62,350	8.93	1,447.92	3.28
3-Metepec	5	32,981	1.80	1,738	1.53	16,054	2.30	1,019.81	2.31
4-Metepec	1	2,523	0.14	341	0.30	4,004	0.57	90.45	0.20
5-Toluca	3	19,331	1.06	2,400	2.11	12,148	1.74	582.95	1.32
6-Toluca	1	2	0.00	43	0.04	4,195	0.60	94.61	0.21
7-Metepec	8	32,786	1.79	3,855	3.39	35,448	5.08	706.77	1.60
8-San Mateo Atenco	4	26,703	1.46	4,165	3.66	14,425	2.07	377.65	0.86
9-San Mateo Atenco	1	11,545	0.63	647	0.57	2,418	0.35	243.07	0.55
10-Lerma	1	6,532	0.36	728	0.64	2,544	0.36	120.44	0.27
11-Lerma	2	5,758	0.31	1,053	0.93	9,125	1.31	167.64	0.38
12-Ocoyoacac	1	9,757	0.53	556	0.49	2,376	0.34	153.22	0.35
13-Zinacantepec	1	2,369	0.13	207	0.18	2,609	0.37	128.80	0.29
14-Zinacantepec	1	5,820	0.32	435	0.38	2,768	0.40	138.13	0.31
15-Toluca	1	150	0.01	62	0.05	2,503	0.36	59.40	0.13
16-Almoloya de Juárez	1	1,104	0.06	564	0.50	2,960	0.42	40.56	0.09
17-Xonacatlán	2	22,953	1.25	2,241	1.97	8,721	1.25	465.56	1.05
18-Otzolotepec	1	6,507	0.36	833	0.73	3,642	0.52	169.99	0.38
19-Temoaya	1	3,630	0.20	944	0.83	4,258	0.61	122.67	0.28
20-Calimaya	1	5,939	0.32	500	0.44	2,985	0.43	82.31	0.19
21-Tenango del Valle	1	4,394	0.24	288	0.25	2,385	0.34	142.83	0.32
22-Tenango del Valle	1	5,382	0.29	865	0.76	3,837	0.55	77.06	0.17
Resto de la zona urbana	520	1,544,174	84.34	74,638	65.57	339,823	48.70	35,796.89	81.07
Total	591	1,830,784	100.00	113,826	100.00	697,847	100.00	44,155.71	100.00

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2020 (INEGI, 2021e) y Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2021b).

Los subcentros identificados se encuentran integrados por 71 AGEB´s con una superficie urbana de 8,358.82 hectáreas lo que representa 18.93% del total de la superficie urbana, además de 15.66% del total de la población urbana, 34.43% del total de UE y 51.3% del total de empleos.

La presencia de la diversidad de actividades económicas, para este año se identificaron 84 subsectores de actividad económica, dos más en comparación a 2010, aún sigue predominando las actividades terciarias. Los subcentros identificados se localizan en 12 de los 16 municipios que integran la zona de estudio, en los que no hay presencia de subcentros son Mexicaltzingo, Chapultepec, San Antonio la Isla y Rayón, cuyo comportamiento es igual al de 2010. Se observa, que algunos subcentros ya no respetan límites político-administrativos, derivado de su integración funcional. El municipio con mayor presencia de subcentros sigue siendo Toluca, seguido por Lerma y Metepec.

Sigue siendo el subcentro "1-(Principal)-Toluca" el de mayor importancia metropolitana, con 22.39% del total de empleos, 13.07% del total de UE, 3.66% del total de población y 4.36% del total de superficie. Un aspecto por destacar es la diminución de su superficie, como menor ritmo de crecimiento con relación a la concentración de actividades económicas y empleo; así como un decrecimiento de población que vivía en esta zona. Mostrando un proceso de decadencia del subcentro principal, disminuyendo su competitividad metropolitana.

El segundo subcentro de mayor relevancia es "2-Lerma", concentra 0.73% de la población total, 1.63% del total de UE, 8.93% de los empleos y una superficie que representa 3.28% del total. Sobre su grado de diversificación económica de 0.4405 (37 subsectores) a 0.6429 (54 subsectores), identificando una gran diversidad de actividades económicas, que se complementan entre sí, para ser competitivas.

El tercer subcentro de mayor importancia es "7-Metepec", concentrando 1.79% del total de población, 3.39% de UE, 5.08% del total de empleos, con una superficie que representa 1.6% del total. Presenta un rango de diversidad económica de 0.3095 (26 subsectores) a 0.5238 (44 subsectores), indicando que el subcentro presenta niveles de mediana diversidad de actividades económicas.

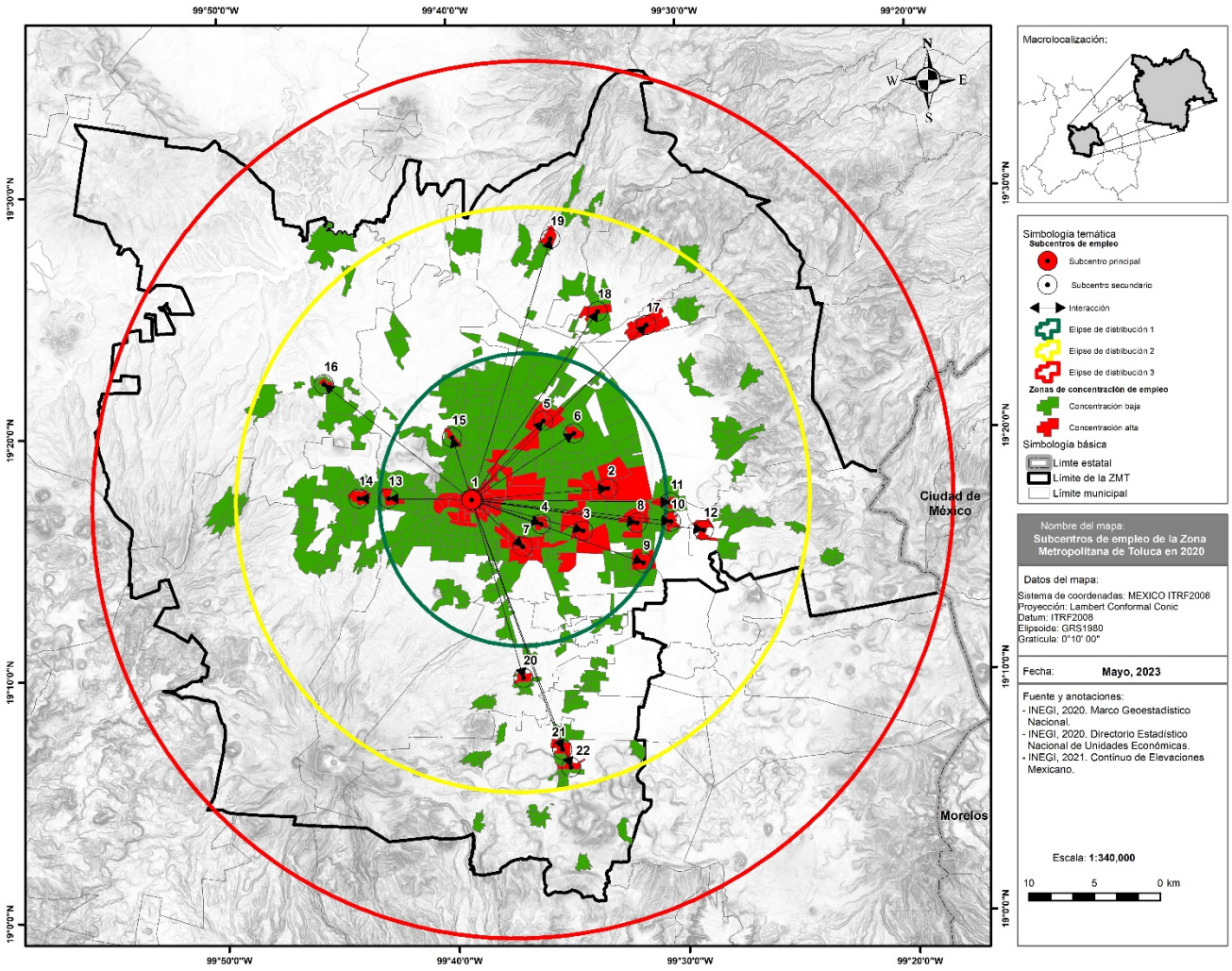
En conjunto, los tres subcentros concentran 36.41% del empleo, 18.08% de las UE, 6.18% de la población, en una superficie que representa 9.24% del total. Respecto a sus características se resalta su importancia metropolitana para satisfacer la demanda de empleo de la zona metropolitana, además de que sus condiciones particulares, se refleja en ventajas competitivas.

Su distribución espacial y como se observa en la Figura 25, se consolida el subcentro principal localizando en el centro de la zona metropolitana, en donde el resto de los subcentros o subcentros secundarios orbitan alrededor de este, de manera circular conforme a la elipse de distribución obtenida. El patrón de distribución de los subcentros se da de manera dispersa, cuya mayoría se localiza al este de la zona metropolitana formando un corredor de subcentros de empleo formado por Toluca, Metepec, San Mateo Atenco, Lerma y Ocoyoacac.

Se observa que la mitad de los subcentros se localiza en la elipse de distribución 1, en esta zona se localizan los subcentros de mayor importancia metropolitana, en relación con el 2010, se incrementó el número de subcentros pasando de ocho a once en 2020; mostrando un proceso de relocalización de actividades económicas en esta zona, además de la consolidación de otros subcentros de empleo.

En la intersección de la elipse de distribución 1 y 2, se localiza el resto de los subcentros de empleo, identificando uno más en comparación al año 2010. Confirmando un proceso de descentralización de actividades económicas y empleo de manera paulatina, en donde las zonas identificadas con subcentros de empleo han mejorado o consolidados sus ventajas competitivas.

Figura 25. Localización de los subcentros de empleo de la Zona Metropolitan de Toluca, 2020



Fuente: elaboración propia a partir del Marco Geoestadístico (INEGI, 2021b)

Sobre su proximidad al subcentro principal conforme a la distancia euclidiana, el de mayor distancia es “22-Tenango del Valle” con 21.71 kilómetros en dirección sureste. El subcentro más cercano es “15-Toluca” con una distancia de 4.98 kilómetros. A pesar de los distintos grados de proximidad de los subcentros secundarios con el subcentro principal, existe interacción debido a su integración funcional metropolitana.

Los intercambios o desplazamientos de población por motivos de trabajo (entradas-salidas) entre los municipios que conforman la zona de estudio, en 2020 registra un total de 212,588 desplazamientos y 217 interacciones entre municipios que atraen o expulsan población conforme a su demanda de empleo o especialización económica.

El municipio con mayor atracción de población y como se observa en la Tabla 23, es Toluca con 57.01% del total de entradas, seguido por Lerma con 16.53% y Metepec 11.52%. Se observa el mismo comportamiento de importancia respecto a la atracción de población por motivos de trabajo con relación al 2010. Además, se observa un aumento paulatino en su representatividad de Lerma y Metepec, con un ligero decrecimiento de Toluca, en su conjunto atraen 85.06% del total de desplazamientos.

Tabla 23. Movilidad laboral de los municipios que conforman la Zona Metropolitana de Toluca, 2020

Clave municipal	Municipio	Entradas	Porcentaje	Salidas	Porcentaje
15005	Almoloya de Juárez	3,199	1.50	23,080	10.86
15018	Calimaya	1,820	0.86	11,065	5.20
15027	Chapultepec	450	0.21	2,556	1.20
15051	Lerma	35,149	16.53	16,668	7.84
15054	Metepec	24,498	11.52	29,686	13.96
15055	Mexicaltzingo	1,264	0.59	1,812	0.85
15062	Ocoyoacac	2,875	1.35	5,948	2.80
15067	Otzolotepec	1,985	0.93	12,366	5.82
15072	Rayón	1,194	0.56	2,621	1.23
15073	San Antonio la Isla	1,739	0.82	6,523	3.07
15076	San Mateo Atenco	5,781	2.72	14,202	6.68
15087	Temoaya	2,044	0.96	12,849	6.04
15090	Tenango del Valle	2,299	1.08	6,585	3.10

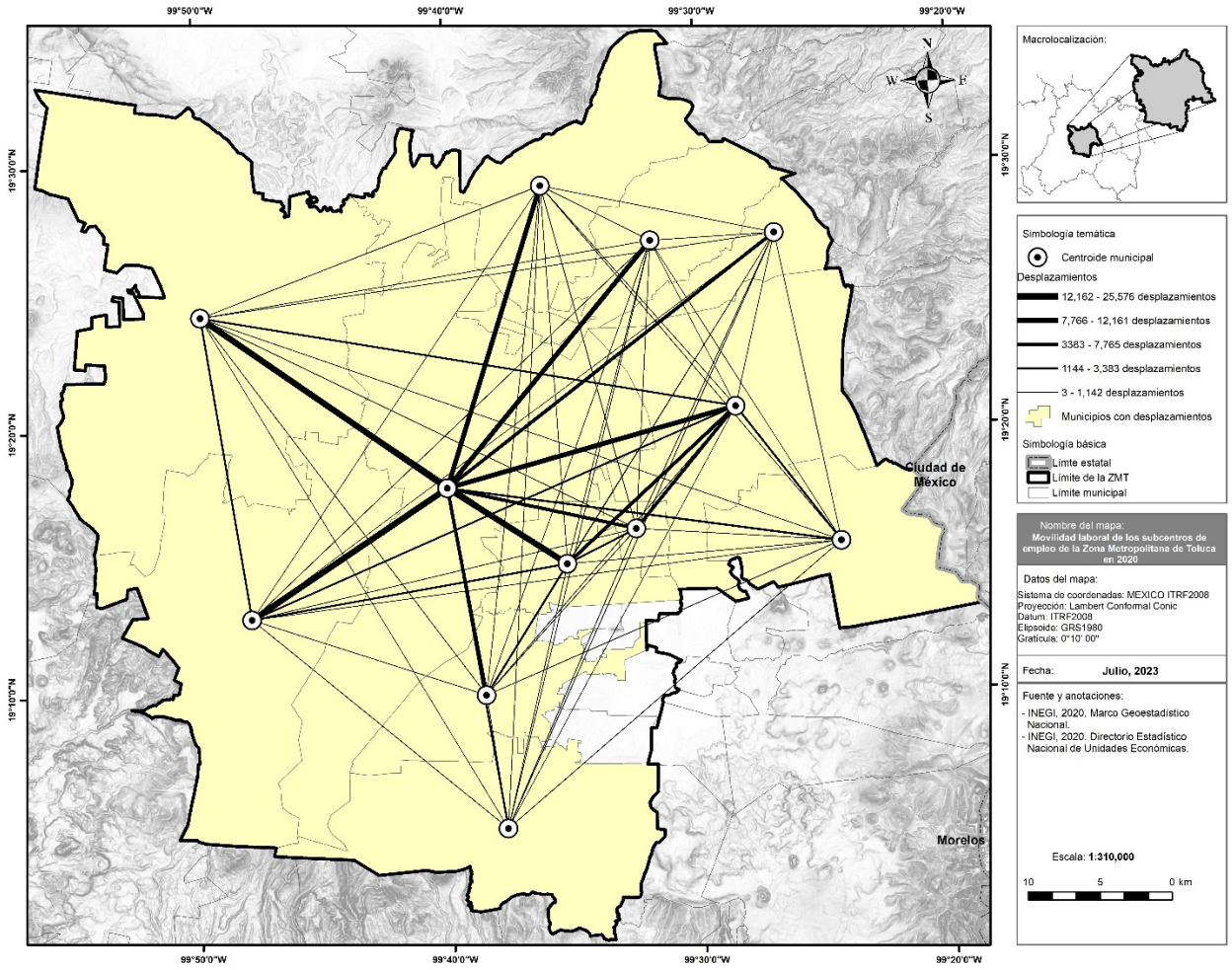
Clave municipal	Municipio	Entradas	Porcentaje	Salidas	Porcentaje
15106	Toluca	121,186	57.01	27,561	12.96
15115	Xonacatlán	3,096	1.46	7,028	3.31
15118	Zinacantepec	4,009	1.89	32,038	15.07
	Total	212,588	100.00	212,588	100.00

Fuente: elaboración propia a partir de microdatos de la muestra del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2021c).

Respecto a las salidas o expulsión de población, el de mayor predominancia fue Zinacantepec con 15.07%, seguido por Metepec con 13.96% y Toluca con 12.96% respectivamente. Se observa que a pesar de ser los municipios con mayor cantidad de expulsión de población se han intercalado posiciones en comparación a 2010, en donde Zinacantepec ocupada la tercera posición a la primera en este periodo. En su conjunto representan 42% del total de salidas de población de su municipio de origen a otros, por motivos de trabajo.

Las interacciones observadas tanto por entradas-salidas por motivos de trabajo en donde se identifican subcentros de empleo (12 municipios) y como se observa en la Figura 26, registran un total de 129 interacciones de las 217 identificadas, con un total de 195,810 desplazamientos, lo que representa el 90.1% del total de desplazamientos registrados en la temporalidad de análisis. Al igual que en 2010, sigue siendo Toluca (municipio central) el de mayor interacción y flujo de personas, mostrando su integración funcional con los municipios conurbados a este y el resto donde se identifican subcentros de empleo. Entre los que resaltan por volumen de desplazamientos son: Zinacantepec, Almoloya de Juárez, Temoaya, Otzolotepec, Lerma y Metepec.

Figura 26. Desplazamientos por motivos de trabajo de los municipios con subcentros de empleo en la Zona Metropolitana de Toluca, 2020



Fuente: elaboración propia a partir del Marco Geoestadístico (INEGI, 2021b)

Otro aspecto por destacar es que el mayor volumen de interacción se da entre Zinacantepec y Toluca con 25,576 desplazamientos y una distancia euclidiana de 16.38 kilómetros, seguido por Metepec y Toluca con 19,367 desplazamientos con una distancia de 9.86 kilómetros, otra interacción relevante es la de Almoloya de Juárez con 19,008 desplazamientos y una distancia de 16.38 kilómetros. Respecto a la distancia máxima de los desplazamientos, se da entre Almoloya de Juárez y Ocoyoacac con 47.17 kilómetros. Por el contrario, la distancia mínima registrada es entre la interacción registrada por Metepec y San Mateo Atenco con 5.38 kilómetros y 2,272 desplazamientos.

5.2.3. Subcentros de empleo en 2010 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala

Durante el año 2010 se identificaron claramente 30 subcentros de empleo distribuidos en la ZMPT (Tabla 24), mismos que se encuentran distribuidos en 126 AGEB´s con una superficie de 9,386.04 hectáreas que representa 13.08% de la superficie urbana, concentrando 18.88% de la población total, 41.41% del total de UE y empleando un estimado de 51.64% (368,430 empleos) de personas que trabajan en las distintas UE. Además de que se identifican 87 subsectores de actividad económica, cuya predominancia son las actividades terciarias. Destacando que los subcentros se encuentran localizados en 12 de los 39 municipios que integran la zona de estudio, su localización es explicada por las ventajas competitivas que cuenta cada municipio, en donde la mayor cantidad de subcentros se localizan en el municipio de Puebla.

Tabla 24. Características de subcentros de empleo en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala, 2010

Subcentro	Número de AGEB´s	Población total en 2010	Porcentaje	Total de Unidades Económicas	Porcentaje	Total de empleados	Porcentaje	Superficie (ha)	Porcentaje
1-(Principal)-Puebla	61	218,605	8.50	32,518	23.80	220,112	30.85	3,377.44	4.71
2-Puebla	5	16,008	0.62	985	0.72	9,123	1.28	260.33	0.36
3-San Andrés Cholula	1	3,289	0.13	240	0.18	2,602	0.36	150.24	0.21
4-Puebla	1	6,562	0.26	97	0.07	1,489	0.21	93.60	0.13
5-Puebla	1	2,558	0.10	369	0.27	2,301	0.32	47.42	0.07
6-San Pedro Cholula	9	41,313	1.61	4,717	3.45	20,873	2.93	1,258.40	1.75
7-San Pedro Cholula	1	3,763	0.15	237	0.17	2,293	0.32	81.74	0.11
8-Cuautlancingo	3	320	0.01	144	0.11	10,266	1.44	542.52	0.76

Subcentro	Número de AGEB´s	Población total en 2010	Porcentaje	Total de Unidades Económicas	Porcentaje	Total de empleados	Porcentaje	Superficie (ha)	Porcentaje
9-Puebla	9	37,873	1.47	3,182	2.33	20,811	2.92	696.79	0.97
10-Puebla	5	27,909	1.09	1,520	1.11	17,820	2.50	559.51	0.78
11-Puebla	4	14,094	0.55	802	0.59	7,115	1.00	236.21	0.33
12-San Pablo del Monte	3	13,482	0.52	958	0.70	5,626	0.79	278.71	0.39
13-Amozoc	1	4,315	0.17	555	0.41	2,415	0.34	69.17	0.10
14-San Miguel Xoxtla	1	6,937	0.27	552	0.40	1,983	0.28	108.77	0.15
15-Zacatelco	1	4,456	0.17	724	0.53	2,577	0.36	64.34	0.09
16-Huejotzingo	2	7,958	0.31	961	0.70	3,735	0.52	147.00	0.20
17-San Martín Texmelucan	5	20,615	0.80	3,871	2.83	15,836	2.22	225.91	0.31
18-Puebla	1	1,357	0.05	536	0.39	1,837	0.26	26.28	0.04
19-Puebla	1	1,991	0.08	87	0.06	1,563	0.22	78.27	0.11
20-San Pedro Cholula	1	3,317	0.13	158	0.12	1,483	0.21	74.82	0.10
21-Cuautlancingo	1	4,610	0.18	372	0.27	1,578	0.22	105.83	0.15
22-Puebla	1	2,051	0.08	87	0.06	1,535	0.22	66.37	0.09
23-Puebla	1	2,347	0.09	161	0.12	1,479	0.21	56.40	0.08
24-Puebla	1	7,425	0.29	409	0.30	1,463	0.21	59.49	0.08
25-Amozoc	1	5,703	0.22	391	0.29	1,709	0.24	109.47	0.15
26-Xicohtzinco	1	3,760	0.15	325	0.24	1,714	0.24	168.01	0.23
27-Mazatecochco de Josa Marra Morelos	1	8,019	0.31	471	0.34	1,766	0.25	127.98	0.18
28-San Martín Texmelucan	1	2,285	0.09	480	0.35	1,670	0.23	39.03	0.05
29-San Martn Texmelucan	1	6,002	0.23	304	0.22	1,773	0.25	164.16	0.23
30-Huejotzingo	1	6,272	0.24	379	0.28	1,883	0.26	111.83	0.16
Resto de la zona urbana	865	2,085,280	81.12	80,062	58.59	344,990	48.36	62,369.29	86.92
Total	991	2,570,476	100.00	136,654	100.00	713,420	100.00	71,755.33	100.00

Fuente: elaboración propia a partir del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. (INEGI, 2010b); Marco Geoestadístico 2010 (INEGI, 2010c).

El subcentro de mayor importancia a nivel metropolitano le corresponde al localizando en el centro de la zona metropolitana correspondiente al centro tradicional, identificado con el nombre de “1 -(Principal)-Puebla”, localizado en el municipio de Puebla. El subcentro principal considera 61 AGEB´s representando una superficie de 3,377.44 ha (4.71%), concentrando una población de 8.5%, 23.8% del total de UE y empleando un estimado de 30.85% de los empleos, siendo la zona de mayor concentración de unidades económicas y empleo. Este subcentro y los AGEB´s que lo integran cuenta con valores de diversificación de 0.3218 a 0.6782 indicado zonas del centro de empleo muy diversificadas (valores cercanos a uno) a zonas especializadas (valores cercanos a cero).

El segundo subcentro de mayor importancia es el localizando en San Pedro Cholula (6-San Pedro Cholula), integrado por nueve AGEB´s, que representa el 1.75% de la superficie urbana, concentra una población de 41,313 habitantes lo que representa 1.61% de la población total, 3.45% del total de UE y 2.93% de los empleos totales. Sobre su diversidad económica se encuentra entre un rango de 0.3678 a 0.6092, indicando que el subcentro cuenta con zonas con una alta diversidad económica a zonas especializadas en determinados servicios.

El tercer subcentro de mayor relevancia se encuentra en Puebla con la clave "9-Puebla", se encuentra integrado por nueve AGEB´s, que concentran 1.47% de la población total, 3.45% del total de unidades económicas y 2.93% del total de empleos. Sobre su diversidad económica se encuentran entre los rangos de 0.2529 a 0.4483, identificándose que el subcentro se encuentra integrado con zonas de especialización económica y otras zonas que tienden a complementar las mismas.

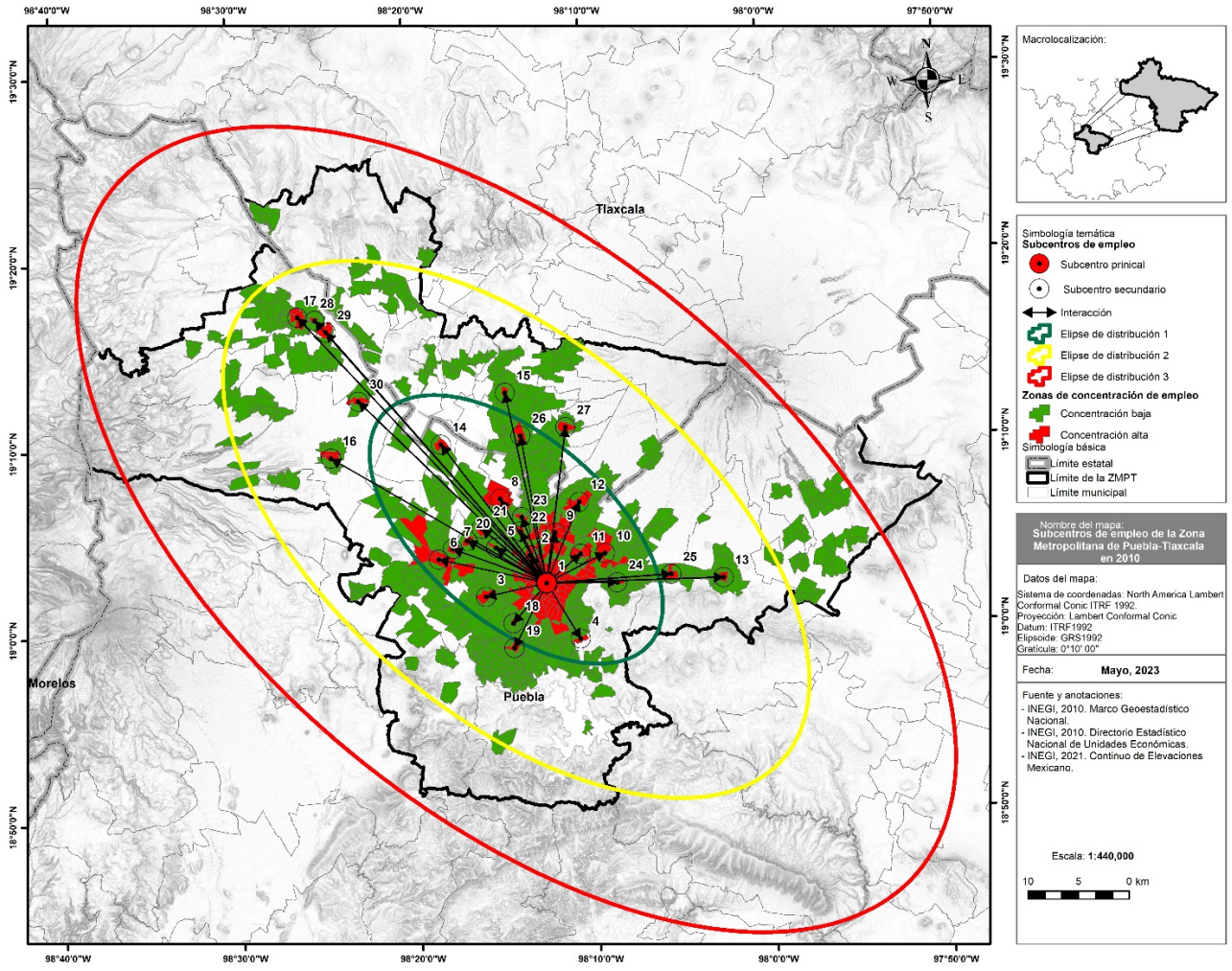
La importancia metropolitana de estos tres subcentros de empleo deriva de que concentran 11.59% de la población total, 29.58% del total de UE y el 36.7% del empleo, en tan solo el 7.43% del total de la superficie urbana. Además de que el centro principal de empleo tiene relevancia económica, política, histórica y regional por su dinamismo a través del tiempo.

En relación a su distribución espacial y como se puede observar en la Figura 27, el subcentro principal se localiza en el municipio de Puebla, siendo este el de mayor importancia metropolitana, además de que el resto de los subcentros orbitan alrededor del mismo. Un aspecto por destacar es que su distribución sigue un patrón noroeste-sureste. La forma en la que orbitan los subcentros secundarios sobre el subcentro principal es de manera elíptica. En este caso, realizando una analogía el sol sería el subcentro principal y los subcentros los planetas que orbitan alrededor de este. Cuya orbita su forma se encuentra determinada por la distribución espacial tanto de los subcentros de empleo como de las UE que se encuentran dentro de la zona de estudio.

Otro aspecto relevante es, la mayoría de los subcentros de empleo se localizan en Puebla, como se encuentran orbitando en la primera elipse de distribución, con un total de 20 subcentros de empleo. En segunda posición de mayor cantidad con presencia de subcentros le corresponde tanto a San Martín Texmelucan y San Pedro Cholula, con dos subcentros de empleo cada uno.

Los otros 10 subcentros de empleo se encuentran orbitando entre la intersección de la primer y segunda elipse de distribución. Estos subcentros también interactúan con actividades complementarias al subcentro principal. Otro aspecto a resaltan es que en esta zona de localiza el subcentro más lejano correspondiente a “17-San Martín Texmelucan” con una distancia euclidiana de 35.96 km.

Figura 27. Localización de los subcentros de empleo en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala, 2010



Fuente: elaboración propia a partir del Marco Geoestadístico (INEGI, 2010c)

Los intercambios de población que se desplazan dentro de la zona metropolitana a las zonas de concentración del empleo y actividades económicas en 2010, da un total de 101,967 desplazamientos por motivos de trabajo y como se observa la Tabla 25, el municipio con mayor atracción de población de esta índole es Puebla con una representación de 57.84% del total, paradójicamente es también el que más expulsa población por motivos de trabajo, apoyándose de otros municipios para satisfacer su demanda de empleo. Sin embargo, atrae casi 4.4 veces más población por motivos de trabajo de los que expulsa.

Tabla 25. Movilidad laboral de los subcentros de empleo de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala, 2010

Clave municipal	Municipio	Entradas	Porcentaje	Salidas	Porcentaje
21001	Acajete	407	0.40	2,428	2.38
21015	Amozoc	1,270	1.25	7,611	7.46
21034	Coronango	676	0.66	2,219	2.18
21041	Cuautlancingo	3,568	3.50	11,901	11.67
21048	Chiautzingo	112	0.11	520	0.51
21060	Domingo Arenas	18	0.02	545	0.53
21074	Huejotzingo	3,635	3.56	1,694	1.66
21090	Juan C. Bonilla	359	0.35	1,605	1.57
21106	Ocoyucan	142	0.14	1,407	1.38
21114	Puebla	58,979	57.84	13,365	13.11
21119	San Andrés Cholula	4,617	4.53	9,816	9.63
21122	San Felipe Teotlalcingo	129	0.13	443	0.43
21125	San Gregorio Atzompa	1,113	1.09	403	0.40
21132	San Martín Texmelucan	6,762	6.63	3,499	3.43
21136	San Miguel Xoxtla	1,020	1.00	662	0.65
21140	San Pedro Cholula	8,474	8.31	10,902	10.69
21143	San Salvador el Verde	263	0.26	2,007	1.97
21163	Tepatlaxco de Hidalgo	255	0.25	1,791	1.76
21181	Tlaltenango	78	0.08	368	0.36
29015	Ixtacuixtla de Mariano Matamoros	541	0.53	1,552	1.52
29017	Mazatecochco de José María Morelos	124	0.12	491	0.48
29019	Tepetitla de Lardizábal	649	0.64	1,210	1.19
29022	Acuamanala de Miguel Hidalgo	529	0.52	548	0.54
29023	Natívitas	475	0.47	1,830	1.79
29025	San Pablo del Monte	752	0.74	7,868	7.72
29027	Tenancingo	399	0.39	1,167	1.14
29028	Teolocholco	452	0.44	963	0.94

Clave municipal	Municipio	Entradas	Porcentaje	Salidas	Porcentaje
29029	Tepeyanco	365	0.36	851	0.83
29032	Tetlatlahuca	142	0.14	926	0.91
29041	Papalotla de Xicohténcatl	2,013	1.97	2,358	2.31
29042	Xicohtzinco	772	0.76	1,336	1.31
29044	Zacatelco	1,650	1.62	3,744	3.67
29051	San Jerónimo Zacualpan	79	0.08	269	0.26
29053	San Juan Huactzinco	237	0.23	606	0.59
29054	San Lorenzo Axocomanitla	172	0.17	671	0.66
29056	Santa Ana Nopalucan	304	0.30	600	0.59
29057	Santa Apolonia Teacalco	55	0.05	354	0.35
29058	Santa Catarina Ayometla	218	0.21	700	0.69
29059	Santa Cruz Quilehtla	162	0.16	737	0.72
	Total	101,967	100.00	101,967	100.00

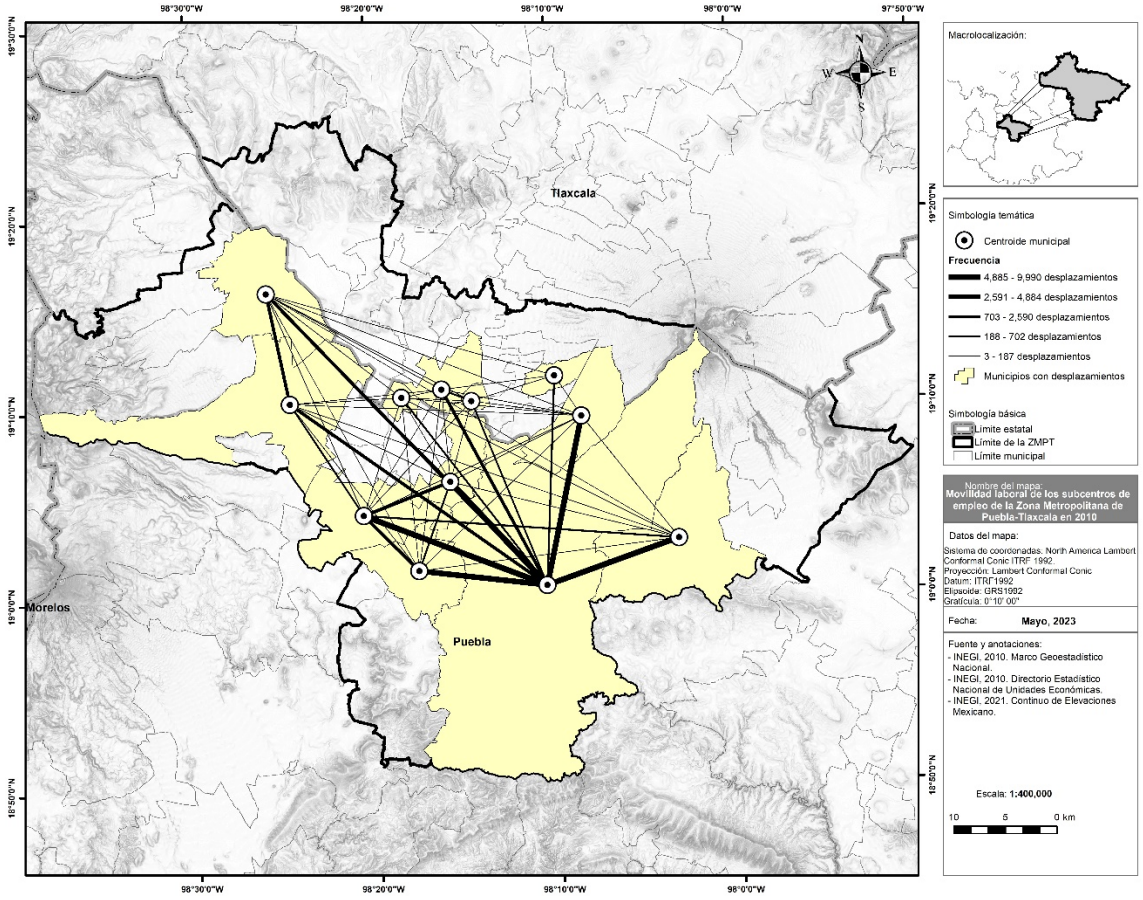
Fuente: elaboración propia a partir de la Muestra (cuestionario ampliado) del Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2010c)

En segunda posición de atracción de población por motivos de trabajo le corresponde a San Pedro Cholula con una representación de 8.31% del total, el mismo ocupa la tercera posición en relación con la expulsión de población que se desplaza por motivos de trabajo. En tercera posición se encuentra San Martín Texmelucan, que, a pesar de contar con el subcentro más alejado del subcentro principal, atrae a 6,762 personas (6.63%) por motivos de trabajo.

La expulsión de población por motivos de trabajo, la tercera posición le corresponde a Cuautlancingo con 11.67% del total, siendo este conurbado al municipio central de la zona metropolitana. En resumen, los municipios de Puebla, San Pedro Cholula y San Martín Texmelucan atraen 72.78% del total de desplazamientos por motivos de trabajo. Por otro lado, Puebla, Cuautlancingo y San Pedro Cholula, representan 35.47% de población que sale a otros municipios por motivos de trabajo.

Para conocer el comportamiento espacial de los desplazamientos por motivos de trabajo, se observa un total de 603 interacciones entre los municipios que conforman la zona de estudio, distinguiendo una movilidad de 101,967 personas por motivos de trabajo. Las interacciones que se presentan entre los municipios en donde se identifican los subcentros de empleo y como se observa en la Figura 28, se registra un total de 94 interacciones entre los municipios que cuentan con subcentros de empleo.

Figura 28. Desplazamientos por motivos de trabajo de los municipios con subcentros de empleo en la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala, 2010



Fuente: elaboración propia a partir del Marco Geoestadístico (INEGI, 2010c)

Respecto a las interacciones entre los subcentros de empleo se desplaza un total de 67,635 personas lo que representa 66.33% del total, que se desplazan por motivos de trabajo. Es importante destacar que Puebla atrae población de todos los municipios de los que se identificaron subcentros de empleo (11 municipios) y un total de 45,775 personas, con el mismo número de interacciones se encuentra San Martín Texmelucan. El segundo lugar con mayores interacciones observadas le corresponde a Cuautlancingo con 10 municipios y una atracción de 2,818 personas; con el mismo número de interacciones se encuentra San Pedro Cholula contando con una atracción de 7,254 personas. Observándose la importancia de estos municipios en materia de concentración y generación de empleos a escala metropolitana.

5.2.4. Subcentros de empleo en 2020 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala

Para el año 2020 se identificaron 27 subcentros de empleo, tres menos en comparación al año 2020, pero se destaca que algunos subcentros fueron absorbidos por otros subcentros de mayor importancia, así como el surgimiento de nuevos subcentros (Tabla 26). Los subcentros se encuentran distribuidos en 148 AGEB´s, 22 AGEB´s más en comparación de 2020, en una superficie urbana de 13,718.63 hectáreas lo que representa el 18.72% del total de la superficie urbana en 2020. Además de 19.49% del total de la población, 39.66% del total de UE y 53.55% del total de empleos.

Tabla 26. Características de subcentros de empleo en la Zona Metropolitana de Puebla Tlaxcala, 2020

Subcentro	Número de AGEB´s	Población total en 2020	Porcentaje	Total de Unidades Económicas	Porcentaje	Total de empleados	Porcentaje	Superficie (ha)	Porcentaje
1-(Principal)-Puebla	72	225,601	7.58	36,488	20.37	294,723	28.66	4,105.33	5.60
2-Puebla	11	51,477	1.73	5,199	2.90	34,266	3.33	871.00	1.19
3-Puebla	1	1,602	0.05	496	0.28	1,931	0.19	26.28	0.04
4-Puebla	9	32,713	1.10	2,489	1.39	37,173	3.61	845.03	1.15
5-Puebla	1	2,430	0.08	545	0.30	3,682	0.36	47.42	0.06
6-San Andrés Cholula	3	13,656	0.46	709	0.40	9,958	0.97	567.87	0.77
7-Puebla	1	2,049	0.07	146	0.08	2,855	0.28	78.30	0.11
8-San Pedro Cholula	13	78,693	2.65	7,533	4.20	41,086	3.99	1,914.60	2.61
9-Puebla	1	7,605	0.26	144	0.08	1,822	0.18	93.53	0.13

Subcentro	Número de AGEB´s	Población total en 2020	Porcentaje	Total de Unidades Económicas	Porcentaje	Total de empleados	Porcentaje	Superficie (ha)	Porcentaje
10-Amozoc	1	6,135	0.21	628	0.35	2,664	0.26	109.48	0.15
11-Amozoc	2	10,581	0.36	1,142	0.64	4,709	0.46	218.59	0.30
12-Coronango-Cuautlancingo	9	49,891	1.68	3,148	1.76	47,378	4.61	2,277.40	3.11
13-Puebla	1	5,817	0.20	435	0.24	2,084	0.20	44.26	0.06
14-Xicohtzinco-Papalotla de Xicohténcatl	3	8,210	0.28	763	0.43	8,384	0.82	392.18	0.54
15-Zacatelco	2	9,318	0.31	1,495	0.83	6,075	0.59	148.02	0.20
16-Huejotzingo	2	7,436	0.25	1,394	0.78	5,665	0.55	147.01	0.20
17-Huejotzingo	1	6,561	0.22	576	0.32	3,100	0.30	111.83	0.15
18-San Martín Texmelucan	4	15,426	0.52	3,886	2.17	16,290	1.58	171.35	0.23
19-San Andrés Cholula	1	2,031	0.07	209	0.12	2,128	0.21	38.27	0.05
20-San Gregorio Atzompa	1	4,059	0.14	403	0.22	4,020	0.39	400.82	0.55
21-Puebla	1	6,800	0.23	453	0.25	1,921	0.19	59.49	0.08
22-San Miguel Xoxtla	1	4,646	0.16	423	0.24	2,656	0.26	291.26	0.40
23-Mazatecochco de José María Morelos	1	8,620	0.29	715	0.40	2,556	0.25	128.03	0.17
24-Teolocholco	1	3,810	0.13	235	0.13	2,389	0.23	223.44	0.30
25-San Martín Texmelucan	2	5,261	0.18	832	0.46	4,353	0.42	168.92	0.23
26-Puebla	2	7,123	0.24	386	0.22	4,558	0.44	182.52	0.25
27-Puebla	1	2,123	0.07	182	0.10	2,284	0.22	56.40	0.08
Resto de la zona urbana	909	2,394,970	80.51	108,111	60.34	477,768	46.45	59,577.38	81.28
Total	1,057	2,974,644	100.00	179,165	100.00	1,028,478	100.00	73,296.01	100.00

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2020 (INEGI, 2021e) y Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2021b).

En relación con la presencia de actividades económicas, se identifican 86 subsectores de actividad económica, en donde sigue predominando aquellas actividades del sector terciario, seguido por actividades secundarias. Los subcentros identificados se localizan en 15 de los 39 municipios de la zona metropolitana, incorporándose los municipios de San Gregorio Atzompa, Coronango y Papalotla de Xicohténcatl; en comparación al año 2010. Así como sigue siendo Puebla el municipio con mayor cantidad de subcentros, en esta ocasión con 11, uno menos en comparación al año 2010. Además de que se observa que algunos subcentros no respetan límites político-administrativos ya que se identifican entre dos municipios.

El subcentro de mayor importancia a escala metropolitana sigue siendo el localizado en la parte central con el nombre de “1-(Principal-Puebla), aumentando su superficie a 72 AGEB´s

nueve AGEb´s más respecto a 2010, cuenta con una superficie de 4,105.33 ha (5.65% del total), concentra 7.58% de la población total urbana, 20.37% de las UE y el 28.66% de los empleos. Respecto a sus niveles de diversificación económica, cuenta con valores entre un rango de 0.2791 a 0.6628, identificando zonas que se encuentran en proceso de diversificación de actividades económicas a zonas cuya tendencia por otro lado es a especializarse en uno o dos rubros de sectores económicos.

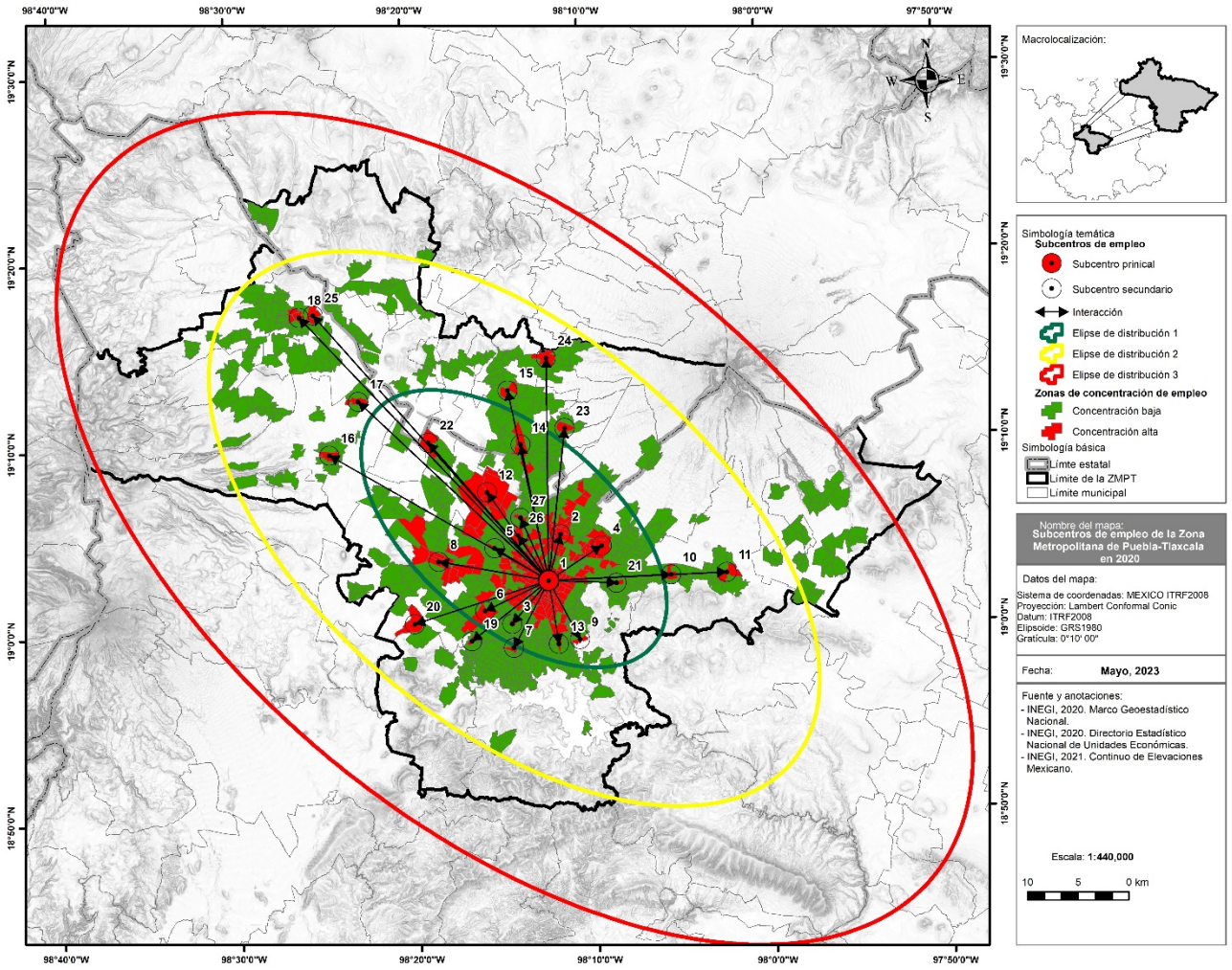
El segundo subcentro de relevancia le corresponde a "12-Coronango-Cuautlancingo", localizando entre los límites de dos municipios, concentra 1.68% del total de la población, 1.76% del total de UE y 4.61% del empleo total. Su diversidad económica se encuentra entre un rango de 0.1628 a 0.5581, indicando que el subcentro cuenta con zonas especializadas en la oferta de un bien o servicio y otras zonas que están teniendo una tendencia a la diversificación económica.

La tercera posición la ocupa el subcentro "8-San Pedro Cholula", concentra 2.65% de la población total, 4.2% del total y 3.99% de los empleos. Cuenta con un índice de diversidad económica entre un rango de 0.3721 a 0.6047, indicando que el subcentro se compone tanto de zonas especializadas como en tendencia de diversificación a otras actividades económicas complementarias a la funcionalidad del subcentro.

Estos tres subcentros en su conjunto representan 11.91% de la población total, 26.33% del total de UE, 37.26% del total de empleos, en una extensión que representa 11.32% de la zona urbana. Observando la consolidación de algunos subcentros de empleo, otros absorbidos por subcentros de mayor importancia metropolitana, así como la identificación de subcentros que limitan con dos municipios y que no respetan límites político-administrativos, presentándose de manera intraurbano.

El comportamiento espacial de los subcentros identificados y como se observa en la Figura 29, sigue siendo el subcentro principal el localizado en la parte central de la zona metropolitana en 2010, sin embargo, ha aumentado su extensión territorial, tiene interacción con el resto de los 26 subcentros de empleo, explicadas por sus ventajas de economías de urbanización.

Figura 29. Localización de los subcentros de empleo en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala, 2020



Fuente: elaboración propia a partir del Marco Geoestadístico (INEGI, 2021b)

El patrón de distribución de los subcentros sigue siendo noreste-sureste, así como la forma en la que gravitan alrededor del subcentro principal es de manera elíptica. El municipio con mayor cantidad de subcentros es Puebla con 11 subcentros, seguido por Amozoc, Huejotzingo, San Andrés Cholula y San Martín Texmelucan, con dos subcentros cada uno.

Otro elemento para resaltar es que dentro de la primera elipse de distribución se encuentran orbitando 15 de los 27 subcentros de empleo identificados. Además, los 12 subcentros de empleo restantes se encuentran orbitando entre el espacio de la primer y segunda elipse de distribución, aumentando su frecuencia con relación al año 2010. La distancia euclidiana entre los subcentros de empleo y el subcentro principal, la distancia máxima registrada fue 33.75 km correspondiente al subcentro "18-San Martín Texmelucan" y el más cercano al subcentro principal con una distancia de 4.73 km correspondiente a "2-Puebla".

Con relación a los intercambios de población por motivos de trabajo en 2020, se desplaza un total de 171,094 desplazamientos (Tabla 27), 69, 127 más desplazamientos en comparación al año 2010, lo que representa un incremento del 67.79% en un espacio de diez años. El municipio con mayor atracción de población por motivos de trabajo sigue siendo Puebla con una representación del 52.16% del total, ocupando la misma posición en relación con la cantidad de población que expulsa por motivos de trabajo con una representación del 12.2% del total. En contraste atrae casi 4.27 veces más población de lo que expulsa, apoyándose de otros municipios para satisfacer su demanda de empleo.

Tabla 27. Movilidad laboral de los subcentros de empleo de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala, 2020

Clave municipal	Municipio	Entradas	Porcentaje	Salidas	Porcentaje
21001	Acajete	1,309	0.77	7,264	4.25
21015	Amozoc	1,779	1.04	12,905	7.54
21034	Coronango	1,219	0.71	5,531	3.23
21041	Cuautlancingo	9,204	5.38	13,977	8.17
21048	Chiautzingo	232	0.14	2,386	1.39
21060	Domingo Arenas	53	0.03	836	0.49
21074	Huejotzingo	14,532	8.49	4,072	2.38
21090	Juan C. Bonilla	343	0.20	3,493	2.04

Clave municipal	Municipio	Entradas	Porcentaje	Salidas	Porcentaje
21106	Ocoyucan	372	0.22	6,040	3.53
21114	Puebla	89,240	52.16	20,867	12.20
21119	San Andrés Cholula	11,229	6.56	15,214	8.89
21122	San Felipe Teotlalcingo	461	0.27	1,208	0.71
21125	San Gregorio Atzompa	2,095	1.22	862	0.50
21132	San Martín Texmelucan	8,211	4.80	8,756	5.12
21136	San Miguel Xoxtla	1,857	1.09	1,398	0.82
21140	San Pedro Cholula	12,033	7.03	16,932	9.90
21143	San Salvador el Verde	554	0.32	2,912	1.70
21163	Tepatlaxco de Hidalgo	217	0.13	1,927	1.13
21181	Tlaltenango	118	0.07	1,043	0.61
29015	Ixtacuixtla de Mariano Matamoros	751	0.44	2,386	1.39
29017	Mazatecochco de José María Morelos	367	0.21	434	0.25
29019	Tepetitla de Lardizábal	825	0.48	2,405	1.41
29022	Acuamanala de Miguel Hidalgo	924	0.54	840	0.49
29023	Natívitas	599	0.35	2,884	1.69
29025	San Pablo del Monte	1,423	0.83	10,799	6.31
29027	Tenancingo	548	0.32	1,757	1.03
29028	Teolocholco	702	0.41	1,737	1.02
29029	Tepeyanco	486	0.28	1,576	0.92
29032	Tetlatlahuca	154	0.09	1,523	0.89
29041	Papalotla de Xicohténcatl	3,702	2.16	4,718	2.76
29042	Xicohtzinco	1,124	0.66	2,030	1.19
29044	Zacatelco	2,709	1.58	4,923	2.88
29051	San Jerónimo Zacualpan	184	0.11	489	0.29
29053	San Juan Huactzinco	299	0.17	833	0.49
29054	San Lorenzo Axocomanitla	225	0.13	876	0.51
29056	Santa Ana Nopalucan	466	0.27	545	0.32
29057	Santa Apolonia Teacalco	58	0.03	457	0.27
29058	Santa Catarina Ayometla	328	0.19	1,466	0.86
29059	Santa Cruz Quilehtla	162	0.09	793	0.46
	Total	171,094	100.00	171,094	100.00

Fuente: elaboración propia a partir de la Muestra (cuestionario ampliado) del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2021c)

En segunda posición sobre atracción de población, le corresponde a Huejotzingo con una atracción de 8.49% del total, superando a San Pedro Cholula con relación al año 2010, el mismo ocupa la tercera posición en 2020 con una representación del 7.03% del total, y la segunda posición respecto al municipio con mayor cantidad de expulsión de población con 9.9% del total. Por otro

lado, el municipio que ocupa la tercera posición considerando la cantidad de expulsión de población le corresponde a San Andrés Cholula con el 8.89% del total.

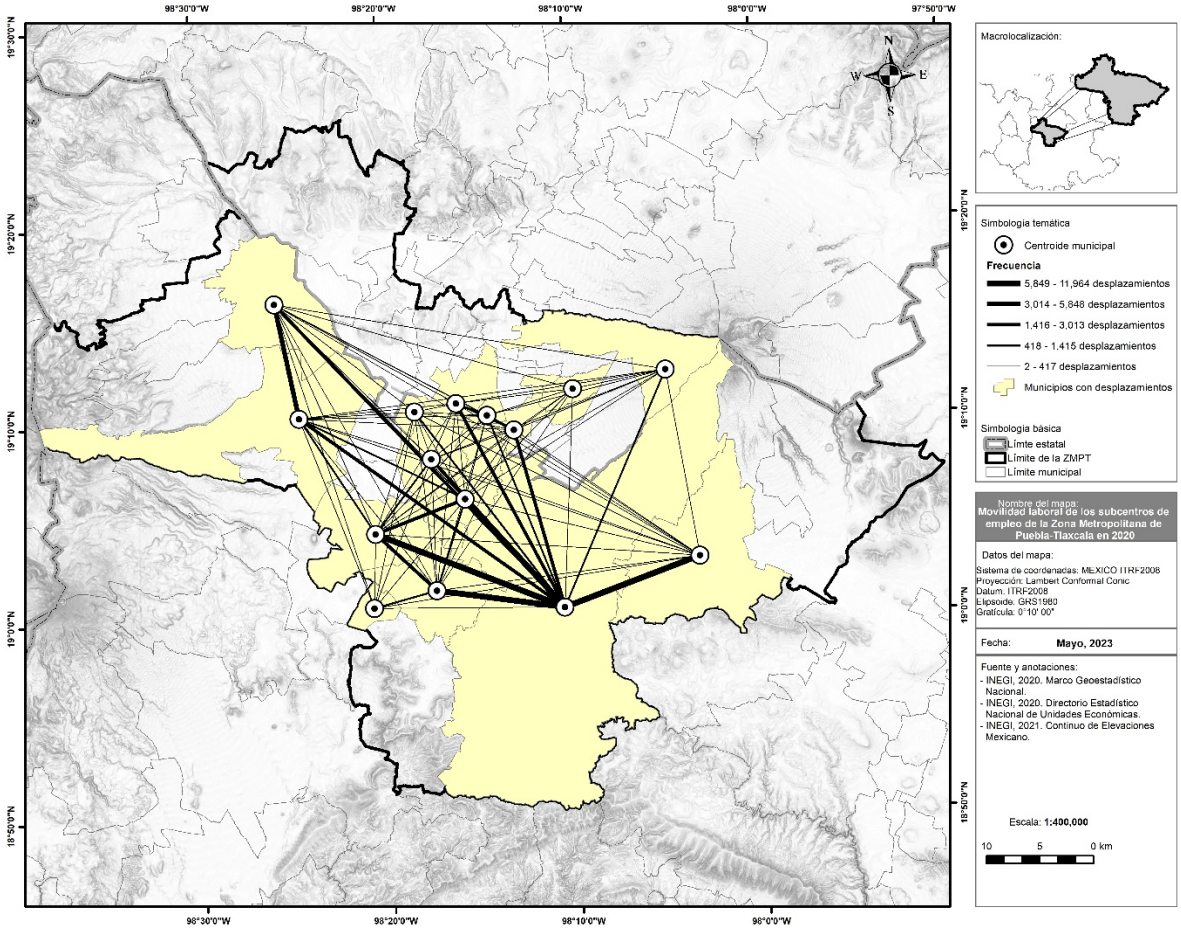
En conjunto los municipios de Puebla, Huejotzingo y San Pedro Cholula atraen el 67.69% del total de desplazamientos de esta índole de la zona metropolitana, resaltando su importancia metropolitana respecto a la localización de empleos. En contraste Puebla, San Pedro Cholula y San Andrés Cholula, concentran 30.98% del total de salidas. Un aspecto importante es que el municipio de San Martín Texmelucan está adquiriendo relevancia en materia de concentración y generación de empleo.

El comportamiento espacial de los desplazamientos por motivos de trabajo, para esta temporalidad se identifican un total de 778 interacciones entre los municipios derivada de la movilidad laboral. Haciendo énfasis en las interacciones de los 15 municipios en donde se identifican los subcentros de empleo y como se observa en la Figura 30, se registran 163 interacciones, que desplazan a un total de 107,974 personas, representando 63.1% del total a nivel metropolitano.

De los 15 municipios en donde se identifican los subcentros de empleo, Puebla es quien atrae población del resto de los municipios con un total de 14 interacciones y una población atraída de 59,281 personas. Por el contrario, expulsa población en dirección a 12 municipios y un total de 19,083 personas. Un aspecto para resaltar es que atrae y expulsa mayor cantidad de población de San Andrés Cholula, mostrando su integración funcional en materia de empleo.

El segundo municipio con mayor cantidad de atracción de población le corresponde a San Pedro Cholula con un total de 10,278 personas, provenientes de 14 municipios; en contra parte expulsa un total de 16,690 personas por la misma razón a 11 municipios. En tercera posición Huejotzingo atrae una población de 9,207 personas proveniente de 13 municipios, este mismo expulsa una población de 3,757 personas a 11 municipios.

Figura 30. Desplazamientos por motivos de trabajo de los municipios con subcentros de empleo en la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala, 2020



Fuente: elaboración propia a partir del Marco Geoestadístico (INEGI, 2021b)

Los aspectos relevantes de los intercambios de población, se observa que el municipio de Puebla históricamente tiene una importancia metropolitana en la concentración de empleo, así como en satisfacer la demanda de empleo de los municipios de la zona metropolitana. Además, de que los municipios con relevancia en la concentración de empleo son San Pedro Cholula, San Andrés Cholula y Huejotzingo. Otro aspecto relevante es el crecimiento paulatino de San Martín Texmelucan tanto en la concentración y generación de empleo.

5.3. Simulación de la expansión urbana en la Zona Metropolitana de Toluca y Puebla-Tlaxcala

La aplicación de la metodología propuesta en el apartado 4.3.3. para realizar la simulación de la expansión urbana tanto en la Zona Metropolitana de Toluca y Puebla Tlaxcala, conforme a las dos propuestas de modelos en su construcción, considerando en uno a los subcentros de empleo como fuerza motriz de aceleración de la expansión urbana, y en el segundo modelo excluyendo esta variable, para observar su comportamiento. Los resultados de ambos modelos por cada una de las zonas de estudio se muestran a consideración para la temporalidad de análisis 2020 a 2035.

5.3.1. Simulación de la expansión urbana en la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035 – Subcentros de empleo (Modelo 1)

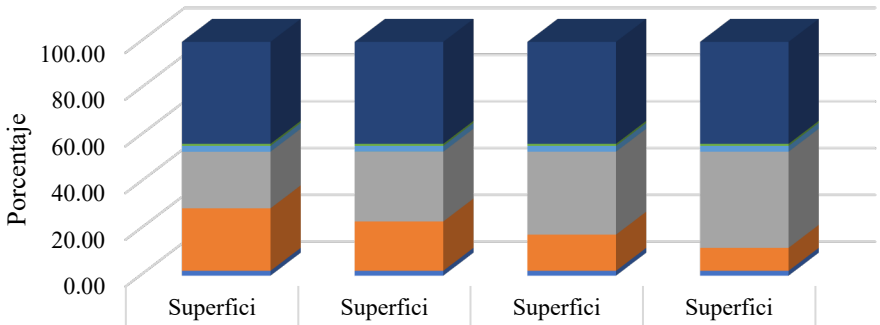
Los resultados obtenidos de la simulación de la expansión urbana para la Zona Metropolitana de Toluca, conforme a los distintos usos de suelo identificados y como se observa en la Figura 31 la superficie construida pasa de tener una representación del 24.21% de la superficie total de la zona metropolitana en 2020 a 41.11% del total en 2035, cuyo crecimiento se debe al absorber los usos destinados a cultivos y zonas identificadas con suelo desnudo. Además, presenta una tasa de crecimiento media anual de 2020 a 2035 del 3.6%, lo que se traduce en pasar de 58,407 ha en 2020 a 99,196 en 2035; casi duplicando su superficie en un tiempo de 15 años.

Sobre el comportamiento de la simulación cada 5 años, se parte que en 2020 la superficie construida representa 24.21% del total de la ZMT. En 2025 pasa a representar 29.84% del total de la ZMT, para 2030 representa 35.47% del total de la ZMT, y en 2035 41.11% del total. Además,

presenta una tasa de crecimiento de 2020 a 2025 de 4.3%, para 2025 a 2030 de 3.5%, de 2030 a 2035 de 3%, y una tasa global del periodo de 2020 a 2035 de 3.6%; mostrando su etapa de mayor crecimiento de 2020 a 2025, para un decrecimiento en los años subsecuentes, tal comportamiento puede ser explicado por las zonas de restricción fijadas en el modelo que limitan el crecimiento de la zona urbana.

Además, como se observa en la Figura 32, el surgimiento de superficie construida o zonas urbanas nuevas alrededor de la zona urbana consolidad, correspondiente a los municipios centrales de la ZM. Así como, su distribución de las zonas de mayor crecimiento ubicadas al noroeste, sureste y este de la zona metropolitana.

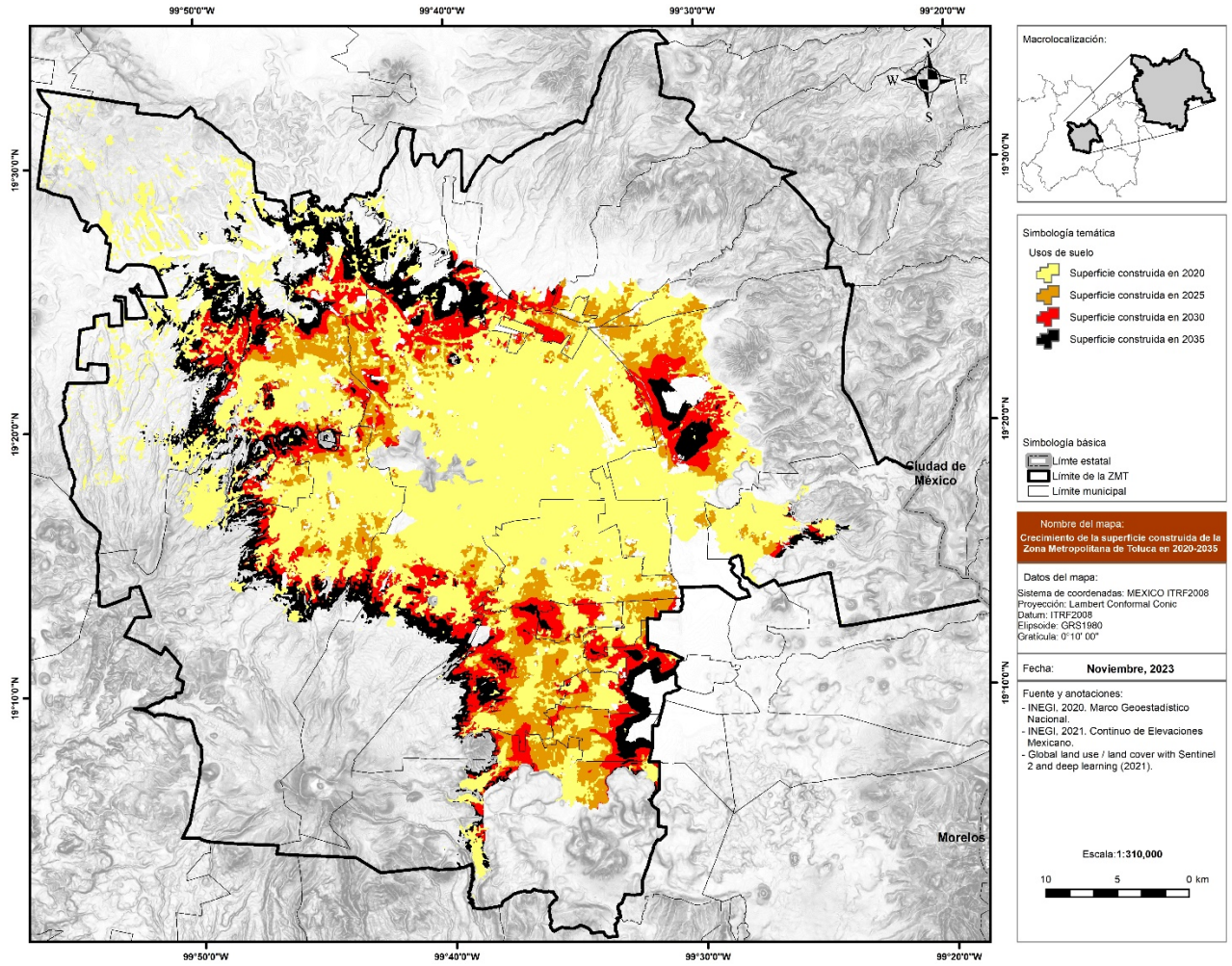
Figura 31. Simulación de crecimiento urbano 2020-2035 (Modelo 1)



	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)
ANP	43.62	43.62	43.62	43.62
Cuerpo de agua	0.89	0.89	0.89	0.89
Pastizal	2.49	2.48	2.48	2.48
Suelo desnudo	0.00	0.00	0.00	0.00
Superficie construida	24.21	29.84	35.47	41.11
Cultivos	26.73	21.10	15.47	9.83
Bosque	2.07	2.07	2.07	2.07

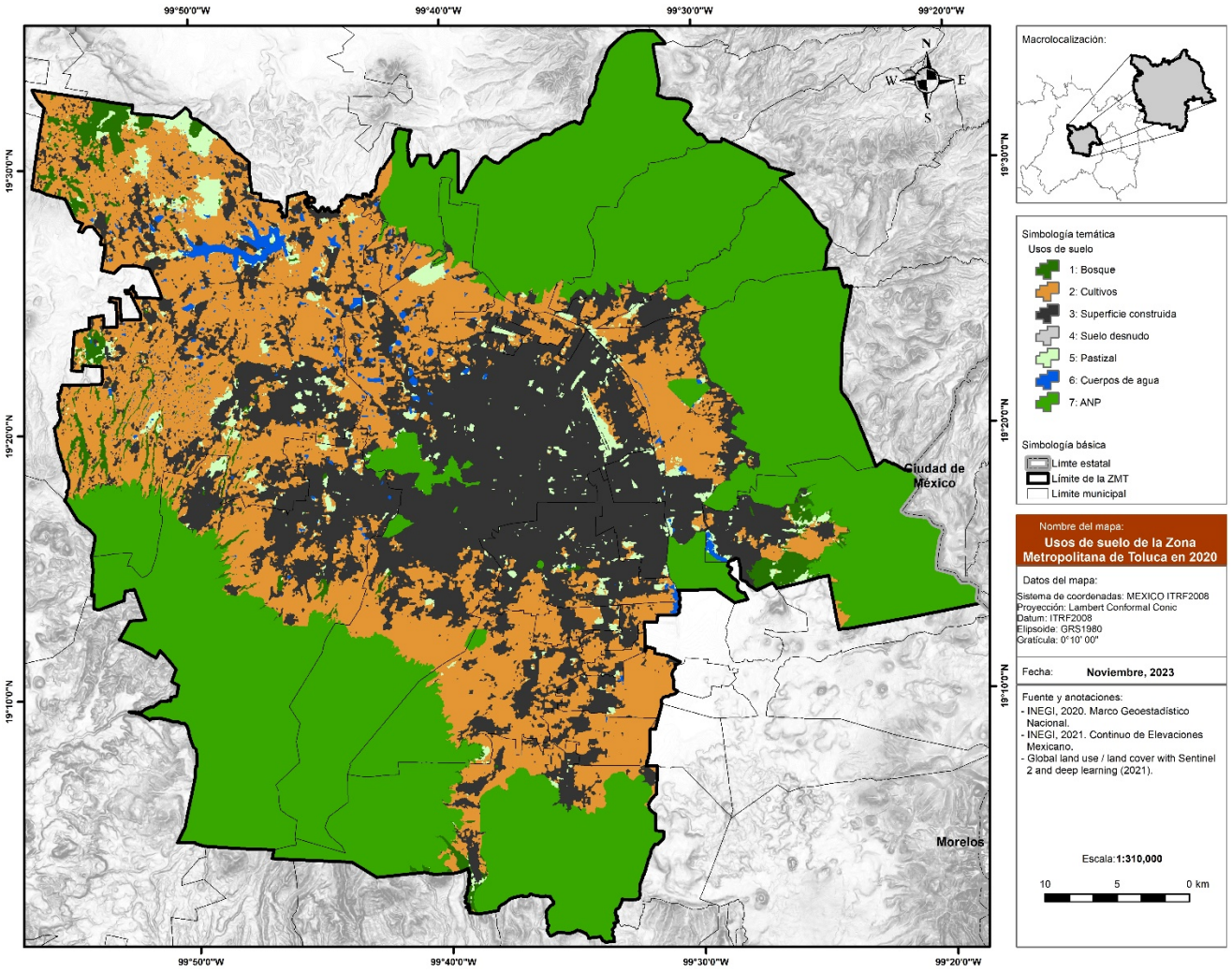
Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 1.

Figura 32. Nuevas áreas urbanas de la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035 (Modelo 1)



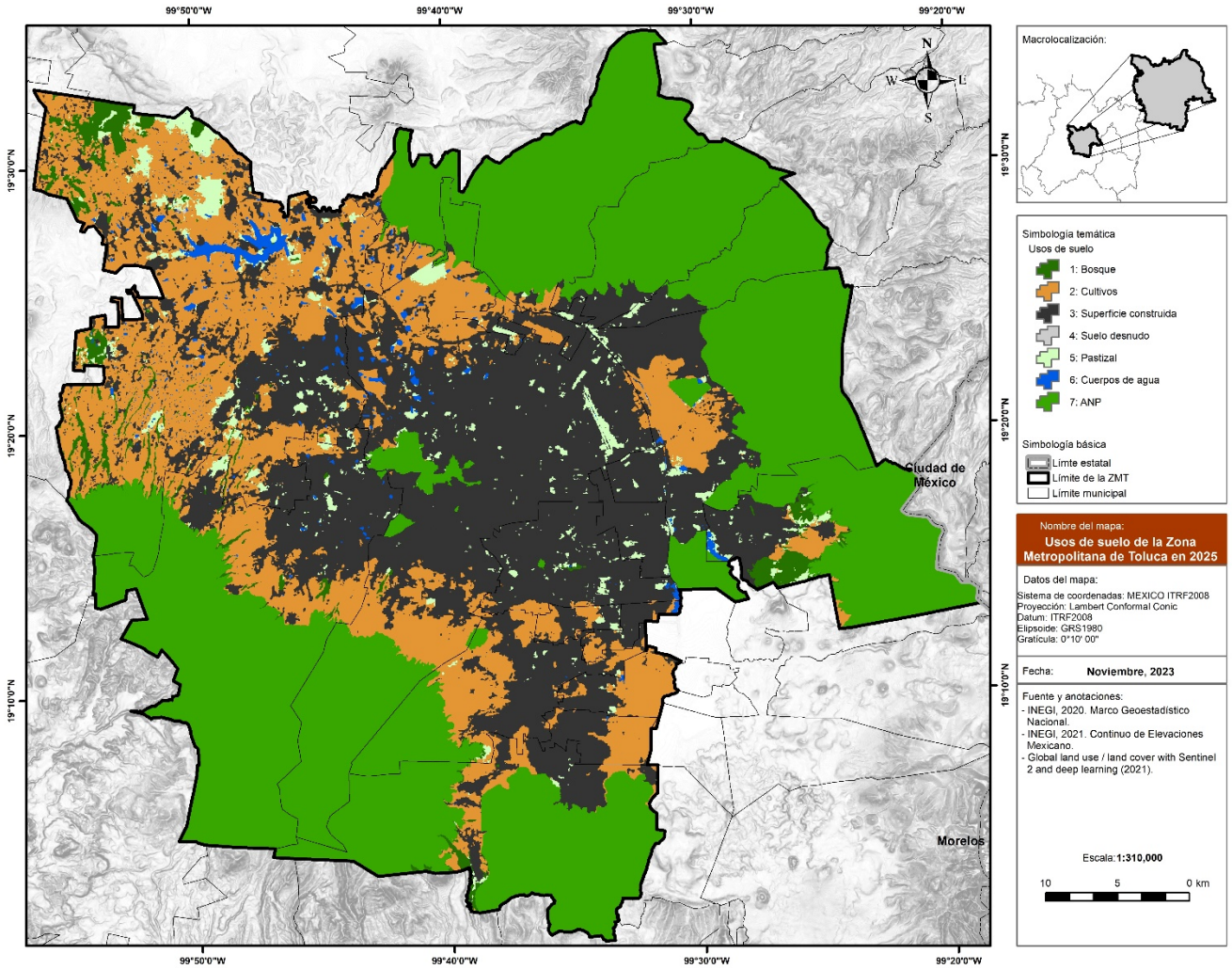
Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 1.

Figura 33. Expansión urbana en 2020 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 1)



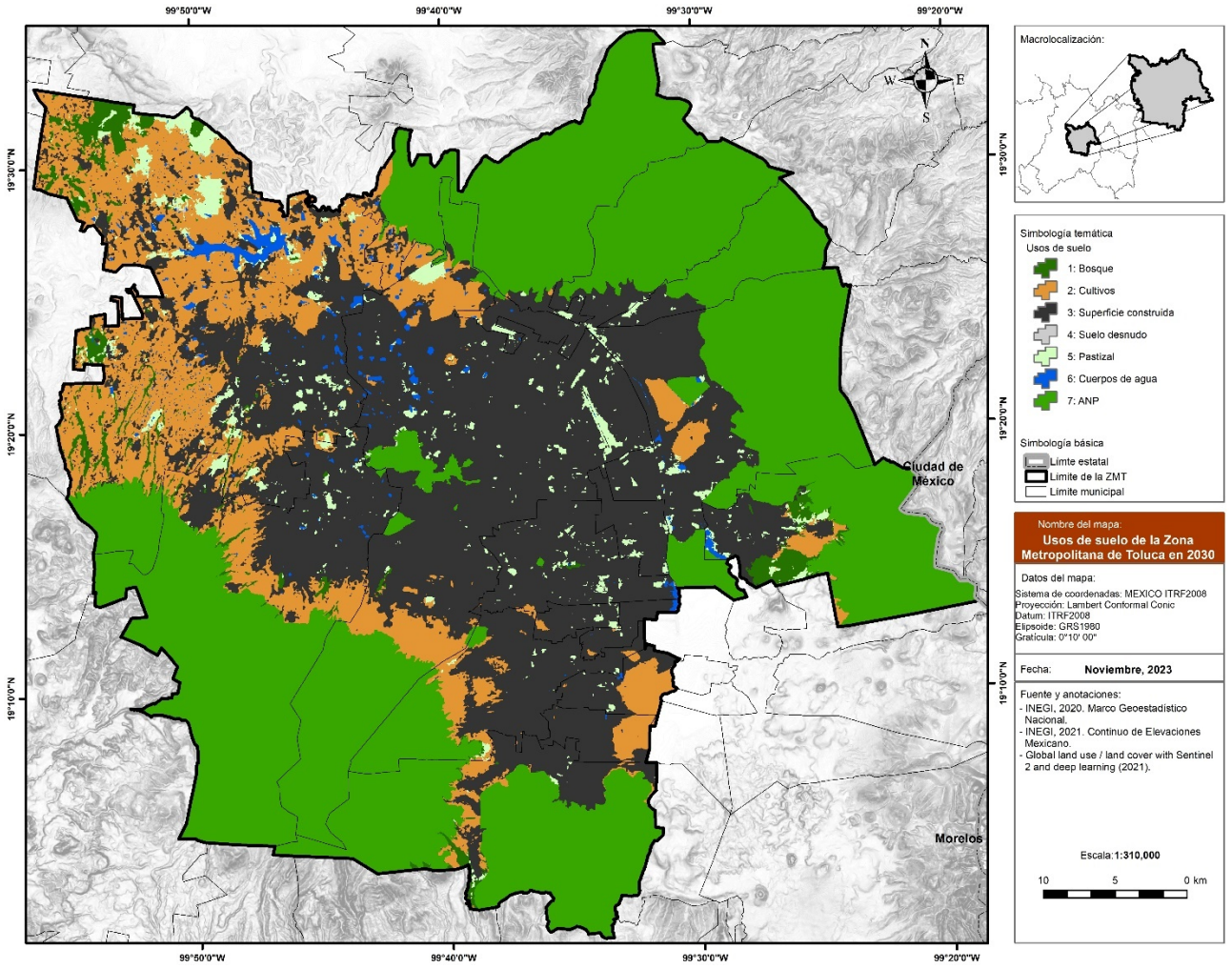
Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 1.

Figura 34. Expansión urbana en 2025 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 1)



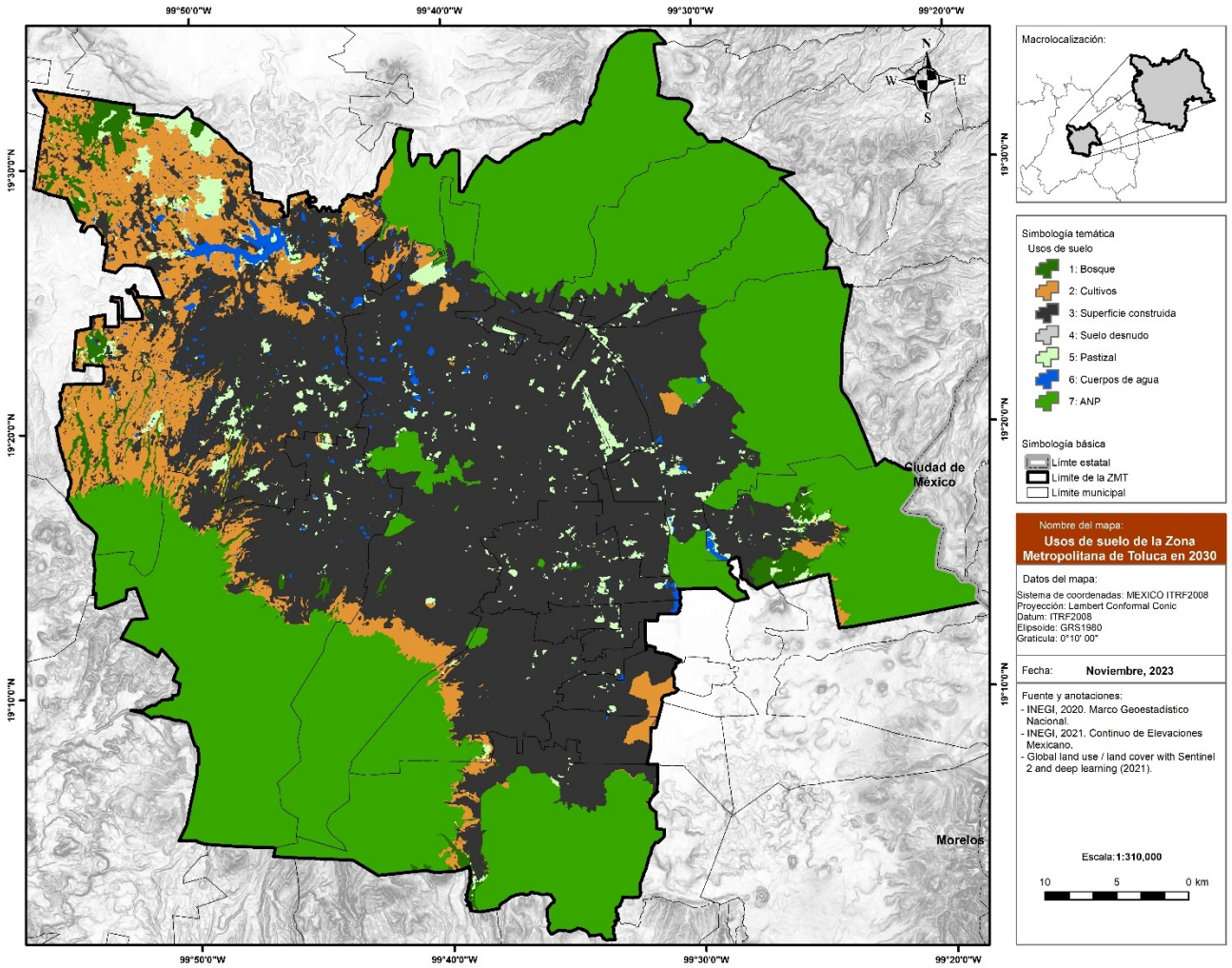
Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 1.

Figura 35. Expansión urbana en 2030 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 1)



Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 1.

Figura 36. Expansión urbana en 2035 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 1)



Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 1.

Como se observa en las Figuras 33, 34, 35 y 36 previamente mostradas, sobre el comportamiento de la expansión urbana y el papel que desempeñan los subcentros de empleo identificados en las distintas escenas de la simulación correspondientes a los años 2025, 2030 y 2035, se distingue que el crecimiento se da en forma radial de la zona urbana consolidada. Además de un crecimiento de la superficie construida en las zonas donde se localizan los subcentros de empleo, con excepción en el subcentro localizado en Temoaya, debido a las restricciones fijadas en la construcción del modelo. Así como, nuevas formaciones en tipo salto de rana en los municipios de Mexicaltzingo, Calimaya, Rayón, San Antonio la Isla y Almoloya de Juárez.

Se destaca que los municipios con una tendencia a urbanizarse en la mayoría de su superficie son San Antonio la Isla, Rayón, Chapultepec, Mexicaltzingo, Metepec, San Mateo Atenco y Calimaya. Focalizándose el crecimiento en la dirección sureste de la zona metropolitana, formando un corredor metropolitano. Así como los municipios que también presentan un crecimiento importante de zonas urbanas correspondiente a Lerma, Toluca, Temoaya, Almoloya de Juárez y Zinacantepec en el periodo de 2025 a 2035.

Conforme al comportamiento de la expansión urbana a nivel municipal y de acuerdo con la Tabla 28, para el periodo de 2020-2025 el municipio que tuvo mayor tasa de crecimiento en su superficie construida fue Rayón con 20.1%, seguido por Calimaya con 15.1%, y Chapultepec con 12.9%. Estos municipios además son vecinos entre sí, como su crecimiento absorbe tierras de cultivo cambiándolas de vocación.

Por otro lado, quienes tuvieron una menor velocidad de crecimiento son San Mateo Atenco con 0.4%, Ocoyoacac con 1.8%, y Toluca con 2.1%. Este comportamiento es explicado por contar tanto con algunas zonas de restricción que limitan su crecimiento o por no contar en esta temporalidad con elementos suficientes que hagan que se generen nuevas zonas de crecimiento urbano.

Tabla 28. Crecimiento de la superficie construida en la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035 (Modelo 1)

Clave municipal	Municipio	Superficie (ha)				Tasa de crecimiento medio anual (%)			
		2020	2025	2030	2035	2020-2025	2025-2030	2030-2035	2020-2035
15005	Almoloya de Juárez	10,142.35	11,819.71	14,343.47	19,987.56	3.1	3.9	6.9	4.6
15018	Calimaya	1,933.45	3,912.70	5,597.26	6,486.82	15.1	7.4	3.0	8.4
15027	Chapultepec	430.59	789.36	1,074.24	1,094.96	12.9	6.4	0.4	6.4
15051	Lerma	4,280.60	5,949.23	7,596.33	8,420.65	6.8	5.0	2.1	4.6
15054	Metepec	5,080.78	6,091.99	6,351.05	6,386.26	3.7	0.8	0.1	1.5
15055	Mexicaltzingo	467.48	639.38	1,065.37	1,108.18	6.5	10.8	0.8	5.9
15062	Ocoyoacac	2,034.37	2,220.36	2,318.27	2,553.91	1.8	0.9	2.0	1.5
15067	Otzolotepec	1,133.35	1,823.08	2,332.53	2,424.91	10.0	5.1	0.8	5.2
15072	Rayón	485.63	1,215.14	1,630.76	2,043.46	20.1	6.1	4.6	10.1
15073	San Antonio la Isla	624.84	894.07	1,388.60	1,962.16	7.4	9.2	7.2	7.9
15076	San Mateo Atenco	1,947.85	1,991.68	1,991.68	1,991.68	0.4	0.0	0.0	0.1
15087	Temoaya	570.40	660.89	855.48	1,237.54	3.0	5.3	7.7	5.3
15090	Tenango del Valle	1,422.93	2,531.78	3,162.42	3,533.62	12.2	4.5	2.2	6.3
15106	Toluca	21,429.00	23,731.74	27,146.37	29,389.94	2.1	2.7	1.6	2.1
15115	Xonacatlán	545.68	817.25	817.42	817.42	8.4	0.0	0.0	2.7
15118	Zinacantepec	5,874.17	6,909.65	7,921.36	9,752.62	3.3	2.8	4.2	3.4
	Total	58,403.47	71,997.99	85,592.61	99,191.70	4.3	3.5	3.0	3.6

Fuente: elaboración propia.

En el periodo de 2025-2030, aquellos que tuvieron una mayor tasa de crecimiento fueron Mexicaltzingo con 10.8%, seguido por San Antonio la Isla con 9.2% y Calimaya con 7.4%. En contra parte aquellos con un menor ritmo de crecimiento fueron San Mateo Atenco y Xonacatlán con 0%, seguido por Metepec con 0.8%, como Toluca con 2.7%. Resaltando que aquellos municipios con una tasa de crecimiento 0% es debido a las particularidades del modelo, restringiendo las zonas de crecimiento.

Para el caso del periodo 2030-2035, quienes tuvieron un mayor ritmo de crecimiento fueron San Antonio la Isla con 7.2%, seguido por Almoloya de Juárez con 6.9% y Zinacantepec con 4.2%. En contraste excluyendo aquellos municipios con una tasa igual a 0, los que tuvieron un menor ritmo de crecimiento de la zona urbana fueron Metepec con 0.1%, Chapultepec con 0.4%, Mexicaltzingo y Otzolotepec con 0.8%.

Sobre su comportamiento global de 2020-2035, aquellos que tuvieron un mayor ritmo de crecimiento fueron Rayón con 10.1%, Calimaya con 8.4% y Chapultepec con 6.4%. En contraparte aquellos con menor ritmo de crecimiento le corresponde a San Mateo Atenco con 0.1%, Metepec y Ocoyoacac con 1.5%, y Toluca con 2.1%. En relación a los municipios con mayores ritmos de crecimiento, presentan actualmente la generación de nuevos asentamientos humanos en sus distintas vertientes, ya sean fraccionamientos como casas particulares o naves industriales, como la generación de nueva infraestructura para cubrir las necesidades de sus habitantes o de la zona metropolitana.

Revelando que las tendencias observadas en la temporalidad de análisis, revela que la Zona Metropolitana de Toluca, sigue demandando suelo y la ocupación de este se ha dado en municipios periféricos al municipio central, en donde los municipios con mayores tendencias de crecimiento a futuro su superficie total en unos años será urbana. Por otro lado, en los municipios en dirección noroeste y este del municipio central, se observa que, si no se respetan las zonas de conservación, podría presentar la misma tendencia.

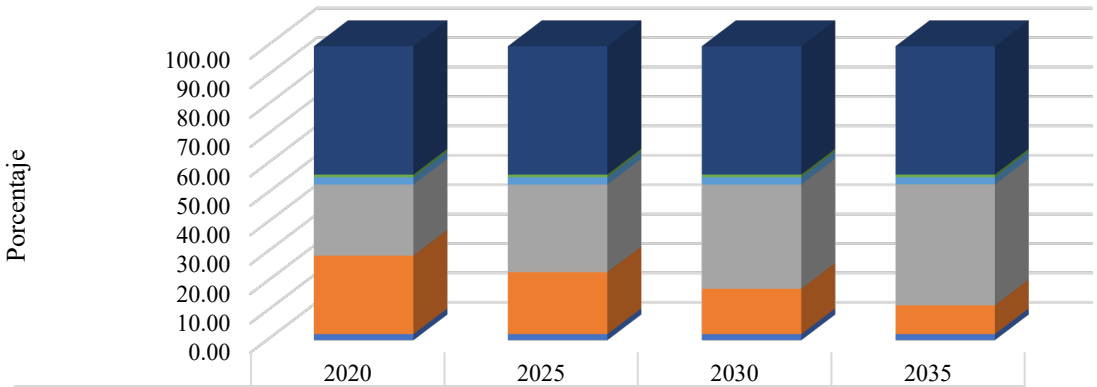
5.3.2. Simulación de la expansión urbana en la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035 (Sin subcentros de empleo o Modelo 2)

El comportamiento de la expansión urbana realizada mediante la simulación sin el peso de los subcentros de empleo se observa que durante el periodo de 2020-2035, la superficie construida pasa de representar 24.21% a 41.13% de la superficie total de la ZMT, pasando de 58,407 ha a 99,252 ha, casi duplicando su superficie en un periodo de 15 años. Además, presenta una TCMA de 2020 a 2035 del 3.6%. En donde la superficie construida absorbe en su mayoría el uso de suelo destinado a cultivos para su crecimiento, seguido de los suelos desnudos.

Sobre el primer periodo correspondiente a 2020-2025 y como se observa en la Figura 37, la superficie construida pasa de representar 24.21% de la superficie total a 29.85%, teniendo un incremento de 13,614 ha, así como una tasa de crecimiento de 4.3%. Para el periodo de 2025-2030, pasa de 29.85% a 35.49%, lo que se traduce en un aumento de 13,600 ha más en comparación al periodo anterior. Para el caso de 2030-2035 pasa de representar 35.49% a 41.13%, traduciéndose en un aumento de 13,630 ha. Su tasa global del periodo de 2020-2035 es de 3.6%; al igual que el

modelo realizado con subcentros de empleo, su etapa de mayor crecimiento es de 2020 a 2025, con relación a la tasa global.

Figura 37. Simulación de crecimiento urbano 2020-2035 (Modelo 2)



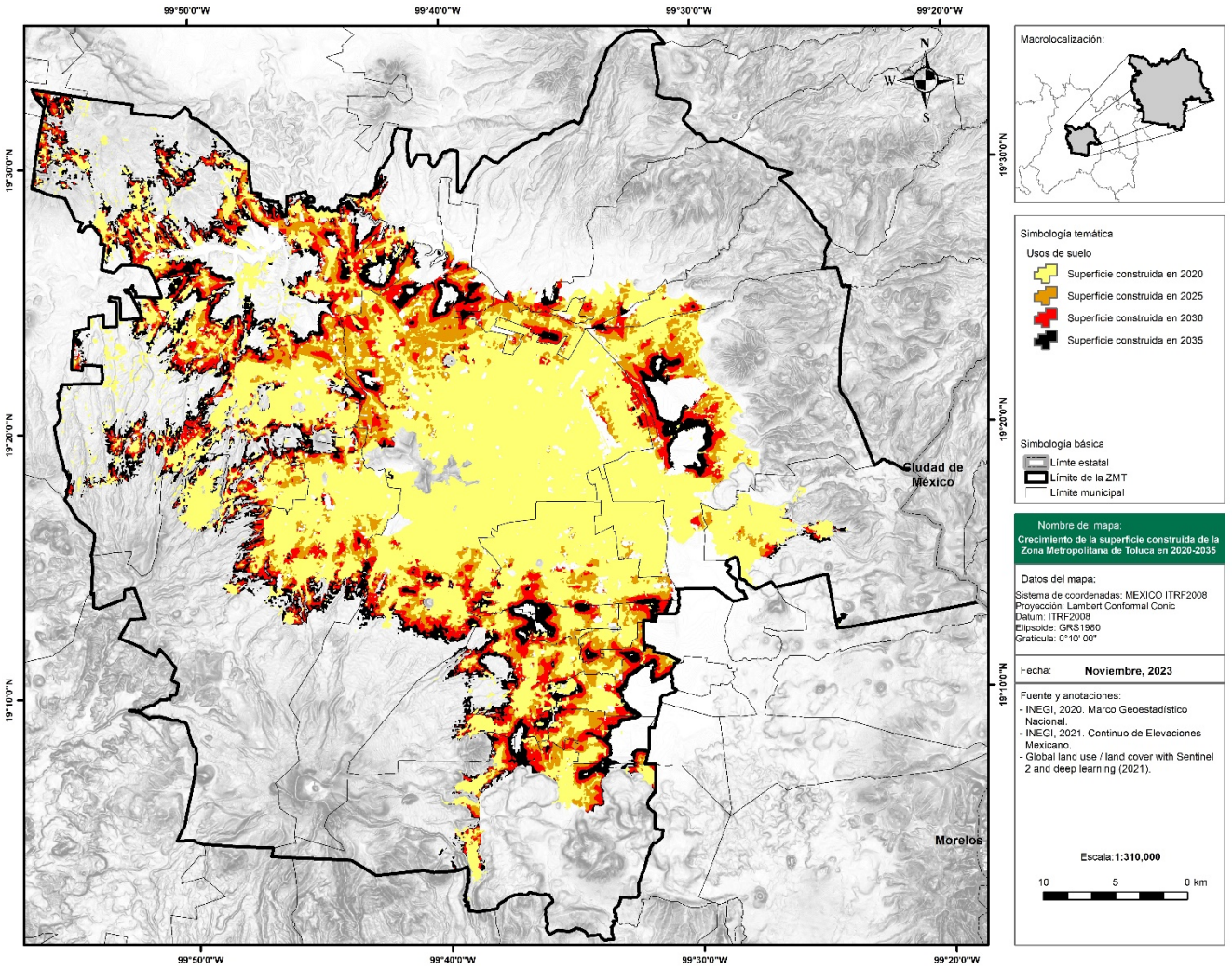
	2020	2025	2030	2035
ANP	43.62	43.62	43.62	43.62
Cuerpo de agua	0.89	0.89	0.89	0.89
Pastizal	2.49	2.48	2.48	2.48
Suelo desnudo	0.00	0.00	0.00	0.00
Superficie construida	24.21	29.85	35.49	41.13
Cultivos	26.73	21.09	15.46	9.81
Bosque	2.07	2.07	2.07	2.07

Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 2.

Para el caso de la generación de nuevos asentamientos (superficie construida), y como puede observarse en la Figura 38, sobre las nuevas áreas urbanas en las temporalidades de 2020, 2025, 2030 y 2035; sin el efecto de los subcentros de empleo, se observa un patrón disperso en la generación de nuevos asentamientos humanos. Además de que consolida las zonas urbanas existentes en 2020, observando en ellas un aumento en su superficie.

Por otro lado, se ve una consolidación de la zona urbana en el municipio, además de un patrón de urbanización de salto de rana, observando algunos vacíos entre las zonas urbanas consolidadas y las nuevas generadas entre la temporalidad de 2025 a 2035. En donde los municipios más urbanizados son Rayón, San Antonio la Isla, Chapultepec, Mexicaltzingo, Metepec y San Mateo Atenco; estos se observan que para 2035 casi la totalidad de su superficie será urbana (Figura 38).

Figura 38. Nuevas áreas urbanas de la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035 (Modelo 2)

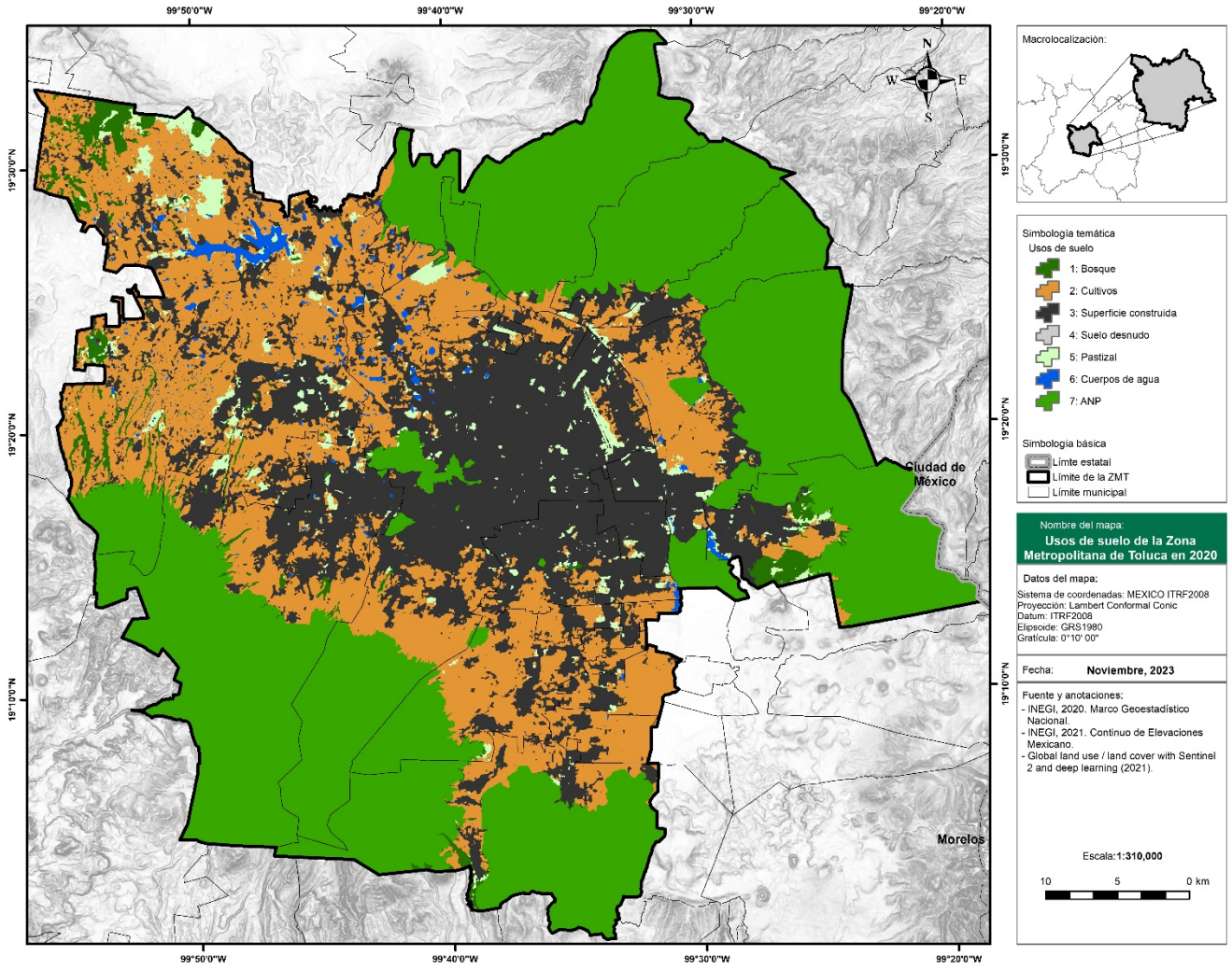


Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 2.

El comportamiento de la expansión urbana y quitando el papel que desempeñan los subcentros de empleo en el modelado de la expansión urbana. En el caso para las distintas escenas de simulación de 2025, 2030 y 2035; se distingue la generación de nuevas zonas urbanas de manera irregular y con un efecto de salto de rana (urban sprawl), además de radial consolidando las zonas urbanas más importantes identificadas en 2020.

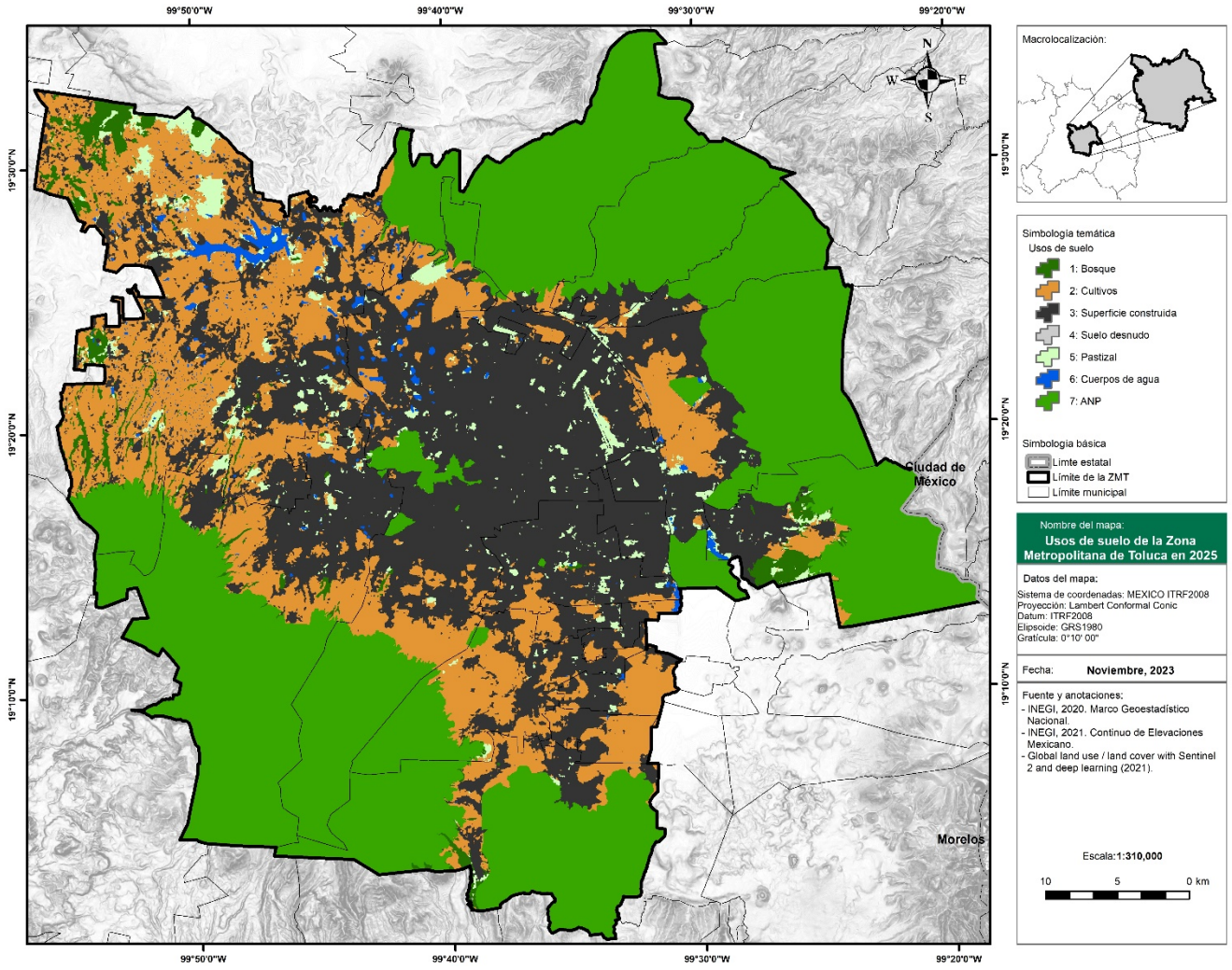
El comportamiento de manera de salta de rana, se presenta de manera más habitual en los municipios de Almoloya de Juárez, algunas zonas de Zinacantepec, Toluca, Otzolotepec, Lerma, Ocoyoacac, Mexicaltzingo, Chapultepec, Calimaya y Tenango del Valle. Es importante destacar que un municipio puede tener una o más formas de patrones de urbanización, respecto a sus condiciones particulares conforme a las variables empleadas en cada modelo (Figura 39, 40, 41 y 42).

Figura 39. Expansión urbana en 2020 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 2)



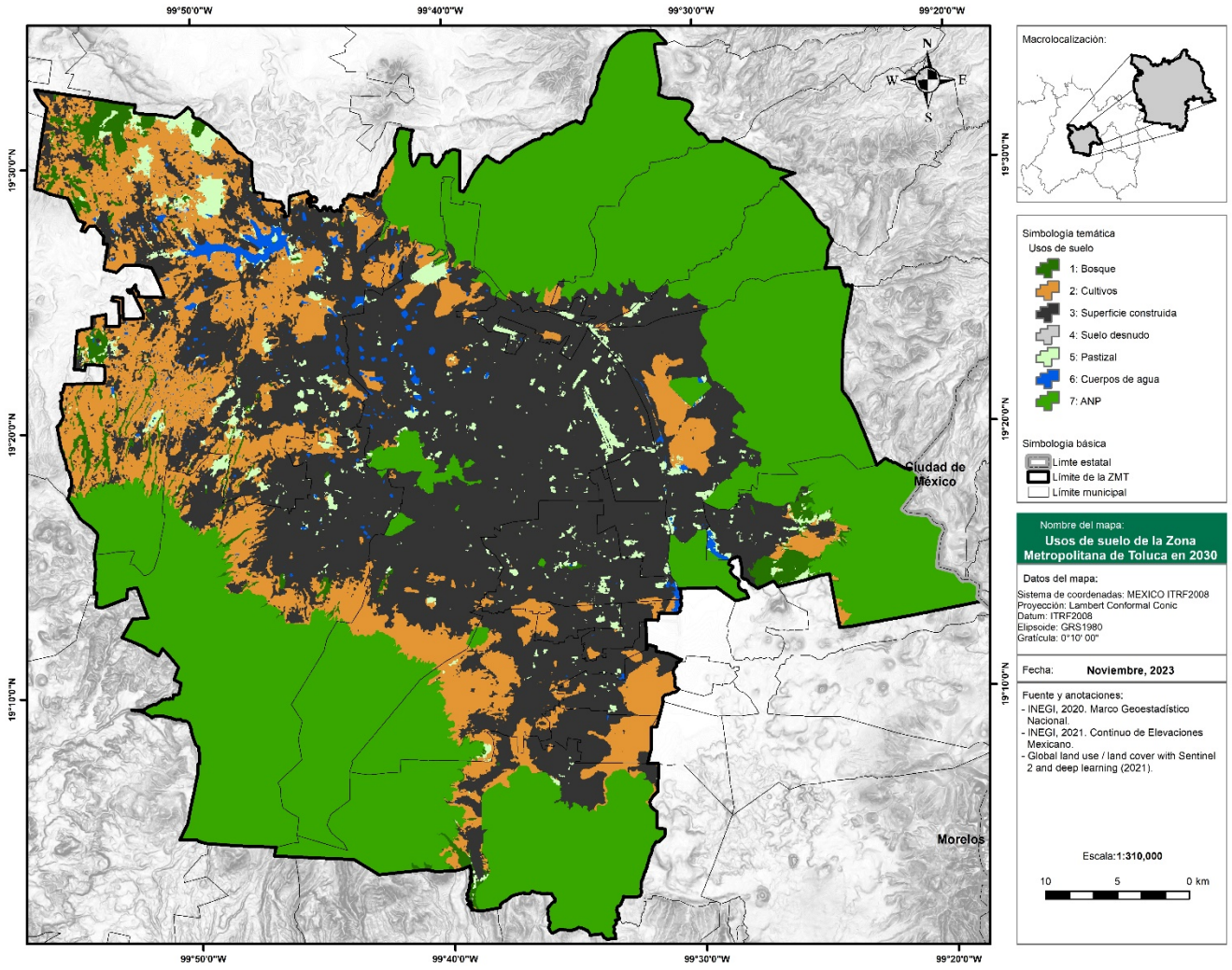
Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 2.

Figura 40. Expansión urbana en 2025 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 2)



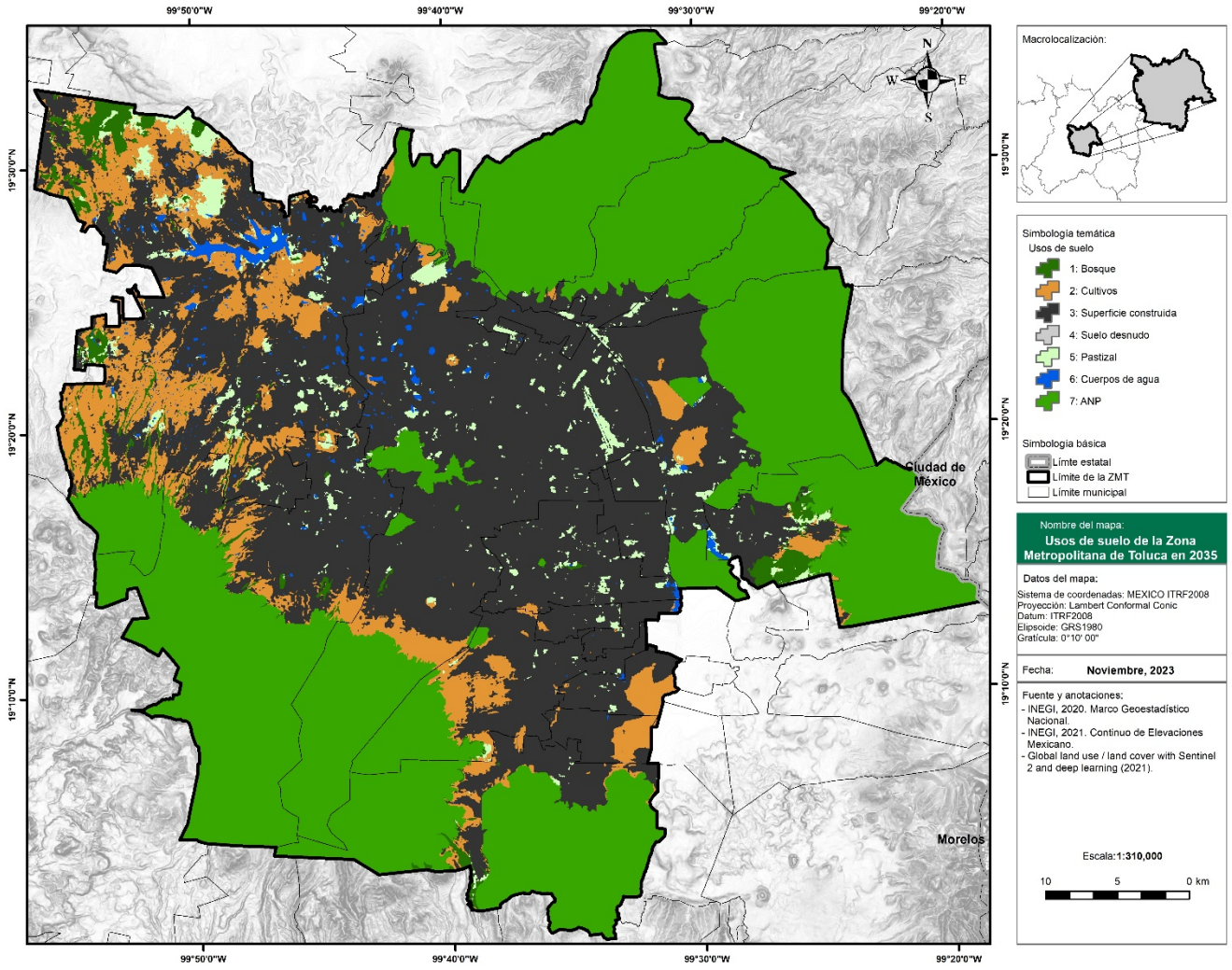
Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 2.

Figura 41. Expansión urbana en 2030 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 2)



Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 2.

Figura 42. Expansión urbana en 2035 de la Zona Metropolitana de Toluca (Modelo 2)



Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 2.

Otro elemento por resaltar es que San Mateo Atenco para el 2035 es el municipio que en su gran mayoría de superficie pasará a ser suelo urbano, solo respetando las zonas que se fijan como restricción en la generación del modelo, esta tendencia se observa también en el modelo anterior. Para el caso de Metepec aún deja pequeñas zonas destinadas a cultivos.

El comportamiento de la expansión urbana a nivel municipal y de acuerdo con la Tabla 29, para el primer periodo de análisis de 2020-2025, el municipio con mayor tasa de crecimiento en el uso de suelo clasificado como superficie construida es Rayón con 13.1%, seguido por Chapultepec con 10.8% y Otzolotepec con 10.4%; observando que estos no tienen vecindad entre sí, ya que dos de ellos se localizan al sur de la ZMT y otro al norte.

Por otro lado, aquellos que presentan un menor ritmo de crecimiento le corresponde a San Mateo Atenco con 0.4%, Ocoyoacac con 1.5%, y Metepec con 2.3%. Se distingue que los dos municipios con menor ritmo de crecimiento son vecinos entre sí, además, de ser conurbados al municipio central de la ZMT.

Tabla 29. Crecimiento de la superficie construida en la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035 (Modelo 2)

Clave municipal	Municipio	Superficie (ha)				Tasa de crecimiento medio anual (%)			
		2020	2025	2030	2035	2020-2025	2025-2030	2030-2035	2020-2035
15005	Almoloya de Juárez	10,142.35	12,846.19	17,285.64	23,449.40	4.8	6.1	6.3	5.7
15018	Calimaya	1,933.45	2,926.52	4,119.96	5,195.35	8.6	7.1	4.7	6.8
15027	Chapultepec	430.59	720.63	922.88	1,078.19	10.8	5.1	3.2	6.3
15051	Lerma	4,280.60	5,629.31	6,775.81	7,692.43	5.6	3.8	2.6	4.0
15054	Metepec	5,080.78	5,689.23	6,104.08	6,329.61	2.3	1.4	0.7	1.5
15055	Mexicaltzingo	467.48	686.97	879.90	1,077.66	8.0	5.1	4.1	5.7
15062	Ocoyoacac	2,034.37	2,188.85	2,268.42	2,417.29	1.5	0.7	1.3	1.2
15067	Otzolotepec	1,133.35	1,861.69	2,253.87	2,416.72	10.4	3.9	1.4	5.2
15072	Rayón	485.63	909.70	1,292.16	1,607.67	13.4	7.3	4.5	8.3
15073	San Antonio la Isla	624.84	936.62	1,329.88	1,707.77	8.4	7.3	5.1	6.9
15076	San Mateo Atenco	1,947.85	1,989.09	1,991.68	1,991.68	0.4	0.0	0.0	0.1
15087	Temoaya	570.40	803.31	1,132.07	1,519.53	7.1	7.1	6.1	6.8
15090	Tenango del Valle	1,422.93	2,003.05	2,659.52	3,282.17	7.1	5.8	4.3	5.7

Clave municipal	Municipio	Superficie (ha)				Tasa de crecimiento medio anual (%)			
		2020	2025	2030	2035	2020-2025	2025-2030	2030-2035	2020-2035
15106	Toluca	21,429.00	25,338.42	27,893.65	29,252.89	3.4	1.9	1.0	2.1
15115	Xonacatlán	545.68	681.20	796.27	817.42	4.5	3.2	0.5	2.7
15118	Zinacantepec	5,874.17	6,806.83	7,911.98	9,412.31	3.0	3.1	3.5	3.2
	Total	58,403.47	72,017.60	85,617.76	99,248.10	4.3	3.5	3.0	3.6

Fuente: elaboración propia.

Durante el periodo de 2025-2030, se observa que aquellos municipios con un mayor ritmo de crecimiento le corresponden a Rayón y San Antonio la Isla con 7.3%, seguidos por Calimaya y Temoaya con 7.1%, y en tercera posición Almoloya de Juárez con 6.1%. Observándose que los dos municipios con mayor ritmo de crecimiento en esta temporalidad son vecinos, así con uno de los que ocupa la segunda posición en ritmo de crecimiento (Calimaya).

Respecto aquellos con un menor ritmo de crecimiento, excluyendo San Mateo Atenco con una tasa de 0% debido a las particularidades del modelo, el de menor crecimiento le corresponde a Ocoyoacac con 0.75, seguido por Metepec con 1.4%, y Toluca con 1.9%. Siendo vecinos Metepec y Ocoyoacac. En estos aún se identifican tanto zonas de cultivo como zonas de conservación.

Para el periodo de 2030-2035, los que tuvieron un mayor ritmo de crecimiento, son: Almoloya de Juárez con 6.3%, Temoaya con 6.1%, y San Antonio la Isla con 5.1%. Siendo vecinos los dos municipios con mayor crecimiento en este periodo, localizados al noroeste de la ZMT. Sobre aquellos con un menor ritmo de crecimiento fueron: Xonacatlán con 0.5%, Metepec con 0.7%, y Toluca con 1%; destacando que a pesar de Toluca ser el municipio central, aún conserva zonas de cultivo como de conservación de recursos naturales.

Por otro lado, el comportamiento global del periodo 2020-2035, los municipios con mayor ritmo de crecimiento le corresponden a Rayón con 8.3% quien para los periodos de 2020-2025 y 2025-2030, también ocupa la primera posición; seguido por San Antonio la Isla con 6.9%, que a su vez para el periodo 2025-2030 ocupa la primera posición; en tercera posición se encuentra Calimaya y Temoaya con 6.8%. Es importante mencionar que, a pesar de ser los municipios de mayor ritmo de crecimiento, aún conservan zonas de cultivos, como de conservación.

En contraste, aquellos con un menor ritmo de crecimiento fueron San Mateo Atenco, presentando una tasa de crecimiento de 0.1%, además de que, conforme al diseño del modelo, ya no cuenta con superficie susceptible a urbanizarse, sin mencionar que solo conserva zonas de pastizales. En segunda posición se encuentra Ocoyoacac con 1.2%, que a pesar de ser una zona de concentración de actividades económicas aún conserva zonas de cultivos como de conservación. En tercera posición se encuentra Metepec con una tasa de 1.5%, en donde se destaca que, a pesar de tener una tasa relativa de urbanización, para el año 2035 se observa que la mayoría de su superficie es urbana, dejando pocas zonas de cultivo, como de conservación de recursos naturales.

Observando las tendencias de expansión urbana generadas durante la temporalidad de análisis, al igual que el modelo anterior, se rebela que la Zona Metropolitana de Toluca demanda suelo para el desarrollo de sus actividades económicas, como para la dotación de equipamiento a sus habitantes. Así como pese a que Toluca es el municipio central, su ritmo de urbanización no es tan acelerado por la presencia de zonas de conservación, que se protegen por las distintas normativas de conservación, así como planteando la hipótesis de que sus demandas de consumo de suelo las satisface de municipios conurbados, esto por los costos del mercado más accesibles que fomentan la expansión urbana.

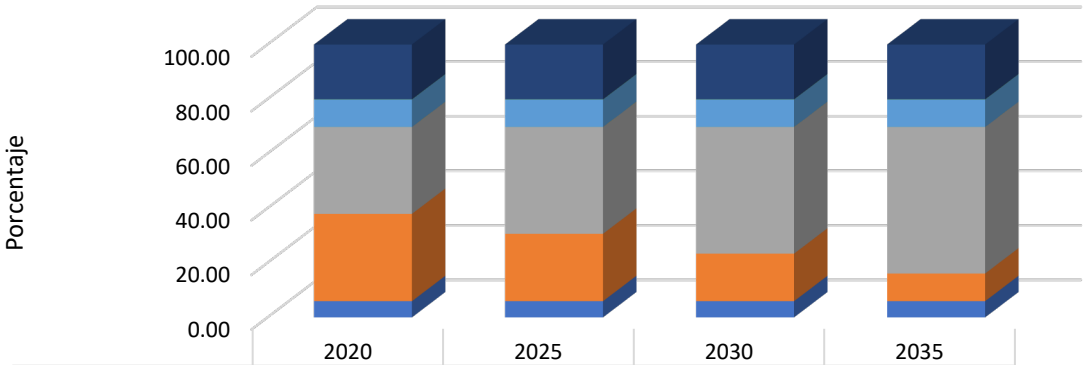
5.3.3. Simulación de la expansión urbana en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 2020-2035 – Subcentros de empleo (Modelo 1)

Para los escenarios obtenidos del modelo desarrollado con el peso de los subcentros de empleo, obteniendo simulaciones de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala, conforme a los distintos usos de suelo identificados y como se observa en la Figura 43 sobre las temporalidades de 2020, 2025, 2030 y 2035. Se distingue que de 2020 a 2035, la superficie construida pasa de representar 31.77% a 53.62% de la superficie total de la ZMT, pasando de 75,949 ha a 128,181 ha, casi duplicando su superficie en un periodo de 15 años.

Se observa que la superficie construida presenta una TCMA de 2020 a 2035 del 3.6%; así como absorbe en su mayoría el uso de suelo destinado a cultivos para su crecimiento con una disminución de 5% para el periodo de 2020-2025, en 2025-2030 de 6.7%, y para 2030-2035 con una disminución de 10.3% de su superficie; seguido del suelo desnudo, que para el periodo de

2030-2035 es donde registran una mayor pérdida de superficie con 7.6%. Así como se destaca que para el periodo de 2020-2025, presenta una tasa de crecimiento mayor, con un valor de 4.2%, seguido por la temporalidad de 2025-2030 con una tasa de 3.5%.

Figura 43. Simulación de crecimiento urbano 2020-2035 (Modelo 1)



	2020	2025	2030	2035
ANP	20.10	20.10	20.10	20.10
Cuerpo de agua	0.07	0.07	0.07	0.07
Pastizal	10.12	10.12	10.12	10.12
Suelo desnudo	0.03	0.03	0.02	0.02
Superficie construida	31.77	39.06	46.34	53.62
Cultivos	31.96	24.68	17.40	10.13
Bosque	5.94	5.94	5.94	5.94

Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 1.

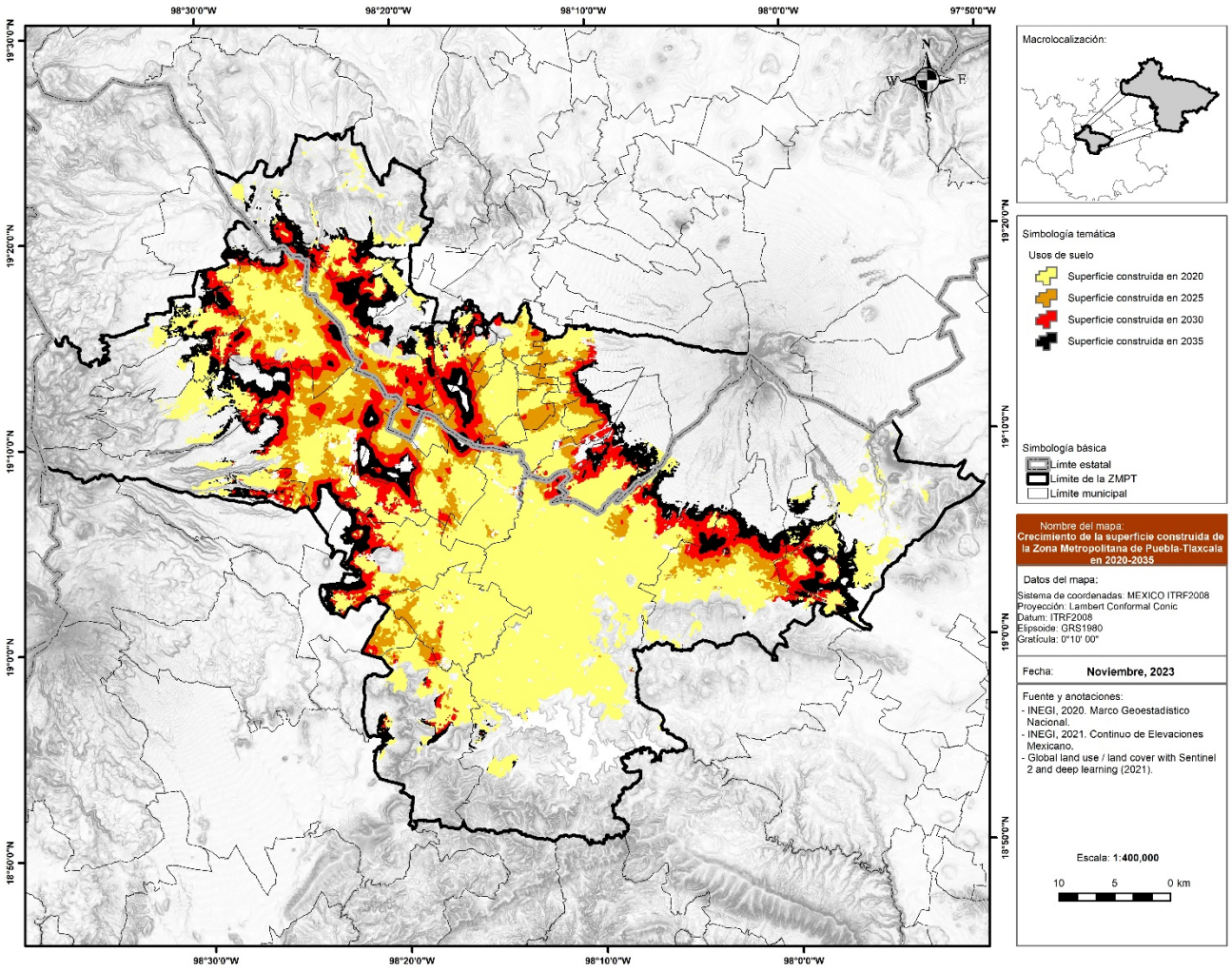
Sobre la generación de nuevos asentamientos sobre al ZMPT, es importante mencionar que su dinámica es distinta a la ZMT, ya que se encuentra conformada por mayor número de municipios, así como su extensión territorial abarca dos entidades federativas. En donde el modelo desarrollado para la simulación de la expansión urbana para la temporalidad de 2020-2035 y como se observa en la Figura 44, considerando los subcentros de empleo identificados en 2020. Se observa que el patrón de urbanización se presenta en gran mayoría de los municipios con subcentros de empleo.

La forma de las nuevas urbanizaciones se da tanto de manera radial, expandiendo las zonas urbanas ya consolidadas en 2020; así como de forma de salto de rana, generando pequeños enclaves en diferentes partes de la zona metropolitana. Además, las nuevas formas de urbanización en el periodo de 2025-2035, se dan tanto en la parte noreste, como al noroeste, oeste y suroeste de

la ZMPT. Así como, en este periodo se identifican municipios que en este periodo pasan a ser casi en la totalidad de su superficie a ser urbanos, otros con una tendencia similar, solo dejando espacios que se han restringido como zonas de conservación o por las particularidades de la construcción del modelo.

Por otro lado, se observa zonas que presentan un crecimiento exponencial, ya que en 2020 su extensión territorial era muy pequeña y para el año 2035, pasan a casi cuadruplicar su superficie, este comportamiento se identifica en zonas de Ocoyucan (Puebla), San Gregorio Atzompa (Puebla), San Andrés Cholula (Puebla), San Pedro Cholula (Puebla), Coronango (Puebla), Huejotzingo (Puebla), Chiautzingo (Puebla), San Felipe Teotlalcingo (Puebla), San Salvador el Verde (Puebla), San Martín Texmelucan (Puebla), Ixtacuixtla de Mariano Matamoros (Tlaxcala), San Pablo del Monte (Tlaxcala), Zacatelco (Tlaxcala), San Lorenzo Axocomanitla (Tlaxcala).

Figura 44. Nuevas áreas urbanas de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 2020-2035 (Modelo 1)



Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 1.

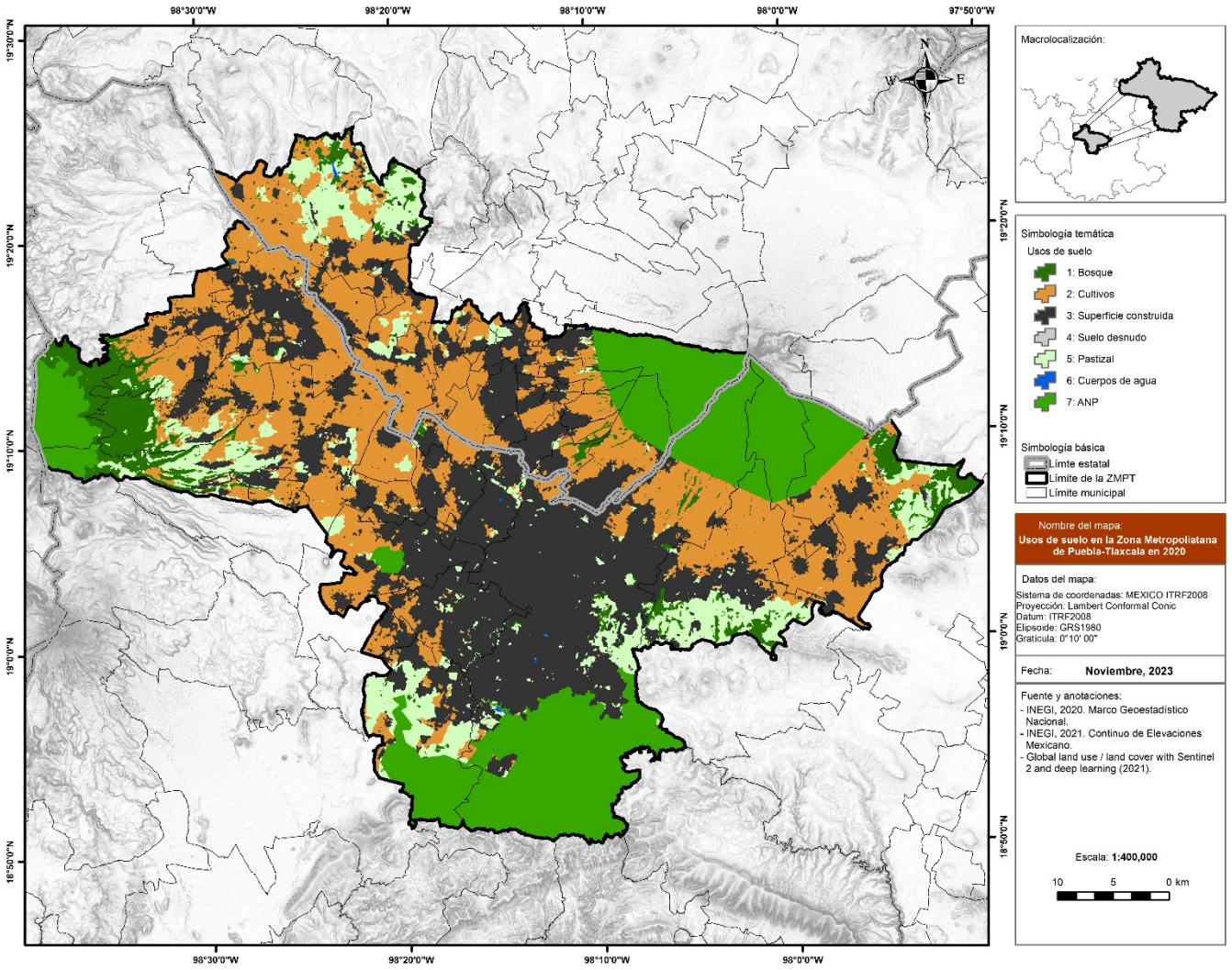
Además de que hay zonas que presentan crecimiento tanto en las temporalidades de 2020 a 2035, como en una sola temporalidad ya sea que presentaron crecimiento en un solo periodo o permanecieron estáticas y después por el dinamismo de zonas vecinas de urbanización empezaron a urbanizarse (Figuras 45, 46, 47, y 48).

Sobre la evolución de la expansión urbana, en algunos municipios por las particularidades del modelo, se presenta en zonas de protección al ambiente, fijadas como zonas de exclusión. No obstante, se ven amenazadas o presionadas a cambiar su naturaleza por zonas urbanas. Así como, se observan municipios que para el año 2035, pasará la mayoría de su superficie a ser urbana, dejando pocas zonas de conservación de recursos naturales.

El comportamiento de la expansión urbana a nivel municipal para la ZMPT y como se observa en la Tabla 30, para el periodo de 2020-2025, el municipio con un mayor ritmo de crecimiento le corresponde a San Lorenzo Axocomanitla (Tlaxcala) con 20.2%, seguido por Santa Catarina Ayometla (Tlaxcala) con 18.44%, y en tercera posición se encuentra Tlaltenango (Puebla) con 17.93%. Estos se encuentran localizados en la parte norte de la ZMPT con excepción del correspondiente al Estado de Puebla.

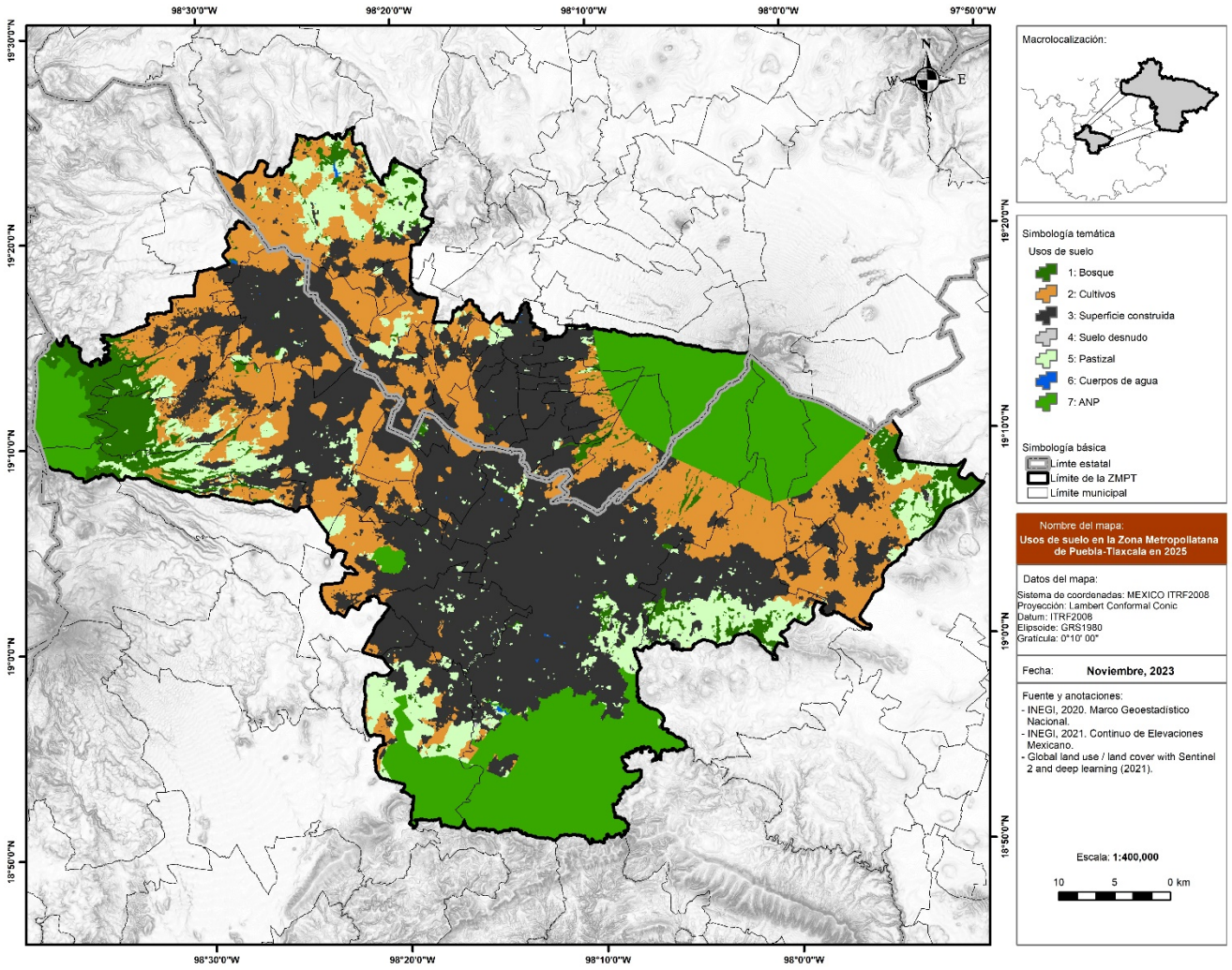
Por otro lado, aquellos con menor ritmo de crecimiento fueron tanto Santa Ana Nopalucan y Santa Apolonia Teacalco con un nulo crecimiento ambos ubicados en Tlaxcala, seguido por San Felipe Teotlalcingo con 0.04% y Chiautzingo con 0.1% ambos localizados en Puebla. Estos ubicados en dirección noroeste de la ZMPT, además de que conservan zonas destinadas a la agricultura, como contar con zonas de restricción.

Figura 45. Expansión urbana en 2020 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 1)



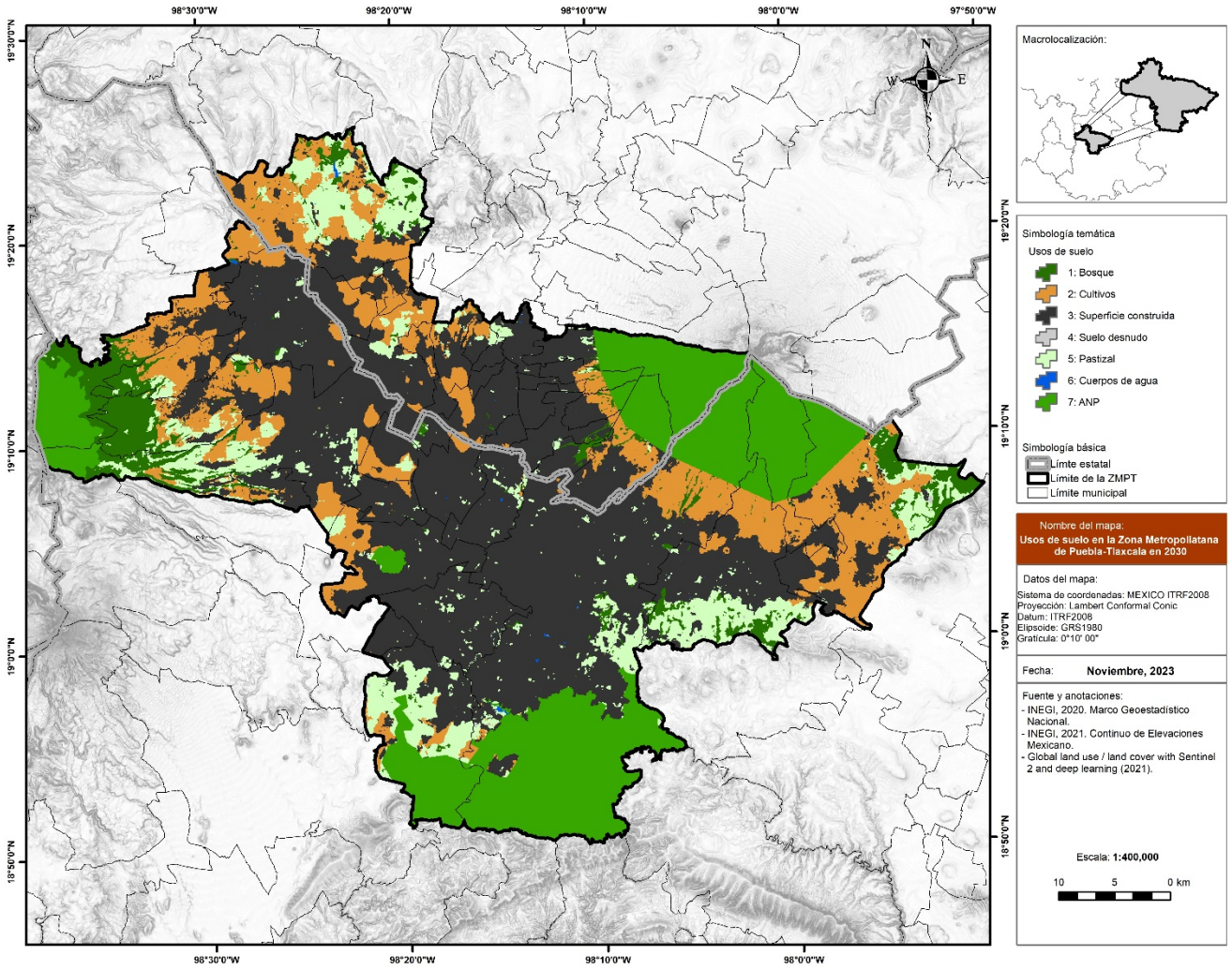
Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 1.

Figura 46. Expansión urbana en 2025 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 1)



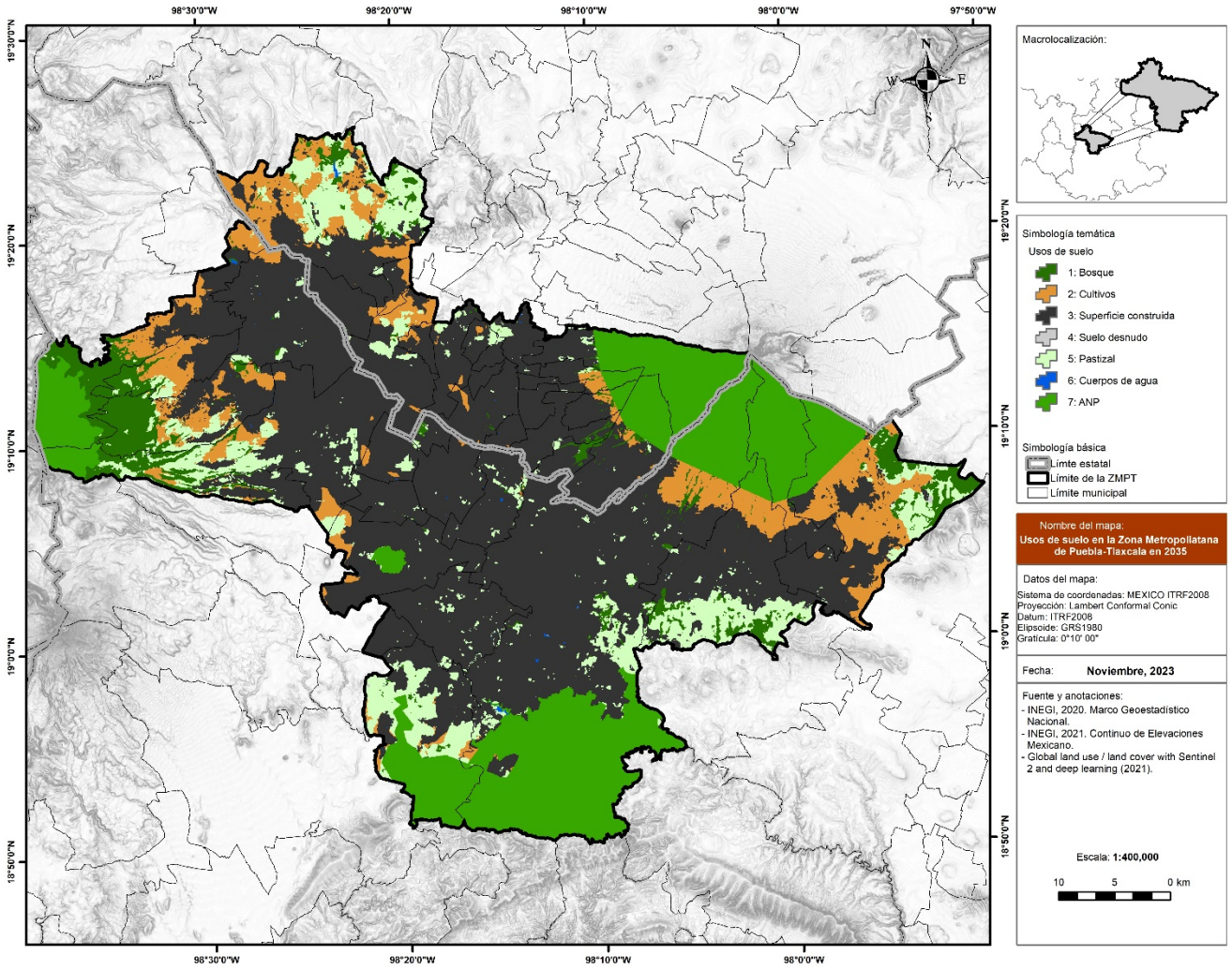
Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 1.

Figura 47. Expansión urbana en 2030 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 1)



Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 1.

Figura 48. Expansión urbana en 2035 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 1)



Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 1.

Tabla 30. Crecimiento de la superficie construida en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 2020-2035 (Modelo 1)

Clave municipal	Municipio	Superficie en ha				Tasa de crecimiento medio anual (%)			
		2020	2025	2030	2035	2020-2025	2025-2030	2030-2035	2020-2035
21001	Acajete	2,857.32	3,072.21	3,778.23	5,397.52	1.46	4.22	7.39	4.33
21015	Amozoc	3,726.73	5,087.87	6,307.70	7,318.23	6.42	4.39	3.02	4.60
21034	Coronango	2,275.54	3,107.56	3,437.76	3,554.04	6.43	2.04	0.67	3.02
21041	Cuautlancingo	3,229.77	3,457.02	3,492.26	3,512.27	1.37	0.20	0.11	0.56
21048	Chiautzingo	1,613.40	1,613.81	1,889.94	2,846.93	0.01	3.21	8.54	3.86
21060	Domingo Arenas	505.77	766.01	1,166.55	1,298.06	8.66	8.78	2.16	6.49
21074	Huejotzingo	3,294.42	6,524.02	8,599.46	9,962.85	14.64	5.68	2.99	7.66
21090	Juan C. Bonilla	1,163.59	1,211.98	1,986.58	2,138.00	0.82	10.39	1.48	4.14
21106	Ocoyucan	2,590.34	2,904.58	3,162.59	3,554.95	2.32	1.72	2.37	2.13
21114	Puebla	24,044.51	24,675.20	25,985.53	27,071.93	0.52	1.04	0.82	0.79
21119	San Andrés Cholula	5,223.82	5,888.24	6,014.10	6,019.48	2.42	0.42	0.02	0.95
21122	San Felipe Teotlalcingo	572.52	573.76	845.29	1,307.02	0.04	8.06	9.11	5.66
21125	San Gregorio Atzompa	593.94	1,046.25	1,133.62	1,143.25	11.99	1.62	0.17	4.46
21132	San Martín Texmelucan	4,006.58	6,322.45	7,852.41	8,400.29	9.55	4.43	1.36	5.06
21136	San Miguel Xoxtla	400.46	569.90	632.00	656.35	7.31	2.09	0.76	3.35
21140	San Pedro Cholula	3,937.15	4,311.09	5,189.50	6,280.30	1.83	3.78	3.89	3.16
21143	San Salvador el Verde	1,371.89	1,500.05	1,889.04	2,853.92	1.80	4.72	8.60	5.00
21163	Tepatlaxco de Hidalgo	529.44	534.12	653.67	1,257.02	0.18	4.12	13.97	5.93
21181	Tlaltenango	318.22	725.81	1,272.05	1,889.37	17.93	11.88	8.23	12.61
29015	Ixtacuixtla de Mariano Matamoros	1,896.28	1,997.23	2,969.28	4,735.68	1.04	8.25	9.79	6.29
29017	Mazatecochco de José María Morelos	326.34	584.44	738.35	922.36	12.36	4.79	4.55	7.17
29019	Tepetitla de Lardizábal	706.97	1,060.62	1,571.85	2,230.81	8.45	8.19	7.25	7.96
29022	Acuamanala de Miguel Hidalgo	279.29	463.58	569.28	660.22	10.67	4.19	3.01	5.90
29023	Natívitas	1,017.90	2,145.48	3,450.00	3,805.74	16.08	9.97	1.98	9.19
29025	San Pablo del Monte	1,544.32	1,587.64	2,420.80	3,524.74	0.55	8.80	7.80	5.66
29027	Tenancingo	479.45	772.72	921.89	965.32	10.02	3.59	0.93	4.78
29028	Teolocholco	827.59	1,227.42	1,331.21	1,370.02	8.20	1.64	0.58	3.42
29029	Tepeyanco	780.03	1,310.33	1,405.76	1,416.17	10.93	1.42	0.15	4.06

Clave municipal	Municipio	Superficie en ha				Tasa de crecimiento medio anual (%)			
		2020	2025	2030	2035	2020-2025	2025-2030	2030-2035	2020-2035
29032	Tetlatlahuca	728.81	987.39	1,632.38	2,317.09	6.26	10.58	7.26	8.02
29041	Papalotla de Xicohténcatl	1,349.32	1,925.39	2,110.35	2,143.83	7.37	1.85	0.32	3.13
29042	Xicohtzinco	492.73	617.24	663.10	690.06	4.61	1.44	0.80	2.27
29044	Zacatelco	1,375.77	1,833.74	2,305.55	2,741.18	5.92	4.69	3.52	4.70
29051	San Jerónimo Zacualpan	200.16	290.41	409.80	619.43	7.73	7.13	8.61	7.82
29053	San Juan Huactzinco	290.99	386.28	421.80	421.80	5.83	1.77	0.00	2.51
29054	San Lorenzo Axocomanitla	136.11	341.45	439.40	449.34	20.20	5.17	0.45	8.29
29056	Santa Ana Nopalucan	344.31	344.31	351.20	513.75	0.00	0.40	7.90	2.70
29057	Santa Apolonia Teacalco	198.24	198.24	295.22	656.18	0.00	8.29	17.32	8.31
29058	Santa Catarina Ayometla	422.44	984.51	1,007.48	1,007.48	18.44	0.46	0.00	5.97
29059	Santa Cruz Quilehtla	284.26	412.76	464.05	516.28	7.74	2.37	2.16	4.06
	Total	75,936.70	93,363.11	110,767.05	128,169.25	4.22	3.48	2.96	3.55

Fuente: elaboración propia.

Para el periodo de 2025-2030, se distingue que los municipios con mayor ritmo de crecimiento le corresponden a Tlaltenango con 11.8% (Puebla), seguido por Tetlatlahuca (Tlaxcala) con 10.58%, y Juan C. Bonilla (Puebla) con 10.39%. Además, se observa que aquellos que ocupan tanto la primera como la tercera posición son vecinos conforme a su localización geográfica.

Los municipios con un menor ritmo de crecimiento de la zona urbana en este periodo, entre los que sobresale Cuautlancingo (Puebla) con 0.2%, Santa Ana Nopalucan (Tlaxcala) con 0.4%, y San Andrés Cholula (Puebla) con 0.42%. Para el caso de San Andrés Cholula, presenta ya una pequeña porción de terrenos destinados a la agricultura, siendo estos susceptibles a urbanizarse, resaltando que en un corto periodo de tiempo su tendencia observable es a urbanizar gran parte de su superficie.

Durante el periodo de 2030-2035, el municipio con mayor ritmo de crecimiento es Santa Apolonia Teacalco (Tlaxcala) con 17.32%, seguido por Tepatlaxco de Hidalgo (Puebla) con

13.97%, e Ixtacuixtla de Mariano Matamoros (Tlaxcala) con 9.79%. Las zonas con mayor crecimiento de la zona urbana aún conservan zonas destinadas a la agricultura, como zonas de conservación (restringidas en la construcción de modelo). Como la forma de urbanización se da de manera tal, que consolida a la zona urbana existente en 2020 y con un patrón no tan disperso.

Las zonas con un menor ritmo de crecimiento, le corresponde a San Juan Huactzinco y Santa Catarina Ayometla con 0%, ambos localizados en Tlaxcala; este comportamiento se deriva a que la mayoría de su superficie en periodos anteriores se urbanizo, solo dejando zonas en donde se restringe su crecimiento. En segunda posición con menor ritmo de crecimiento le corresponde a San Andrés Cholula (Puebla) con 0.02%, con el mismo comportamiento con aquellos municipios con una tasa de crecimiento igual a 0%. En tercera posición se ubica Cuautlancingo (Puebla) con 0.11%, quien aún conserva una pequeña zona susceptible a urbanizarse.

Respecto al comportamiento global, del periodo 2020-2035 el municipio con mayor ritmo de crecimiento es Tlaltenango (Puebla) con 12.61%, quien en los periodos de análisis ocupa las primeras posiciones con un mayor ritmo de crecimiento de la zona urbana; seguido por Natívitas con 9.19% y Santa Apolonia Teacalco con 8.31%, ambos localizados en Tlaxcala. Se encuentran localizados al noroeste de la ZMPT, así como aún cuentan con zonas de potencial crecimiento (áreas de cultivos), como de conservación; sumado a que son vecinas entre sí, por lo que es de vital importancia el cuidado de estas zonas para una conservación de los recursos naturales.

En sentido contrario, aquellos con un menor ritmo de crecimiento fue Cuautlancingo con 0.56%, seguido por Puebla con 0.79%, y San Andrés Cholula con 0.95%; todos ellos localizados en el Estado de Puebla. Estos municipios se encuentran próximos entre sí, así como colindan con Puebla. Sobre el comportamiento de su ritmo de crecimiento es explicado a las particularidades del modelo, para el caso de Cuautlancingo y San Andrés Cholula ya no cuentan con zonas potencialmente urbanizables, derivado a su tendencia de ocupar la mayoría de su superficie a ser zona urbana. En el caso de Puebla aún presenta zonas potenciales de crecimiento, pero también zonas de restricción, además de que se consolida su zona urbana.

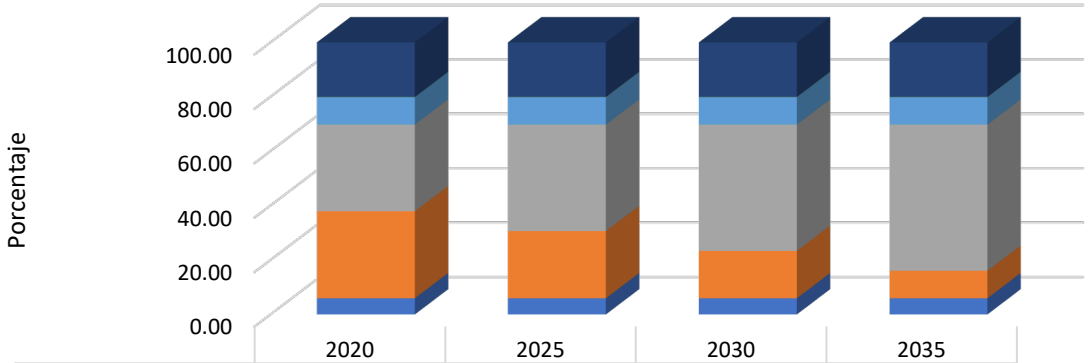
Observando las tendencias de crecimiento de la expansión urbana modeladas, es notorio la presión que sufren las zonas de conservación (Áreas Naturales Protegidas, zonas boscosas y

pastizales). En donde el papel de los subcentros de empleo provoca una urbanización más concentrada en torno a los subcentros de empleo identificados para el año 2020. Es notorio reforzar las normativas en materia de conservación de recursos naturales, ya que la propia dinámica de la ZMPT demanda suelo, para la dotación de sus funciones económicas, que ve por encima del beneficio ambiental.

5.3.4. Simulación de la expansión urbana en la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 2020-2035 (Sin subcentros de empleo o Modelo 2)

El comportamiento obtenido de la simulación de la expansión urbana, mediante la construcción del modelo 2, quitando el peso de los subcentros de empleo. Se observa que para el periodo de 2020 a 2035, la superficie construida en 2020 representaba 31.77% pasa a 53.63% de la superficie total de la ZMPT, pasando de 75,949 ha a 128,211 ha mostrado un aumento de 52,263 ha en un tiempo de 15 años. Presentando una TCMA de 2020 a 2035 del 3.6%. Así como la superficie construida absorbe en su mayoría el uso de suelo destinado a cultivos para su crecimiento, seguido de los suelos desnudos, conforme a la disposición del diseño del modelo (Figura 49).

Figura 49. Simulación de crecimiento urbano 2020-2035 (Modelo 2)



	2020	2025	2030	2035
ANP	20.10	20.10	20.10	20.10
Cuerpo de agua	0.07	0.07	0.07	0.07
Pastizal	10.12	10.12	10.12	10.12
Suelo desnudo	0.03	0.03	0.03	0.02
Superficie construida	31.77	39.07	46.35	53.63
Cultivos	31.96	24.67	17.39	10.11
Bosque	5.94	5.94	5.94	5.94

Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 2.

Para el análisis de la expansión urbana, para el caso de la cobertura de superficie construida tanto en la temporalidad de inicio del análisis (2020) como de las modeladas (2025, 2030 y 2035) y como se observa en la Figura 50, se distingue un patrón de urbanización más dispersa en comparación a la modelada con los subcentros de empleo, sin embargo, se identifican municipios cuya tendencia es urbanizar gran parte de su superficie, además de urbanización con una configuración de salto de rana.

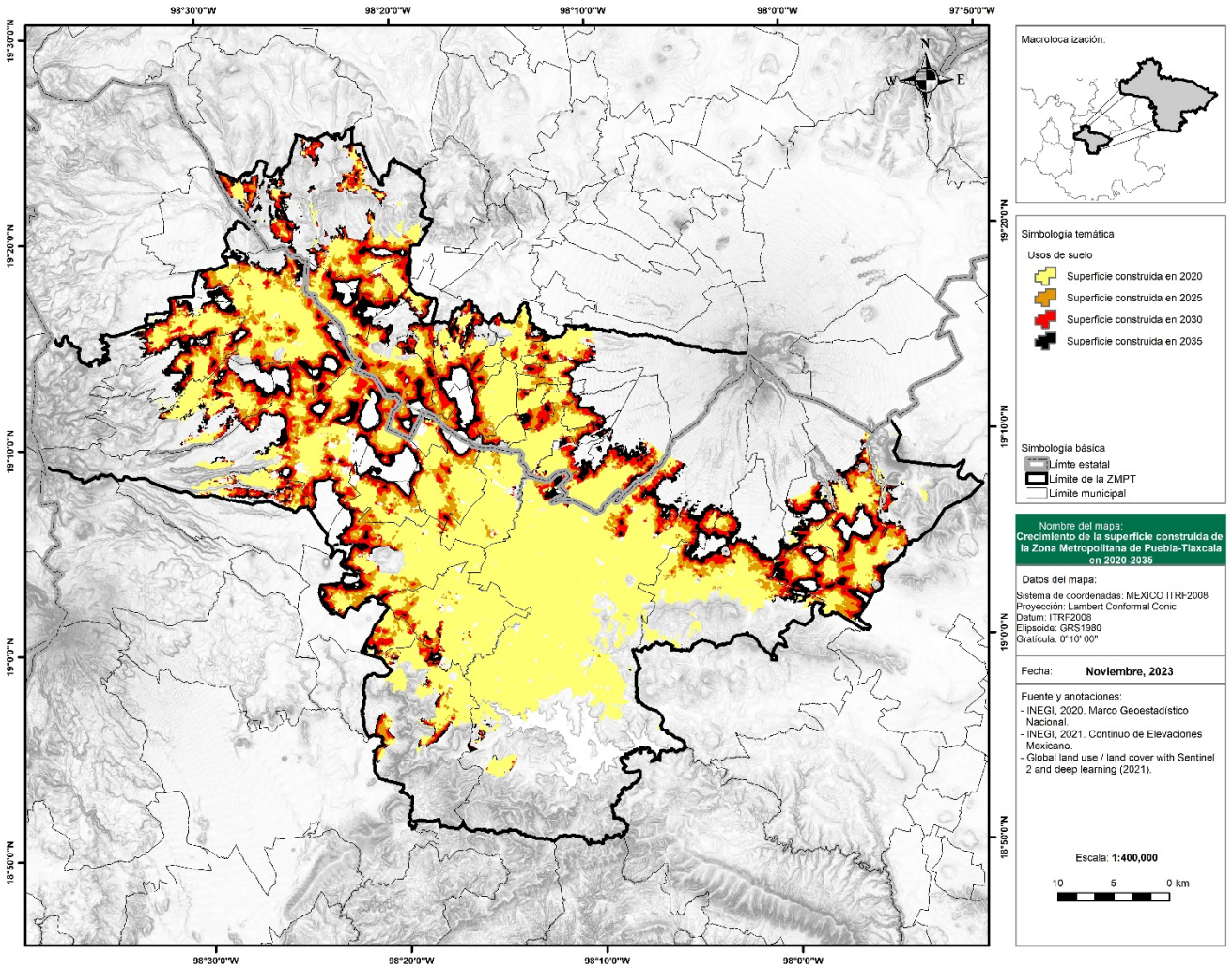
Además, se resalta que, a pesar de la aceleración de la expansión urbana en municipios colindantes al municipio central de la ZMPT, aún conservan en algunos casos pequeñas zonas de cultivos susceptibles a urbanizarse. Así como la formación de nuevos asentamientos humanos identificados para el último periodo de análisis (2035). También se identifica una forma de crecimiento radial, consolidando las zonas urbanas identificadas en 2020.

Otro elemento para destacar es la identifican de pequeñas zonas que se mantuvieron estáticas, no presentaron crecimiento en su superficie, tal caso se localiza en Acajete (Puebla). Así

como en otros municipios limitando su crecimiento por la proximidad a zonas de conservación o su cercanía a zonas de restricción que no permite su urbanización.

Se observa también casos parecidos al Modelo 1, en donde pequeñas zonas tuvieron un crecimiento exponencial, presentes para el caso de la Entidad de Puebla en: Puebla, Ocoyucan, San Andrés Cholula, San Gregorio Atzompa, San Pedro Cholula, Juan C. Bonilla, Tlaltenango, Huejotzingo, Chiautzingo, San Felipe Teotlalcingo, San Martín Texmelucan, San Salvador el Verde, Amozoc y Acajete. En el caso de Tlaxcala, se encuentran: San Pablo del Monte, Papalotla de Xicohténcatl, Santa Catarina Ayometla, Zacatelco, Santa Cruz Quilehtla, San Lorenzo Axocomanitla, Tepeyanco, Natívitas, y Ixtacuixtla de Mariano Matamoros.

Figura 50. Nuevas áreas urbanas de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala 2020-2035 (Modelo 2)



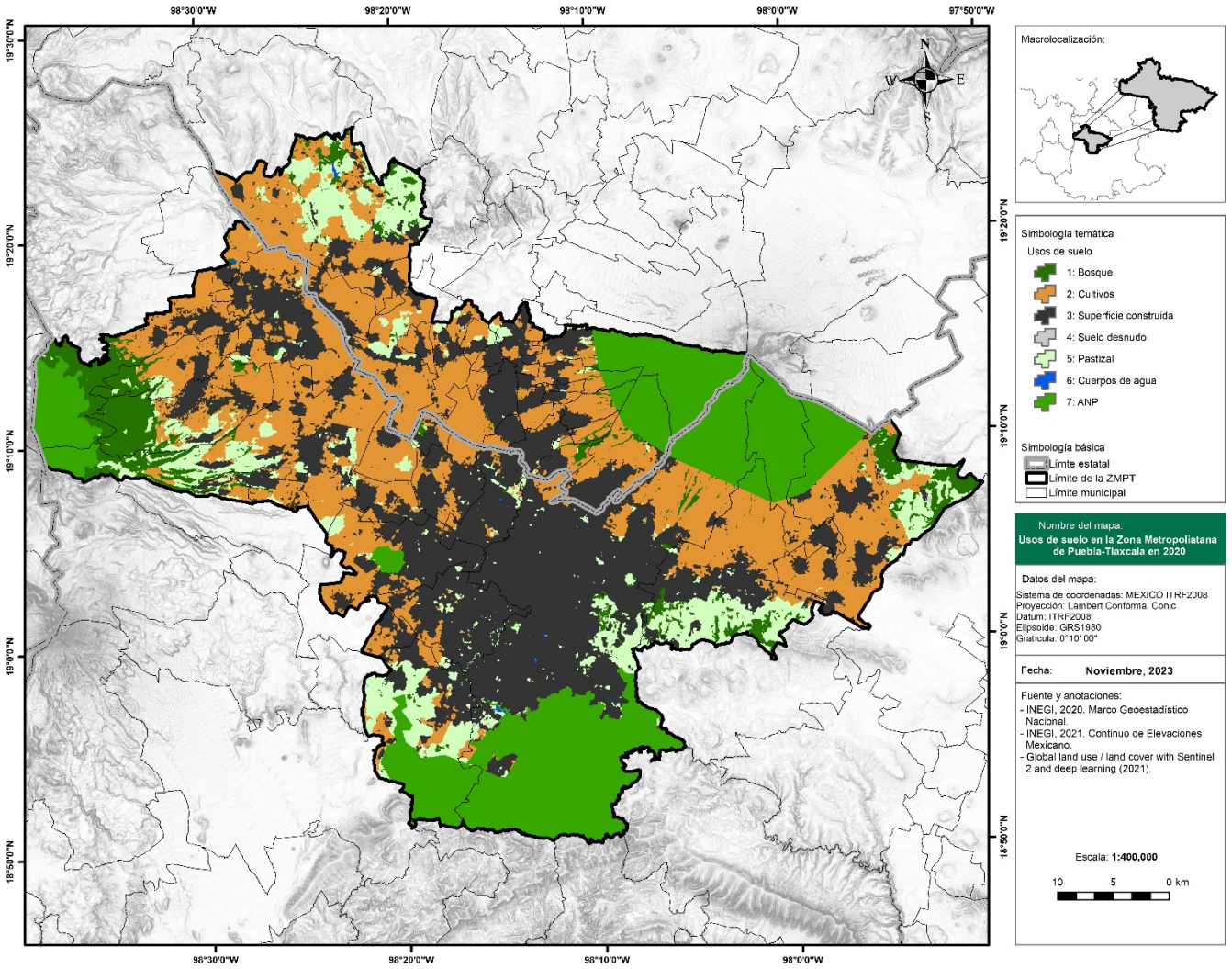
Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 2.

Además, existe un comportamiento parecido al Modelo 1, en donde se identifican zonas que presentan crecimiento tanto en las temporalidades de 2020 a 2035, como en una sola de las temporalidades ya sea que presentaron crecimiento en un solo periodo o permanecieron estáticas y después por el dinamismo de zonas vecinas de urbanización empezaron a urbanizarse (Figuras 51, 52, 53, y 54).

Respecto al comportamiento a nivel municipal de la expansión urbana de la ZMPT y como se observa en la Tabla 31, para el periodo de 2020-2025, los municipios con un mayor ritmo de crecimiento le corresponden a Nativitas con 16.3%, seguido por Santa Apolonia Teacalco con 13%, y San Lorenzo Axocomanitla con 11.4%, estos localizados en el Estado de Tlaxcala; como Tlaltenango con 11.4% en Puebla. Para el caso de la primera posición y segunda localizados en Tlaxcala, sumado a la tercera posición localizado en Puebla forman un agrupamiento por su proximidad geográfica. Por otro lado, en este periodo aún cuentan con zonas susceptibles de urbanizarse.

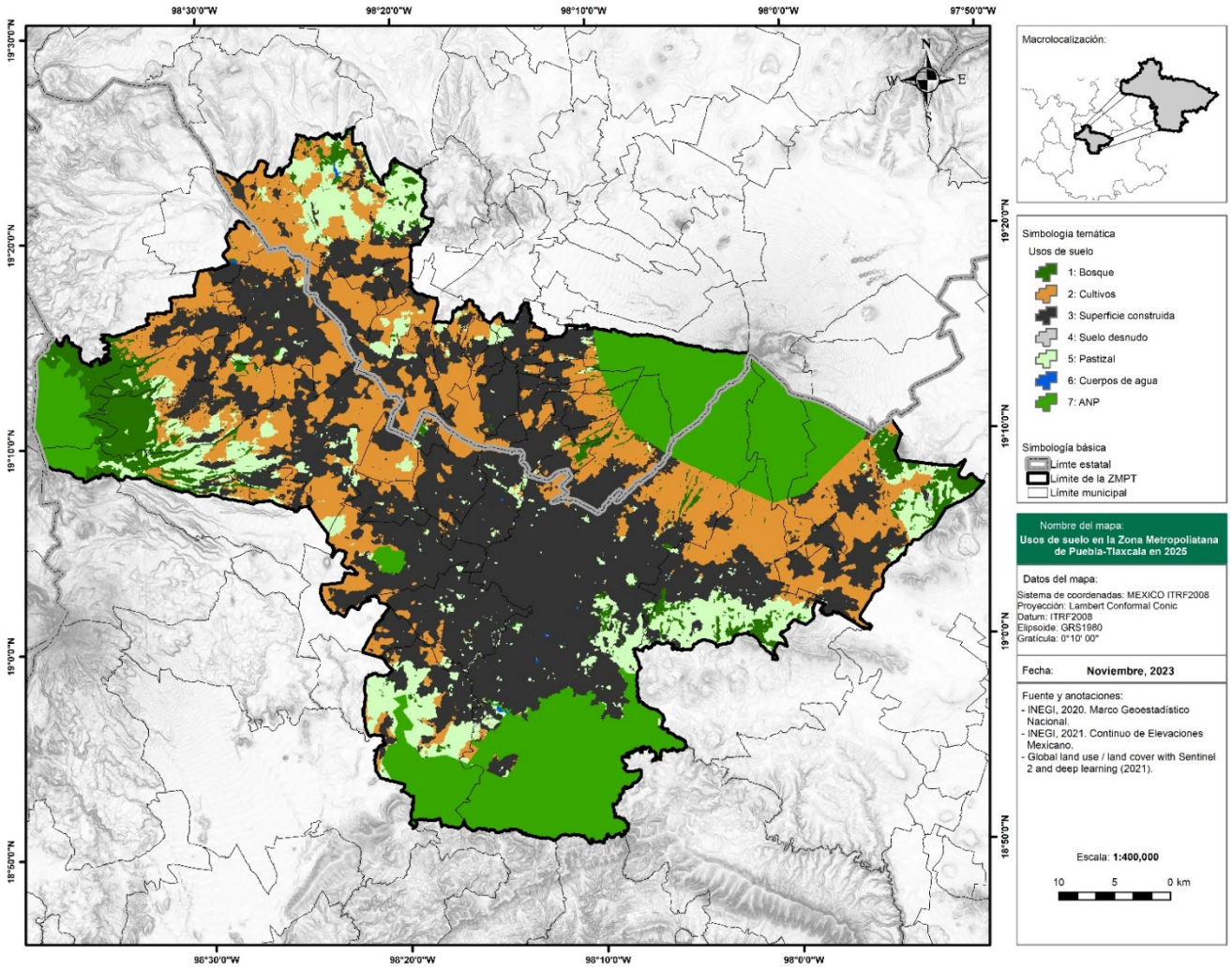
En sentido contrario, aquellos municipios con menor ritmo de crecimiento le corresponden a Puebla con el 0.6%, seguido por Cuautlancingo con 1.2%, ambos localizados en el Estado de Puebla; en tercera posición se encuentra Xicohtzinco (Tlaxcala) con 2.1%. Es importante mencionar que estos forman un agrupamiento por su proximidad geográfica, además de que aún conservan zonas de conservación, que limitan el crecimiento de la zona urbana.

Figura 51. Expansión urbana en 2020 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 2)



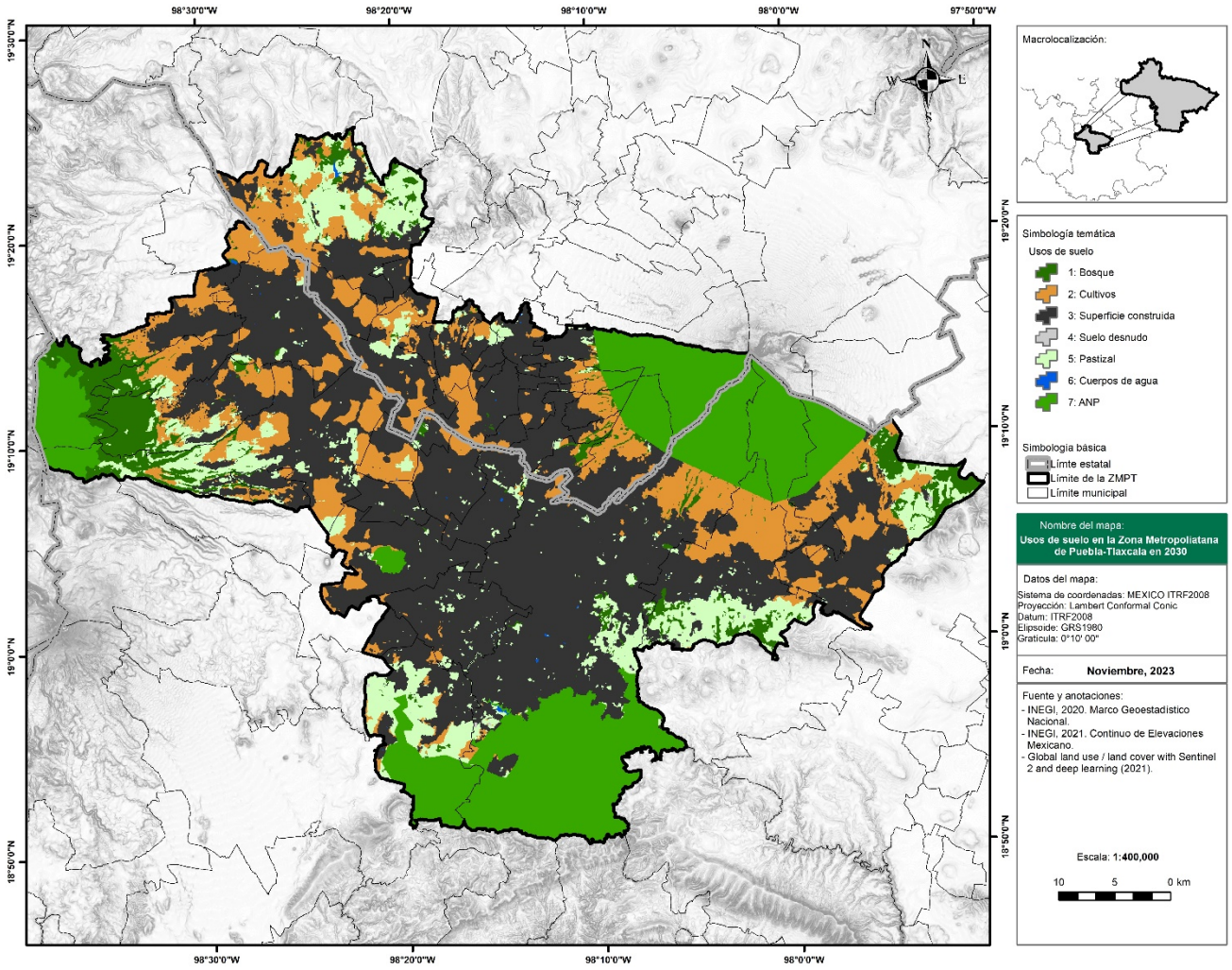
Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 2.

Figura 52. Expansión urbana en 2025 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 2)



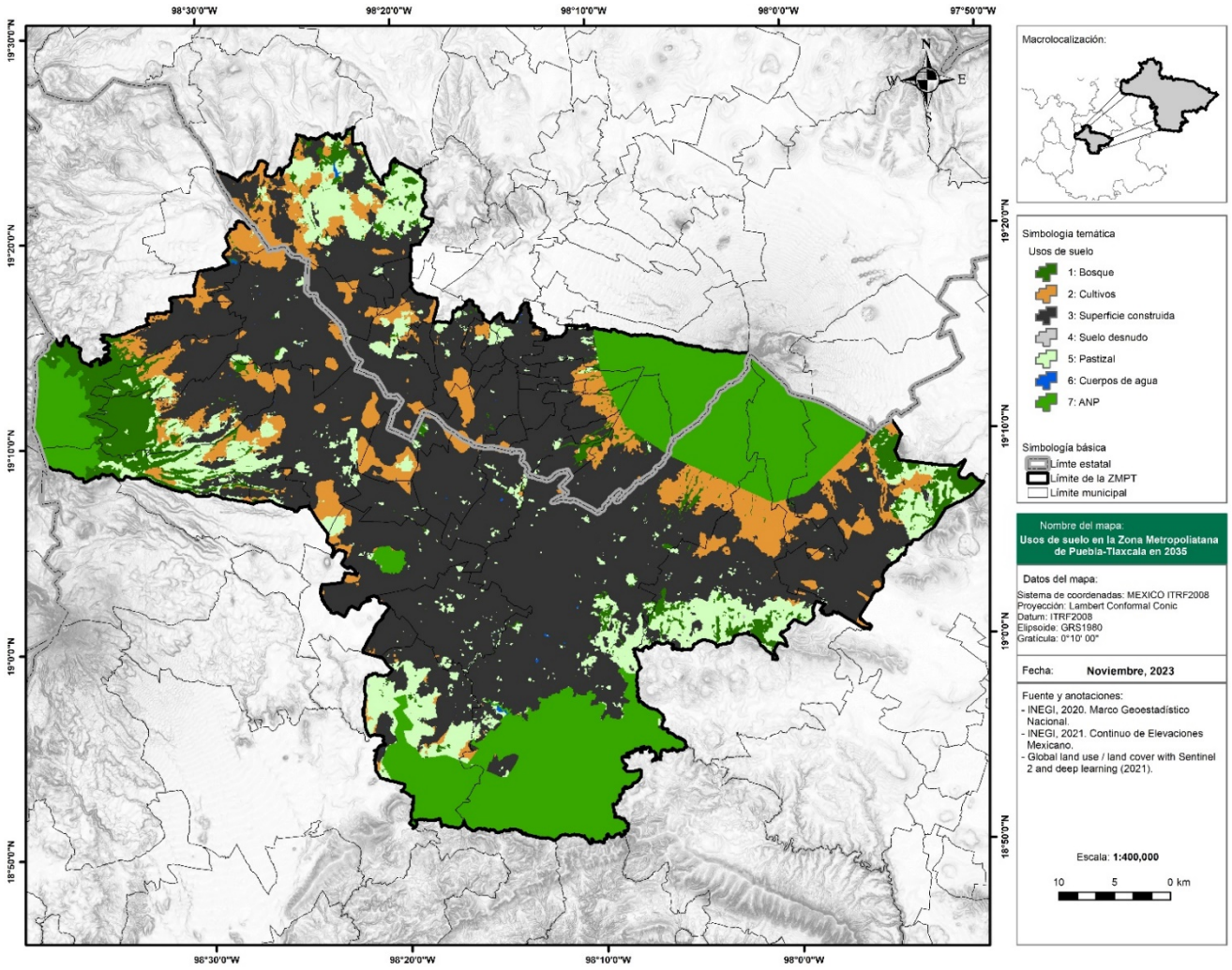
Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 2.

Figura 53. Expansión urbana en 2030 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 2)



Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 2.

Figura 54. Expansión urbana en 2035 de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Modelo 2)



Fuente: elaboración propia a partir del Modelo 2.

Tabla 31. Crecimiento de la superficie construida en la Zona Metropolitana de Toluca 2020-2035 (Modelo 2)

Clave municipal	Municipio	Superficie (ha)				Tasa de crecimiento medio anual (%)			
		2020	2025	2030	2035	2020-2025	2025-2030	2030-2035	2020-2035
21001	Acajete	2,857.32	4,440.37	6313.48	8,259.68	9.2	7.3	5.5	7.3
21015	Amozoc	3,726.73	4,630.95	5286.26	6,266.49	4.4	2.7	3.5	3.5
21034	Coronango	2,275.54	2,952.59	3235.35	3,392.48	5.3	1.8	1.0	2.7
21041	Cuautlancingo	3,229.77	3,424.91	3467.79	3,484.03	1.2	0.2	0.1	0.5
21048	Chiautzingo	1,613.40	2,100.63	2645.66	3,318.49	5.4	4.7	4.6	4.9
21060	Domingo Arenas	505.77	710.90	1013.40	1,219.93	7.0	7.3	3.8	6.0
21074	Huejotzingo	3,294.42	5,198.78	7222.36	8,773.98	9.6	6.8	4.0	6.7
21090	Juan C. Bonilla	1,163.59	1,657.86	1938.29	2,047.48	7.3	3.2	1.1	3.8
21106	Ocoyucan	2,590.34	2,983.99	3335.96	3,619.85	2.9	2.3	1.6	2.3
21114	Puebla	24,044.51	24,767.92	25911.21	27,068.12	0.6	0.9	0.9	0.8
21119	San Andrés Cholula	5,223.82	5,578.32	5873.18	6,006.53	1.3	1.0	0.5	0.9
21122	San Felipe Teotlalcingo	572.52	868.31	1290.55	1,894.54	8.7	8.2	8.0	8.3
21125	San Gregorio Atzompa	593.94	836.35	1030.01	1,115.48	7.1	4.3	1.6	4.3
21132	San Martín Texmelucan	4,006.58	5,632.85	6748.00	7,836.12	7.1	3.7	3.0	4.6
21136	San Miguel Xoxtla	400.46	454.98	532.67	596.08	2.6	3.2	2.3	2.7
21140	San Pedro Cholula	3,937.15	4,884.87	5652.26	6,321.21	4.4	3.0	2.3	3.2
21143	San Salvador el Verde	1,371.89	1,853.68	2409.80	3,222.55	6.2	5.4	6.0	5.9
21163	Tepatlaxco de Hidalgo	529.44	647.21	822.58	1,187.71	4.1	4.9	7.6	5.5
21181	Tlaltenango	318.22	546.17	782.32	1,228.26	11.4	7.5	9.4	9.4
29015	Ixtacuixtla de Mariano Matamoros	1,896.28	3,027.40	4532.24	6,257.79	9.8	8.4	6.7	8.3
29017	Mazatecochco de José María Morelos	326.34	425.32	527.85	635.00	5.4	4.4	3.8	4.5
29019	Tepetitla de Lardizábal	706.97	1,052.62	1410.62	1,998.96	8.3	6.0	7.2	7.2
29022	Acuamanala de Miguel Hidalgo	279.29	357.39	455.95	544.34	5.1	5.0	3.6	4.5
29023	Natívitas	1,017.90	2,162.90	3050.59	3,926.56	16.3	7.1	5.2	9.4
29025	San Pablo del Monte	1,544.32	1,818.15	2390.68	3,061.86	3.3	5.6	5.1	4.7
29027	Tenancingo	479.45	596.94	767.67	903.05	4.5	5.2	3.3	4.3
29028	Teolocholco	827.59	1,046.78	1231.45	1,324.19	4.8	3.3	1.5	3.2
29029	Tepeyanco	780.03	1,048.41	1282.24	1,378.13	6.1	4.1	1.5	3.9

Clave municipal	Municipio	Superficie (ha)				Tasa de crecimiento medio anual (%)			
		2020	2025	2030	2035	2020-2025	2025-2030	2030-2035	2020-2035
29032	Tetlatlahuca	728.81	1,085.48	1609.08	2,059.20	8.3	8.2	5.1	7.2
29041	Papalotla de Xicohténcatl	1,349.32	1,638.26	1854.39	2,043.28	4.0	2.5	2.0	2.8
29042	Xicohtzinco	492.73	547.27	597.77	638.07	2.1	1.8	1.3	1.7
29044	Zacatelco	1,375.77	1,703.34	1980.52	2,296.15	4.4	3.1	3.0	3.5
29051	San Jerónimo Zacualpan	200.16	284.86	381.27	511.61	7.3	6.0	6.1	6.5
29053	San Juan Huactzinco	290.99	333.60	393.49	421.80	2.8	3.4	1.4	2.5
29054	San Lorenzo Axocomanitla	136.11	233.07	328.71	414.74	11.4	7.1	4.8	7.7
29056	Santa Ana Nopalucan	344.31	467.79	642.70	776.33	6.3	6.6	3.9	5.6
29057	Santa Apolonia Teacalco	198.24	364.48	554.27	713.10	13.0	8.7	5.2	8.9
29058	Santa Catarina Ayometla	422.44	628.03	877.30	1,007.01	8.3	6.9	2.8	6.0
29059	Santa Cruz Quilehtla	284.26	388.05	412.46	429.01	6.4	1.2	0.8	2.8
	Total	75,936.70	93,381.77	110,792.36	128,199.17	4.2	3.5	3.0	3.6

Fuente: elaboración propia.

Para el caso del periodo de 2025-2035, aquellos municipios con un mayor ritmo de crecimiento, le corresponde a Santa Apolonia Teacalco con 8.7%, seguido por Ixtacuixtla de Mariano Matamoros con 8.4%, ambos localizados en Tlaxcala; la tercera posición la ocupan tanto Tetlatlahuca (Tlaxcala) y San Felipe Teotlalcingo (Puebla) ambos con 8.2%. Formando un pequeño agrupamiento por su vecindad la primera y tercera posición localizados en Tlaxcala.

En contaste, aquellos identificados con un menor ritmo de crecimiento de la zona urbana es Cuautlancingo con 0.2%, Puebla con 0.9%, y San Andrés Cholula con 1%; estos localizados en el Estado de Puebla. Destacando que estos forman un pequeño agrupamiento por su localización geográficas, además de que, para el caso de Cuautlancingo y San Andrés Cholula, cuentan con muy pocas zonas susceptibles a urbanizarse.

Para el periodo de 2030-2035, aquellos municipios con un mayor ritmo de crecimiento identificados en prima posición es Tlaltenango con 9.4%, seguido por San Felipe Teotlalcingo con 8%, y en tercera posición se encuentra Tepatlaxco de Hidalgo con 7.6%; estos localizados en el

Estado de Puebla. Estos a pesar los de mayor ritmo de crecimiento de su expansión urbana, aún cuentan con superficie susceptible a urbanizarse, así como áreas de conservación o restricción.

Respecto aquellos con un menor ritmo de crecimiento de la zona urbana, destaca Cuautlancingo con 0.1%, seguido por San Andrés Cholula con 0.5%, ambos localizados en el Estado de Puebla; en tercera posición le corresponde a Santa Cruz Quilehtla (Tlaxcala) con 0.8%. Estos a pesar de contar con un menor ritmo de crecimiento, presentan casi la totalidad de su superficie urbana, cuentan con muy pequeñas zonas susceptibles a urbanizarse.

En el comportamiento global, correspondiente al periodo 2020-2035, los municipios con un mayor ritmo le corresponden a Tlaltenango (Puebla) y Natívitas (Tlaxcala) con una tasa de 9.4%; en segunda posición se encuentra Santa Apolonia Teacalco (Tlaxcala) con 8.9%; en tercera posición se encuentra Ixtacuixtla de Mariano Matamoros (Tlaxcala) y San Felipe Teotlalcingo (Puebla) ambos con 8.3%. Destacando la formación de un agrupamiento de estos en dirección norte conformado por Tlaltenango, Natívitas, Santa Apolonia Teacalco y Mariano Matamoros.

Aquellos municipios con un menor ritmo de crecimiento le corresponden a Cuautlancingo con 0.5%, seguido por Puebla con 0.8%, y San Andrés Cholula con 0.9%. Estos forman un agrupamiento tomando como base su localización geográfica. Cuyo comportamiento es similar al realizado en el Modelo 1, solo con un ligero ritmo mayor de urbanización.

Se observa en las distintas tendencias de urbanización en consecuencia de la expansión urbana modeladas, la propia dinámica de la ZMPT hace presión en las distintas zonas de conservación, en donde por sus distintas actividades demanda el recurso del suelo, en donde sin las restricciones particulares del modelo la expansión urbana presenta una tendencia de conversión de las zonas agrícolas como de zonas de conservación.

Conclusiones

Conclusiones

El análisis de la expansión urbana y su sostenibilidad tomando como base los acuerdos macro en la búsqueda de un desarrollo sostenible en la Megalópolis del Centro de México, sumado al análisis de la dinámica de dos zonas metropolitanas de importancia nacional como regional. Tal es el caso, de la Zona Metropolitana de Toluca y Puebla-Tlaxcala. Además, cambiando el punto focal de análisis de la Megalópolis, cuyos análisis se centra en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Por lo que, es necesario y pertinente, tener conocimiento de la dinámica metropolitana, considerando el análisis de la expansión urbana y sus repercusiones ambientales, abordadas desde la sostenibilidad con su carácter dimensional. Sumado a ello, la generación de escenarios de crecimiento de la expansión mediante un conjunto de factores que determinan su comportamiento usando distintas técnicas para su análisis, usando la modelación mediante autómatas celulares y análisis multicriterio.

Con base tanto del marco teórico y conceptual (Capítulo I), empírico (Capítulo II), de los distintos instrumentos jurídico-normativos (Capítulo III), y del apartado metodológico (Capítulo IV); se sustenta que esta dinámica es un tema de vital importancia tanto a nivel internacional y nacional. Tanto el análisis de la expansión urbana, su sostenibilidad y la construcción de escenarios de crecimiento futuro de la expansión urbana; sugiere sus propios métodos y procedimientos para su análisis, por lo que, derivado de ello, la propuesta metodológica considera tres dimensiones de análisis derivado del objetivo principal de la investigación, considerando los siguientes aspectos: 1) Sostenibilidad urbana, 2) Evolución de los subcentros de empleo como un factor predominante en la configuración territorial, y 3) Modelación del crecimiento urbano.

Estos en su conjunto permiten el análisis de la expansión urbana y su sostenibilidad en las zonas de estudio establecidas. Por lo tanto, con el propósito de precisar los aportes de la investigación y siguiendo la estructura analítica desarrollada en los capítulos anteriores, la presente sección se divide en tres apartados. El primero discute los resultados y hallazgos referentes a la sostenibilidad urbana, además del papel de los subcentros de empleo como fuerza motriz del

comportamiento de la expansión urbana, con ello permitiendo la construcción de los distintos escenarios en las zonas de estudio.

El segundo apartado corresponde al análisis de los distintos instrumentos jurídico-normativos en materia de desarrollo y sostenibilidad, como de los acuerdos macro orientados al desarrollo sostenible. Por último, el tercero plante las líneas de investigación que se deben abordar para seguir profundizando el análisis de la expansión urbana y su sostenibilidad, para mitigar sus efectos adversos al medio ambiente; así como establecer sí se cumplieron o no los objetivos planteados en la investigación como la comprobación de la hipótesis.

a. Con relación a las dimensiones de análisis de la investigación

El objetivo general de la investigación fue: Analizar los procesos expansión urbana y su sostenibilidad en la Megalópolis del Centro de México, enfocándose en la Zona Metropolitana de Toluca y Puebla-Tlaxcala, mediante análisis espacial e indicadores de sostenibilidad, permitiendo además la construcción de escenarios futuros para observar la tendencia de crecimiento urbano.

Derivado de lo anterior, a continuación, se reflexiona tanto en forma conceptual y empírica el alcance obtenido.

a. 1. Respecto al proceso de Expansión urbana y Sostenibilidad en la Megalópolis del Centro de México

El análisis de la sostenibilidad urbana mediante el enfoque del desarrollo sostenible, considerando su carácter interdisciplinar, así como la relación de la economía, sociedad y el ambiente; sumándose la variable del tiempo derivado a que toda acción humana tiene un impacto en una unidad de tiempo determinada (corto, mediano y largo plazo).

Para ello, tomando los aportes realizados por distintas diciplinas, tales como la economía espacial, la nueva geografía económica, las ciencias ambientales y el urbanismo, por mencionar algunas. Proporcionando distintos marcos analíticos para la comprensión de la sostenibilidad urbana y la forma en la que afecta su comportamiento derivado del proceso de expansión urbana.

Además, sumado el uso de distintos indicadores para su medición como técnicas de estadística espacial y las fuentes de información disponible; complementando con el uso de los Sistemas de Información Geográfica para su análisis en el territorio.

Sobre el marco teórico-conceptual, se encuentra abordado en el primer capítulo, dividido en cuatro ejes: el primero considerando las teorías del análisis de la expansión urbana; el segundo abarca los principios de la organización urbana actual aportando la definición de expansión urbana; el tercero considera el abordaje de la sostenibilidad urbana y su perspectiva multidimensional; el cuarto eje considera las métricas y las formas de simulación de crecimiento urbano mediante el empleo de los autómatas celulares.

Partiendo de lo anterior es necesario tener en claro el concepto de "expansión urbana", como sus elementos para su comprensión, ya que es un fenómeno presente a nivel global derivado de las distintas formas de urbanización en consecuencia de las distintas actividades antropogénicas que demandan el consumo de suelo y recursos naturales. Siendo este un problema importante para el desarrollo sostenible por sus diversas implicaciones tanto económicas, ambientales y sociales.

Para el caso de nuestro país en las 32 entidades que lo conforman, se identifican procesos metropolitanos ya sea la conformación o consolidación de zonas metropolitanas, zonas conurbadas o metrópolis municipales; entre otro tipo de estructura territorial. Cuyo fundamento de explicación se usa tanto las teorías de localización como de interacción espacial, para la comprensión de la organización espacial del territorio.

Además, se resalta el papel que juega la concentración de las actividades y el empleo, como un agente modelador del proceso de expansión urbana (factor de aceleración o contención) respecto a la forma en la que se da el crecimiento de la zona urbana. Sumándose a los principios de la organización urbana presentes en el territorio o en este caso en las zonas metropolitanas de análisis.

En donde conforme a los cinco principios de urbanización descritos por Camagni (2005), ayudan a comprender la forma en donde tanto las actividades y la población se organizan en las ciudades. Dando pauta a la morfología urbana modelada por estos principios cuyo impacto es en

mayor o menor medida conforme a las características intrínsecas de cada zona metropolitana, en donde la forma de urbanización ya no respeta límite político-administrativo, ocasionando un cambio de perspectiva para su análisis y de mayor complejidad.

Otro elemento por resaltar es la construcción de escenarios futuros del proceso de expansión urbana en las zonas de estudio, mediante el empleo de métricas espaciales y modelos urbanos para dar pauta al cumplimiento a una parte del objetivo general de la investigación. Cuyo empleo es relativamente reciente para una mejor comprensión de los fenómenos urbanos. En este caso apoyándose de los modelos de carácter espacial, empleando una combinación de escenarios cualitativos exploratorios (Modelos basados en Autómatas Celulares) y escenarios cualitativos normativos (modelos basados en técnicas multicriterio); usados tanto en ciencias experimentales como en ciencias sociales.

Una vez realizada la discusión teórica y conceptual sobre el eje central de la investigación, del proceso de expansión urbana y sostenibilidad, sumando el factor del tiempo permitiendo la creación de simulaciones urbanas, ayuda a comprender los efectos negativos de la expansión urbana sobre el territorio. Por lo que en la investigación se analizan tres componentes fundamentales: 1. La sostenibilidad urbana; 2. Subcentros de empleo e intercambios de la población; 3. Simulación de escenarios de crecimiento de la zona urbana. Con ello, proporciona una visión más amplia de los impactos de la expansión urbana y el papel que desempeñan las distintas políticas en materia de gestión del territorio, como una forma de explicación de la configuración actual de la forma urbana y los patrones de urbanización.

a. 2. Respecto a estudios previos para medir la expansión urbana (creación de escenarios futuros) y su sostenibilidad

Sobre los distintos estudios que proporcionan metodologías que ofrecen formas de medir el proceso de expansión urbana y sostenibilidad. Se dividieron en dos vertientes, en la primera se consideran aquellos que analizan el crecimiento de la zona urbana, la expansión urbana y la creación de simulaciones de escenarios futuros del crecimiento de la zona urbana. En la segunda vertiente se toma en consideración el análisis de la sostenibilidad urbana y sus distintas formas de análisis, tomando como base las dinámicas urbanas presentes en el territorio.

La primera vertiente las formas de analizar la expansión urbana de acuerdo con los estudios analizados se agruparon en las siguientes categorías: monitoreo de la expansión urbana, fundamentos teóricos y técnicos, y modelos de crecimiento o construcción de escenarios futuros. Mismos que proporcionaron fundamentos clave para el análisis de la expansión urbana y la creación de escenarios futuros, cuyos aportes se establecen en la construcción de la metodología de los apartados 4.2 y 4.3.

En la segunda vertiente, se toman en consideración estudios orientados en la sostenibilidad urbana y su carácter multidimensional, agrupándolos en las siguientes categorías, conforme a sus aportes: bases conceptuales sobre el análisis de la sostenibilidad o sustentabilidad, construcción de un índice para medir el grado de sostenibilidad urbana, dimensiones del desarrollo sostenible, dimensiones que considera la sostenibilidad, evolución de la sostenibilidad, evaluación de la sostenibilidad, y modelos de sustentabilidad. En donde los trabajos identificados pertenecen a una o más categorías, cuyos aportes ayudaron a la conformación de la metodología en el apartado 4.1.

Tomando en consideración los estudios de las dos vertientes, se toman en consideración las ventajas como desventajas de las distintas metodologías para analizar tanto la expansión urbana y la sostenibilidad, como la creación de escenarios futuros. Se observan algunas similitudes en los procesos de medición, como en las variables de observación y fuentes de información empleadas. En el caso de la primera vertiente se identifican herramientas especializadas para la construcción de modelos de simulación mediante el empleo de software libre como con licencia, además de tener nociones en algunos casos de lenguajes de programación para su funcionamiento. Así como, se identifica el papel de los subcentros de empleo como de la movilidad laboral, como una fuerza que modela la configuración territorial de la forma de urbanización.

Otro elemento por resaltar es que, para la construcción de escenarios futuros, como en el monitoreo de la expansión urbana, se usa información de fuentes secundarias, permitiendo con ello hacer comparaciones en el tiempo, como realizar análisis en diferentes zonas, como a diferentes escalas de análisis. La única dificultad aparente es en el procesamiento de imágenes satelitales con respecto a su resolución espacial, como el software empleado en su tratamiento, además de que requieren del alto consumo de recursos computacionales para su uso.

Sobre la segunda vertiente, tomando en consideración las distintas formas de medir la sostenibilidad, considerando sus dimensiones de análisis observando las diversas metodologías. Una de las de las desventajas observadas es la temporalidad de la información, las variables empleadas como las fuentes de información. Ya que en todos los países existe restricciones en la construcción y compilado de la información, sumado a ello la escala de desagregación de la información.

Por otro lado, el tiempo para la construcción de los insumos destinados al análisis de datos o las variables que la integran para la construcción de uno o más indicadores, derivado que en algunos casos no se cuenta con la información accesible a todo el público, por lo tanto, se utilizan otras fuentes de información o insumos, sumado a procedimientos o mediciones indirectas; permitiendo con ello tomar como base el carácter multidimensional de la sostenibilidad. Permitiendo con ello, adaptarlas y poder medir las distintas dimensiones de análisis.

En consideración las dos vertientes de análisis, para la investigación se toman las tres grandes dimensiones de análisis. En la primera dimensión, se construyó un índice resumen como subíndices que lo integran, empleando uno de los métodos más utilizados para el análisis multidimensional para el año 2020, que es el caso del Método de Análisis de Componentes Principales (ACP), el índice resultante lo denominamos Índice de Sostenibilidad Urbana en Zonas Metropolitanas (ISUZM), mismos que se puede instrumentar en diferentes zonas de estudio.

Para la segunda dimensión, en la identificación de los subcentros de empleo, se utilizó la metodología propuesta por Garrocho y Campos en 2007, utilizando la definición de los subcentros de empleo de tipo de doble umbral. Complementando con el análisis de los patrones de movilidad laboral. Cuyos insumos son de fácil acceso, como la metodología es muy amigable para su empleo en diferentes zonas de estudio. Estableciendo umbrales de empleo y de densidad de este en las zonas de estudio.

En la tercera dimensión y tener una mejor comprensión de la expansión urbana y contando con la información requerida, se realizó la construcción de dos modelos de simulación de la expansión urbana el primero considerando el peso de los subcentros de empleo y el segundo eliminando esta variable. Para ello se empleó la estructura del modelo S.L.E.U.T.H. y el análisis

multicriterio, mediante el uso técnicas de análisis espacial mediante Autómatas Celulares y Sistemas de Información Geográfica. Su ventaja deriva de ser son una herramienta importante para las políticas de gestión del suelo.

a. 3. Con relación a los resultados de la investigación

En relación a las tres dimensiones de análisis, para el análisis del proceso de expansión urbana y su relación con la sostenibilidad en el territorio o en este caso de la Megalópolis del Centro de México, cuyo énfasis se centra en el análisis comparativo de la Zona Metropolitana de Toluca y Puebla-Tlaxcala, permitiendo comprender los factores modeladores de la dinámica de urbanización, como saber los niveles de sostenibilidad que cuenta cada municipio que los conforma en consecuencia de la expansión urbana.

En donde el análisis de la sostenibilidad urbana para el cumplimiento de los distintos acuerdos macro sobre el desarrollo sostenible es de vital importancia para comprender el impacto de los procesos urbanos a nivel mundial, poniendo de manifiesto la relevancia de su estudio. Observando la aplicación del Índice de Sostenibilidad Urbana en Zonas Metropolitanas (ISUZM) para el año 2020, en un primer momento a la Zona Metropolitana de Toluca.

Arrojaron que para la ZMT la mayoría de los municipios cuentan con grado de sostenibilidad urbana Medio. En donde solo dos municipios cuentan con un nivel de sostenibilidad Muy alto correspondiente a Chapultepec y San Antonio la Isla, quienes en términos relativos se encuentran relativamente densamente poblados con 1,110.13 habitantes por km^2 para el primero y el segundo cuenta con 1,269.9 habitantes por km^2. Además de que su comportamiento puede explicarse en relación con los valores obtenidos en cada uno de los indicadores que conforman el índice, como de la información disponible para cada municipio.

Así como presenta una baja significancia de asociación espacial en sus niveles de sostenibilidad urbana en los municipios que lo conforman, derivado a que solo cuatro municipios presentan una significancia espacial entre sus valores de sostenibilidad. Donde es importante elevar los niveles de sostenibilidad de los municipios que conforman la zona metropolitana con relación a su propia dinámica interna.

En relación al municipio con menor nivel de sostenibilidad correspondiente a Almoloya de Juárez, presenta un nivel Muy bajo, en donde las políticas orientadas en materia del manejo de recursos naturales con una visión de desarrollo sostenible deben de reforzarse, para contrarrestar este comportamiento y mejorar sus niveles de sostenibilidad. Además de que Toluca pese a ser el municipio central cuenta con un nivel de sostenibilidad Bajo, indicado también la búsqueda de aumentar sus niveles de sostenibilidad.

Por otro lado, tanto los niveles de sostenibilidad más bajo, es decir los rangos de Muy bajo a Medio, concentran más del 90% de la población, por lo que es de vital importancia el desarrollo tanto de mejores políticas orientadas al desarrollo sostenible, como la mejora de la calidad de la información disponible, para un mejor monitoreo de estos y realizar una evaluación constante, para medir el éxito o fracaso de estas.

En el caso de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala, se observa que la mayoría de sus municipios presentan un índice de sostenibilidad urbana multidimensional Bajo, en donde es importante hacer cambios en diversos aspectos ya sea en la forma de instrumentar sus políticas de conservación de los recursos naturales para aumentar los niveles de su sostenibilidad registrada. Destacando que, en caso contrario de la ZMT, tanto el municipio central como algunos conurbados o con alto dinamismo de interacción correspondientes a Cuautlancingo (mayor sostenibilidad urbana), Puebla, San Pedro Cholula, San Andrés Cholula y San Martín Texmelucan; localizados en la misma entidad, además de que son los que mayor cantidad de población concentran.

Otro aspecto relevante es que los municipios correspondientes a Tlaxcala presentan niveles de alto a Muy bajo de sostenibilidad, en donde también es imprescindible el desarrollo de políticas interestatales con una mejora en el desarrollo sostenible de las zonas metropolitanas con este tipo de dinámicas.

Al igual que la ZMT, la ZMPT sobre la importancia de la auto correlación existente entre los municipios que la conforman, en este caso se observa una autocorrelación espacial baja. Ya que el l Índice de Autocorrelación Global de Morán que fue de 0.109. Reflejando pocos valores superiores o inferiores a la media de la zona metropolitana, destacando pocos agrupamientos con valores similares.

En relación las fuentes de información utilizadas para la construcción de índice, la gran mayoría de la información es de reciente creación correspondiente al año 2020, proporcionando una evaluación de la sostenibilidad urbana relativamente reciente, además de acceso libre construida por las distintas dependencias y entidades centralizadas como no centralizadas del gobierno mexicano, dando pauta a la facilidad de la construcción de cada indicador utilizado.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que una de las debilidades observadas de las distintas propuestas metodológicas en los distintos estudios para la evaluación de la sostenibilidad, es la dificultad de su instrumentación o al no tomarse en cuenta las posibilidades técnicas y operativas de cada zona en la se desee implementar. Ya que en ambas zonas de estudio conforme a los indicadores que se basó para la evaluación de la sostenibilidad, tan solo 26.15% del total de los indicadores se pudieron construir.

Donde sobre la debilidad de algunos indicadores empleados, es debido a la disponibilidad de información y como se mencionó anteriormente, es si cuenta o no con infraestructura para la dotación de servicios públicos, además de si cuentan o no con finanzas sanas para la implementación de políticas públicas, observados en los siguientes indicadores: Efectividad del alcantarillado (Indicador 6, Dimensión I), Áreas verdes y de recreación (Indicador 3, Dimensión II), Ingresos e impuestos municipales (Indicador 1, Dimensión III) y Calidad del gasto público (Indicador 2, Dimensión III).

Por otro lado, a pesar de los avances en materia de políticas que buscan una mejor sostenibilidad urbana y de carácter multidimensional, sigue siendo presente las disparidades territoriales en ambas zonas de estudio, en las que se encuentra más acentuadas en municipios rurales o con mayores desigualdades, resaltando la necesidad de replantear la orientación de políticas públicas en las tres grandes dimensiones de análisis (económica, social y ambiental), para disminuir las mismas.

Respecto a la construcción del índice resumen como de sus subíndices, se resalta la importancia de las técnicas de análisis espacial como una forma de seguir evaluando los distintos acuerdos marco sobre la sostenibilidad urbana y el cumplimiento de sus objetivos. Además de que son una herramienta eficiente que permite obtener una arista para su análisis y en su caso evaluar

su éxito o fracaso en el desarrollo de políticas orientadas a la sostenibilidad urbana con un carácter multidimensional.

Para el caso del papel de los subcentros de empleo identificados las zonas metropolitanas de estudio, se inició identificándolas. En donde de acuerdo con la bibliografía, juegan un papel importante en los procesos de urbanización. Sobre los resultados obtenidos para su identificación en el apartado 4.2.; conforme a la información disponible y el procedimiento seleccionado, tomo como criterio fundamental los subcentros de empleo de doble umbral, empleado en la construcción de las simulaciones realizadas para el periodo de 2020 a 2025.

Derivado de lo anterior, para el caso de la Zona Metropolitana de Toluca en 2020, se identificaron 22 subcentros de empleo. Localizados en 12 de los 16 municipios que conforman la ZMT, además de que en su mayoría se encuentran al este de la zona metropolitana formando un corredor de subcentros de empleo formado por Toluca, Metepec, San Mateo Atenco, Lerma y Ocoyoacac. En el caso de los municipios en donde no se identifican subcentros de empleo, se debe a que estos aún no cuentan con un peso específico metropolitano, tomando en cuenta los umbrales definidos de concentración de empleo y actividades económicas. De acuerdo con la presencia de la diversidad de actividades económicas, para este año se identificaron 84 subsectores de actividad económica, cuya predominancia son las destinadas a actividades terciarias.

En el caso del subcentro principal conforme a su dinámica histórica localizado en el municipio central de la zona metropolitana, se observa una disminución en términos de superficie del subcentro principal, como una descentralización de actividades económicas derivado de una relocalización ocasionada por sus ventajas competitivas, que explican la formación de estos nuevos subcentros en comparación del año 2010, así como presenta un ritmo de crecimiento más lento en comparación a los otros subcentros. Otro elemento para resaltar es que se identifican subcentros localizados entre dos municipios, cuya dinámica no respeta límites político-administrativos, su comportamiento es similar al proceso de expansión urbana.

La dinámica de movilidad laboral que presentan los municipios en donde se localizan estos subcentros, tomando en consideración que solo se tomaron en cuenta la movilidad en los municipios donde se localizan (12 municipios). Registra un total de 212,588 desplazamientos y

217 interacciones entre municipios que atraen o expulsan población conforme a su demanda de empleo o especialización económica. Siendo Toluca el de mayor el de mayor atracción de población por motivos de trabajo, en contra parte quien más expulsa población es Zinacantepec.

Se destaca que Toluca (municipio central) es el de mayor interacción y flujo de personas, mostrando su integración funcional con los municipios conurbados a este y el resto donde se identifican subcentros de empleo, pese a la pérdida de dinamismo de su subcentro principal. La distancia máxima de los desplazamientos es la que se da entre Almoloya de Juárez y Ocoyoacac con 47.17 kilómetros y 34 desplazamientos. Por el contrario, la distancia mínima registrada es entre la interacción registrada por Metepec y San Mateo Atenco con 5.38 kilómetros y 2,272 desplazamientos. Tomando en cuenta que estas distancias de deben ser consideradas sobre el desarrollo de políticas de movilidad, cuyos efectos repercuten en el territorio.

En el caso de la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala, para 2020 se identificaron 27 subcentros de empleo, en donde cuya dinámica en comparación a 2010, destaca tres subcentros menos, cuyo comportamiento es explicado que algunos subcentros fueron absorbidos por otros subcentros de mayor importancia, así como el surgimiento de nuevos subcentros. La presencia de actividades económicas, se identifican 86 subsectores de actividad económica, cuya predominancia son aquellas actividades destinadas al sector terciario, seguido por aquellas correspondientes a actividades del sector secundario.

En relación a su subcentro de empleo principal localizado en el municipio central, presenta un aumento en su superficie de dinamismo, mostrando tanto proceso de diversificación de actividades económicas a zonas cuya tendencia por otro lado es a especializarse en uno o dos rubros de sectores económicos. El resto de los subcentros identificados se encuentran en 15 de los 39 municipios que conforman la ZMPT, indicado que en estos hay ventajas competitivas en consecuencia de las economías de aglomeración, así como externando disparidades dentro de la zona metropolitana.

Otro elemento por resaltar es que el municipio central, es donde se identifica un mayor dinamismo económico, en consecuencia, de ello se identifican 11 subcentros de empleo, incluyendo el subcentro principal de la zona metropolitana. Además, que al igual que la ZMT, se

identifican subcentros que no respetan límites político-administrativos ya que se identifican entre dos municipios.

Acorde a la movilidad laboral en los municipios en donde se identificaron subcentros de empleo, se registra un total de 171,094 desplazamientos, con un total de 778 interacciones. En donde el municipio central es quien atrae mayor cantidad de población por motivos de trabajo, ocupando la misma posición con relación a la cantidad de población que expulsa por el mismo motivo.

Respecto a la distancia máxima de desplazamiento registrada, es la que se da entre San Martín Texmelucan y Amozoc, con una distancia de 46.13 kilómetros y 21 desplazamientos, encontraste la distancia mínima se da entre Xicohtzingo y Papalotla de Xicohténcatl con una distancia de 2.86 kilómetros y 175 desplazamientos.

En relación con los subcentros principales de empleo en ambas zonas metropolitanas, considerando sus características siguen siendo de mayor importancia a nivel metropolitano. Sin embargo, al mismo tiempo se encuentra en un proceso de expansión territorial, reflejando un proceso en donde no ha respondido con rapidez a su nuevo entorno competitivo y se encuentra en un proceso de decadencia acumulativa (Ramírez et al., 2021); por lo que absorbe nuevas zonas para seguir siendo competitivo en el tiempo.

Observando que los procesos de descentralización urbana dan pauta a la nueva organización de las actividades económicas, reflejándose en nuevas estructuras territoriales inmersas en las distintas urbes tanto en México como en las ciudades de Latinoamérica, por lo que es de vital importancia el uso de distintas técnicas de economía urbana y de análisis espacial para su estudio.

Conforme a la información disponible y a la metodología empleada, la identificación los subcentros de empleo que articulan la estructura espacial de las zonas metropolitanas de análisis, considera los aspectos de: número, localización, tamaño, población, empleo, unidades y diversidad económicas. Además de su relación con los patrones de movilidad intraurbana.

Otro elemento para resaltar es que con los datos obtenidos se puede saber la capacidad de carga interna de las zonas de estudio y tomar en consideración como parteaguas en la sustentabilidad urbana. Sumado a que se puede replicar en el resto de las zonas metropolitanas que se encuentran dentro de la Megalópolis del centro de México. Otro hallazgo relevante es sobre las distancias que recorre la población para llegar a su empleo, es que se debe tomar en cuenta las afectaciones de vivir lejos de su medio de trabajo, provocando repercusiones tanto económicas, de salud y de calidad de vida.

En caso de la tercera dimensión de análisis, en donde se realiza la simulación de la expansión urbana tanto en la Zona Metropolitana de Toluca y Puebla-Tlaxcala, considerando sus múltiples factores que intervienen en su comportamiento, tomando como la estructura del modelo S.L.E.U.T.H., mediante el empleo de autómatas celulares y el análisis multicriterio. Empleando las bondades de los modelos de carácter espaciales, realizando una unión tanto de escenarios cualitativos exploratorios y cualitativos normativos; permitiendo ambos utilizarse de acuerdo con la finalidad de la investigación.

Por otro lado, el proceso de expansión urbana es un problema global importante para el desarrollo sostenible, cuyo comportamiento no respeta limites político-administrativos, ni zonas de conservación como de aprovechamiento de los recursos naturales, provocando problemas de sostenibilidad a mediano, corto y largo plazo. En este contexto, es vital su monitoreo para el control del desarrollo y el fortalecimiento de políticas de gestión del territorio, ya que repercute en temas de riesgos de desastres, salud pública, manejo de recursos naturales y seguridad alimentaria.

Mediante las simulaciones construidas conforme a los dos modelos propuestos para creación de escenarios de expansión urbana, en las zonas de estudio se pudo mostrar algunas tendencias de ocupación espacial del aumento de la zona urbana o superficie construida, permitiendo con ello medir su impacto en zonas que son de vital importancia para el desarrollo y mantenimiento de las cada una de las zonas metropolitanas, como en aquellas destinadas a su conservación y protección definidas en los distintos instrumentos normativos (planes, programas y decretos).

A partir de la información disponible y de la metodología propuesta en el apartado 4.3, se elaboraron modelos que permitieron observas las distintas tendencias de expansión urbana, con ello previniendo y mitigando las dinámicas insostenibles de las zonas metropolitanas, en donde observando los resultados obtenidos del índice de sostenibilidad aplicado, se observa que ambas zonas presentan en su mayoría niveles bajos de sostenibilidad, además de un crecimiento horizontal, aumentado el consumo del recurso suelo.

En el caso de los resultados obtenidos para la Zona Metropolitana de Toluca, tanto para el primer modelo como en el segundo, en un periodo de 15 años casi se duplica la extensión de la zona urbana, en donde conforme a su comportamiento con estas tendencias se observa que sigue demandando suelo y la ocupación de este se ha dado en municipios periféricos al municipio central, en los municipios con mayores tendencias de crecimiento a futuro, su superficie total en unos años será urbana. Por otro lado, en los municipios en dirección noroeste y este del municipio central, se observa que, si no se respetan las zonas de conservación, podría presentar la misma tendencia.

Otro elemento por resaltar es que, en ambos modelos pese a Toluca a ser el municipio central, presenta un ritmo de urbanización no es tan acelerado por la presencia de zonas de conservación, que se protegen por las distintas normativas de conservación, así como planteando la hipótesis de que sus demandas de consumo de suelo las satisface de municipios conurbados, esto por los costos del mercado más accesibles que fomentan la expansión urbana. Además de que en ambos modelos los municipios que tienen a casi urbanizarse por completo son Metepec, San Mateo Atenco, Mexicaltzingo y Chapultepec; en donde debe de focalizarse políticas de sostenibilidad ambiental.

Sobre el papel que desempeñan los subcentros de empleo, en el modelado para la construcción de los distintos escenarios construidos, se observa un patrón de urbanización consolidado y menos disperso, en comparación al quitar esta variable, ya que en los otros modelos se observa un patrón más disperso en algunos municipios que se encuentran alrededor del municipio central. En ambos casos las estructuras conformadas a partir de los escenarios construidos se observa tanto la formación de una estructura policéntrica, como de un corredor regional, definidos por la dinámica observada.

En el caso de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala, para el año 2020 presenta una superficie mayor de zona urbana en comparación a la ZMT. Sin embargo, presenta una tendencia similar en un periodo de 15 años, en ambos modelos su superficie urbana, casi se duplica. Es notorio la presión que sufren las zonas de conservación (Áreas Naturales Protegidas, zonas boscosas y pastizales).

El papel de los subcentros de empleo provoca una urbanización más concentrada en torno a los subcentros de empleo identificados para el año 2020. Es notorio reforzar las normativas en materia de conservación de recursos naturales, ya que la propia dinámica de la ZMPT demanda suelo, para la dotación de sus funciones económicas, que ve por encima del beneficio ambiental.

Otro aspecto relevante es la similitud en algunos comportamientos de los modelos empleados en la zona metropolitana, ya que se e identifican zonas que presentan crecimiento tanto en las en las temporalidades de 2020 a 2035, como en una sola de las temporalidades, derivado de que solo presentaron crecimiento en un solo periodo o permanecieron estáticas y después por el dinamismo de zonas vecinas de urbanización empezaron a urbanizarse. Además de identificarse el mismo tipo de estructuras territoriales observadas en al ZMT.

Las tendencias de urbanización del municipio central, al igual que la ZMT en ambos modelos el municipio de Puebla presenta un ritmo de urbanización no es tan acelerado, cuyo comportamiento es similar al de Toluca. Destacando que en el caso de Puebla tanto al norte y sur, se encuentra rodeado de Áreas Naturales Protegidas, una de orden estatal y otra federal, así como el caso del cuerpo de agua de la Presa de Valsequillo. Por otro lado, también se distinguen municipios que presentan tendencias en ambos modelos de urbanizarse por completo tal es el caso de San Andrés Cholula, Juan C. Bonilla, Coronango, Cuatlancingo, Zacatelco, Xicohtzingo, Santa Catarina Ayometla, y Papalotla de Xicohténcatl en donde debe hacerse énfasis en políticas de sostenibilidad, como la generación de zonas verdes.

Tanto en la construcción de los modelos empleados y su aplicación en las zonas de estudio, es evidente que, por la propia dinámica observada, se hace presión en las distintas zonas de conservación correspondientes a Bosques, Áreas Naturales, y Pastizales. Sin las restricciones

particulares empleadas para controlar su crecimiento, la expansión urbana presenta una tendencia de conversión de las zonas agrícolas como de zonas de conservación.

La expansión urbana presente en las zonas de estudio es un fenómeno que presenta cambios en lo largo del tiempo, cuyo comportamiento invade zonas de conservación y protección, en los modelos construidos hace una fuerte presión para su cambio. Observándose que los cambios más importantes se dan en tierras de cultivos, lo que resalta un punto a tomar en cuenta ya que también son zonas de captación de agua, de recarga de acuíferos o para la producción de alimentos; cuya tendencia puede provocar problemas tanto en la dotación de agua, como en la seguridad alimentaria. Además, es necesario el fortalecimiento de los instrumentos de planeación, para evitar que se presente en la vida real, el comportamiento obtenido a partir de las simulaciones realizadas.

Sobre el empleo de los modelos de simulación, es importante tener claro que son una herramienta importante para las políticas de gestión del suelo. Sumado a que se pueden utilizar para predecir la respuesta de cambios futuros con relación a la conservación de los recursos naturales. No se debe de olvidar que son modelos de simulación y una representación de la realidad, por lo que son sujetos a mejora.

b. Líneas de investigación recomendadas

Sobre la hipótesis planteada, la cual fue: La concentración de las actividades económicas como de los servicios en los distintos centros metropolitanos aunado al crecimiento de la población. Han dado pauta a la configuración de diversas formas urbanas inmersas en el territorio tales como nodos o polos metropolitanos, corredores regionales, policentrismo, redes y regiones urbanas. Sin embargo, no se han podido caracterizar de manera adecuada las relaciones de las estructuras territoriales. Con base en los desplazamientos de la población y la identificación de las distintas formas territoriales, se destacan cambios en la dinámica urbana de la Megalópolis del Centro de México, aunado a un aumento de consumo de suelo, emisiones de gases de efecto invernadero y de las distintas formas de trasporte.

Se puede constatar, que a partir de la metodología propuesta se observan cambios en la dinámica de la Megalópolis del Centro de México, conforme a los resultados obtenidos en las zonas de estudio, además de un crecimiento horizontal de la zona urbana, provocando impactos sobre el medio ambiente y una menor sostenibilidad.

En donde, además, se observa la carencia de estudios sobre el análisis tanto de la expansión urbana y sostenibilidad, en otras zonas metropolitanas, como regiones importantes del país, con ello permite establecer varías líneas de investigación. La primera, es que se encuentra pendiente analizar este mismo objeto de estudio en el resto de las zonas metropolitanas que conforman la Megalópolis y en zonas costeras de México, en donde la propuesta de investigación puede instrumentarse.

La segunda línea de investigación se centra en tanto en la mejora de la metodología, como de los insumos utilizados, ya que, por la escala de análisis, se identificaron algunas carencias en las fuentes de información como en la temporalidad empleada, así como toda investigación es sujeto de mejora.

Sobre la construcción de los modelos de simulación, es importante tener en cuenta como todo modelo, es sujeto de mejora, en donde se puede añadir nuevas variables para la creación de escenarios futuros de diferentes zonas urbanas o cambiando la escala de análisis, para detectar si tiene el mismo comportamiento, estableciendo la tercera línea de investigación.

Otra línea de investigación debe centrase en modelar y analizar las políticas públicas establecidas en los Programas de Desarrollo Urbano o en su defecto instrumentos de gestión del territorio, en las zonas metropolitanas del país o municipios con ritmos importantes de urbanización. Cuya finalidad permitirá ver su eficiencia para corregir o en su caso prevenir el proceso de expansión urbana en zonas de conservación ambiental.

Así como se recomienda, estudios sobre la capacidad de carga que pueden tener o soportar las distintas zonas metropolitanas, para el desarrollo de actividades antrópicas, sin comprometer los recursos naturales disponibles para futuras generaciones. Además del fortalecimiento

institucional de las dependencias y entidades, encargadas de la gestión del territorio con una orientación al desarrollo sostenible.

Bibliografía

Aguilera, A. (2021). La sostenibilidad urbana y el derecho a la ciudad: ¿nexo ineludible? *Palobra*, *21*(1), 186-204. https://doi.org/10.32997/2346-2884-vol.21-num.1-2021-3495

Aguilera, F., Gómez, M. y Plata, W. (2012). ESCENARIOS Y MODELOS DE SIMULACIÓN COMO INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN DE ÁMBITOS METROPOLITANOS. En M. Gómez y V. Rodríguez. (Coord.). *Análisis de la Dinámica Urbana y Simulación de Escenarios de Desarrollo Futuro con Tecnologías de la Información Geográfica* (pp. 185-234). RA-MA Editorial.

Aguilera-Sáez, F., Rojas, C., Salas-Olmedo, H. & Carrasco, J. (2020). Visualización de las dimensiones espaciales y temporales de las estrategias de movilidad individual en entornos urbanos. *Revista Transporte y Territorio*, (22), pp. 205-229.

Álvarez Cano, A y Carrillo Rodríguez, L. (2020). *Aproximaciones teóricas y conceptuales: El comportamiento espacial de compra.* Programa Editorial Universidad Autónoma de Occidente.

Arias, J. J. P. (2020). Sostenibilidad urbana en el contexto latinoamericano y en el europeo. *Cuadernos de investigación urbanística*, (131), 1-128. https://doi.org/10.20868/ciur.2020.131.4465

Ávila, P. Z. (2018). *La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad*. *Tabula Rasa*, (28), 409-423. https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18

Barbecho, J., Angumba, P., Francisco, J. y Quesada, J. (2022). Indicadores de sostenibilidad urbana para la ciudad de Cuenca: Desechos residenciales sólidos y de construcción. *Conciencia Digital*, *5*(1.2), 27-45. https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i1.2.2084

Barcelata, H. (2015). Círculos de pobreza y finanzas municipales en México. *Economía, Teoría y Práctica*, (42), 69-103.

Bhatta, B. (2010a). Measurement and Analysis of Urban Growth. En B., Bhatta (Autor). *Analysis of urban growth and sprawl from remote sensing data. Advances in Geographic Information Science* (pp.85-106). Springer.

Bhatta, B. (2010b). Modeling and Simulation of Urban Growth. En B., Bhatta (Autor). *Analysis of urban growth and sprawl from remote sensing data. Advances in Geographic Information Science* (pp.107-122). Springer.

BID Banco Interamericano de Desarrollo (2016a). *Guía Metodológica (Tercera Edición). Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles*. BID

Brenner, N. (2013). Tesis sobre la urbanización planetaria. *Revista Nueva Sociedad*, (243), 38-66.

Brugués, A., Fuentes, C., y Cervera, L. (2009). La Simulación del Crecimiento Urbano de la Ciudad de Chihuahua Mediante la Aplicación de Autómatas Celulares. En N. Niño, M. Sampedro, R. Hurtado y A. Jesús de la Colina. (Coord.). Antología de Estudios Territoriales en Iberoamérica (pp. 1-25). GEOTECH.

Buzai, G. (2022). Matemática espacial, William Bunge, 1962. En G. Buzai y E. Montes. (Compiladores). *Pensando los Sistemas de Información Geográfica desde Iberoamérica* (pp. 373-378). Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO).

Buzai, G. y Montes, G. E. (2021). *Estadística Espacial: Fundamentos y aplicación con Sistemas de Información Geográfica (Versión 1.0)*. INIGEO.

Cabrera, B. V. (2015). *CONFIGURACIÓN TERRITORIAL EN MÉXICO (1940-1970). LA HUELLA PROFUNDA DE LA HISTORIA* (1ra ed.). Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades “Alfonso Vélez Pliego”.

Camagni, R. (2005). *Economía urbana* (V. Galletto, Trad.; 1ª ed.). Antonio Bosch editor, S.A. (Trabajo original publicado 2005)

CAMe Comisión Ambiental de la Megalópolis (2018, 16 de septiembre). La megalópolis de la ZMVM. https://www.gob.mx/comisionambiental/articulos/la-megalopolis-de-la-zmvm?idiom=es

Campos, J., Sosa, M. y Vázquez, G. (2019). Gentrificación a partir de la implementación del Programa Pueblos Mágicos. El caso de Malinalco, Estado de México. En J. de la Rosa, S. García y A. de León (Coord.). *Políticas públicas con perspectiva territorial* (pp. 273-338). Universidad Autónoma Metropolitana: Juan Pablos Editor.

Carneiro, M., Toledo, J., Aurélio, M., y Orrico, R. (2019). Espraiamento urbano e exclusão social. Uma análise da acessibilidade dos moradores da cidade do Rio de Janeiro ao mercado de trabalho. *EURE*, *45*(136), 51-70.

Castro Pérez, A. M. P., y Quintero Venegas, G. J. (2022). Interacción espacial de la dinámica turística de los Pueblos Mágicos de Zacatlán y Chignahuapan, Puebla. *Investigaciones Geográficas*, (64), 66–81. https://doi.org/10.5354/0719-5370.2022.67994

Celemín, P. (2016). Accesibilidad a escuelas públicas aplicando modelos de interacción espacial. En S. Linares. (Coordinador). *Soluciones espaciales a problemas sociales urbanos: aplicaciones de tecnologías de la información geográfica a la planificación y gestión municipal* (pp. 97-108). Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres (2017). Índice de vulnerabilidad de inundación. CENAPRED. Recuperado de: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/portal/fenomenos/

Chasco, Y. C. (2003). *ECONOMETRÍA ESPACIAL APLICADA A LA PREDICCIÓN-EXPLORACIÓN DE DATOS MICROTERRITORIALES* (1ra ed.). Comunidad de Madrid. Consejería de Economía e Innovación Tecnológica.

Citibanamex El Banco Nacional de México (2022). *Índice de Ciudades Sostenibles 2021*. Recuperado de: https://www.banamex.com/resources/pdf/es/personas/compromiso-social/indice-de-ciudades-sostenibles-2021.pdf

CONABIO Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2020). Áreas Naturales Protegidas Estatales, Municipales, Ejidales, Comunitarias y Privadas de México 2020. Recuperado de: http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/anpest20gw.html

CONAGUA Comisión Nacional del Agua (2022). Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). CONAGUA. Recuperado de: https://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua#&ui-state=dialog

CONAGUA Comisión Nacional del Agua (2023). Calidad Del Agua Superficial a nivel nacional. CONAGUA. Recuperado de: https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua

CONANP Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2022). Información Geoespacial de las Áreas Naturales Protegidas de México. Recuperado de: http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/

CONAPO Consejo Nacional de Población (2021). Índice de marginación por municipio, con base en el Censo de Población y Vivienda 2020. Recuperado de: https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372

CONEVAL Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2021a). Pobreza a nivel municipio 2010-2020. Ciudad de México, México. Recuperado de: https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Pobreza-municipio-2010-2020.aspx

CONEVAL Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2021b). Cohesión Social Municipios. Recuperado de: https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Cohesion_Social.aspx

Corona, R. N. (2016). Modelo espacial y pronóstico de la expansión de la mancha urbana, 1995-2030. En A. Mohar. (Coord.). *Tendencias territoriales determinantes del futuro de la Ciudad de México* (pp. 39-84). Consejo Económico y Social de la Ciudad de México.

Cortés, G. y Peña, J. (2015). De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, (78), 40-54.

Cruz, I. y Lugo, B (2010). *POLÍTICAS PÚBLICAS PARA LAS CIUDADES MEDIAS EN MÉXICO*. 1-24. https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/5013/

Cuervo, L. (2012). América Latina: metrópolis en mutación. *Questiones Urbano Regionales*, *1*(1), 53-76.

De Corso, G. y Pinilla, M. (2017). Métodos gráficos de análisis exploratorio de datos espaciales con variables espacialmente distribuidas. *Cuadernos Latinoamericanos De Administración, 13*(25), 92–104. https://doi.org/10.18270/cuaderlam.v13i25.2417

De Las Heras, D., Adame, S., Cadena, E., y Campos, J. (2020a). Sustentabilidad del desarrollo urbano en la Megalópolis de México: perspectiva desde el análisis espacial. *Economía, Sociedad y Territorio*, *20*(62), 89-122. http://dx.doi.org/10.22136/est20201441

De Las Heras, D., Adame, S., Cadena, E., y Campos, J. (2020b). Análisis espacial del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en la Megalópolis de México. I*nvestigaciones Geográficas*, 73, 147-169. DOI: https://doi.org/10.14198/INGEO2020.HGAMCVCA

De Mattos, C. (2010). *Globalización y metamorfosis urbana en América Latina* (1ra ed.). Organización Latinoamérica y del Caribe de Centros Históricos (OLACCCHI) y Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ).

Díaz, D., Brisa, V. y Campos, A. (2020). ANÁLISIS ESPACIAL DE LA CENTRALIDAD EN LAS METRÓPOLIS DEL CENTRO DE MÉXICO COMO REGÍN URBANA COMPLEJA. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG),* (16), 1-26.

Edwards, B. y Hyett, P. (2004). *Guía básica de la sostenibilidad*. Gustavo Gili.

Esch, T., Heldens, W. e Hierner. A. (2018). The Global Urban Footprint. En Q. Weng, D. Quattrochi y P. Gamba (Eds.) *Urban Remote Sensing* (2da. Eds.) (pp. 3-14). Taylor & Francis Group, LLC.

Falivene, G., Costa, P. y Artusi, J. (2014). *Aplicación de indicadores de sostenibilidad urbana a la vivienda social*. Santiago de Chile, CEPAL. https://www.cepal.org/es/publicaciones/36654-aplicacion-indicadores-sostenibilidad-urbana-la-vivienda-social

Flores Chávez, R. (2022). *Sustentabilidad urbana y derecho a la ciudad en Uruapan, Michoacán (2005-2018), situación actual y perspectivas* [Tesis de doctorado, Universidad Michoacana de San

Nicolás de Hidalgo]. Archivo digital. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/6787

Gallopín, G. (2003). *Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico*. CEPAL

García Vázquez, J.C. & Sancho Caparrini, F. (2016). NetLogo Una herramienta de Modelado. Laboratorio CulturePlex.

García, M. L., y Vergara, J. M. R. (2000). La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. E*nseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, *18*(3), 473-486.

Garrocho, C. y Campos, A. (2007). Dinámica de la estructura policéntrica del empleo terciario en el área metropolitana de Toluca, 1994-2004. *Papeles de Población,* (52), 110-135.

Garrocho, Rangel, C. (2003). La teoría de interacción espacial como síntesis de las teorías de localización de actividades comerciales y de servicios. *Economía, Sociedad y Territorio*, *IV* (14), 203-251.

Gaviria, R. M. (2010). *APUNTES DE ECONOMÍA REGIONAL*. Universidad Católica Popular de Risaralda.

GEM Gobierno del Estado de México (2022, 6 de mayo). Ley de Cambio Climático del Estado de México. https://legislacion.edomex.gob.mx/node/2139

GEM Gobierno del Estado de México (2023a, 11 de mayo). Código para la Biodiversidad del Estado de México. https://legislacion.edomex.gob.mx/node/915

GEM Gobierno del Estado de México (2023b, 11 de mayo). Ley de Movilidad del Estado de México. https://legislacion.edomex.gob.mx/node/4305

GEM Gobierno del Estado de México (2023c, 20 de julio). Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México. https://legislacion.edomex.gob.mx/index.php/node/842

GEM Gobierno del Estado de México (2023d, 22 de junio). Ley de Planeación del Estado de México y Municipios. https://legislacion.edomex.gob.mx/index.php/node/869

GEM Gobierno del Estado de México (2023e, 22 de junio). Ley de Vivienda del Estado de México. https://legislacion.edomex.gob.mx/node/910

GEM Gobierno del Estado de México (2023f, 22 de junio). Ley del Agua para el Estado de México y Municipios. https://legislacion.edomex.gob.mx/index.php/node/911

GEM Gobierno del Estado de México (2023g, 28 de diciembre). Código Administrativo del Estado de México. https://legislacion.edomex.gob.mx/node/846

GEP Gobierno del Estado de Puebla (2003, 26 de marzo). Ley de Desarrollo Urbano Sustentable del Estado de Puebla. Secretaría de Gobernación. https://ojp.puebla.gob.mx/legislaciondelestado?catid=19&start=20

GEP Gobierno del Estado de Puebla (2019, 28 de diciembre). Publicación del Plan Estatal de Desarrollo Puebla, Estabilidad con Rumbo. Secretaría de Gobernación. https://ojp.puebla.gob.mx/media/k2/attachments/Plan_Estatal_de_Desarrollo_2019_2024_27112019.pdf

GEP Gobierno del Estado de Puebla (2022a, 10 de octubre). Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Puebla. Secretaría de Gobernación. https://ojp.puebla.gob.mx/legislaciondelestado?catid=19&start=40

GEP Gobierno del Estado de Puebla (2022b, 22 de diciembre). Ley de Fraccionamientos y Acciones Urbanísticas del Estado Libre y Soberano de Puebla. Secretaría de Gobernación. https://ojp.puebla.gob.mx/legislaciondelestado?catid=19&start=20

GEP Gobierno del Estado de Puebla (2022c, 26 de diciembre). Ley del Agua para el Estado de Puebla. Secretaría de Gobernación. https://ojp.puebla.gob.mx/legislaciondelestado?order=1&catid=19&start=80

GEP Gobierno del Estado de Puebla (2023a, 3 de julio). Ley de Vivienda para el Estado de Puebla. Secretaría de Gobernación. https://ojp.puebla.gob.mx/legislaciondelestado?order=1&catid=19&start=80

GEP Gobierno del Estado de Puebla (2023b, 31 de julio). Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Puebla. Secretaría de Gobernación. https://ojp.puebla.gob.mx/legislaciondelestado?catid=9

GEP Gobierno del Estado de Puebla (2023c, 8 de agosto). Ley de Cambio Climático del Estado de Puebla. Secretaría de Gobernación. https://ojp.puebla.gob.mx/legislaciondelestado?catid=19

GEP Gobierno del Estado de Puebla (2023d, 25 de agosto). Ley de Planeación para el Desarrollo del Estado de Puebla. Secretaría de Gobernación. https://ojp.puebla.gob.mx/legislaciondelestado?catid=19&start=40

GEP Gobierno del Estado de Puebla (2023e, 5 de diciembre). Ley de Movilidad y Seguridad Vial del Estado de Puebla. Secretaría de Gobernación. https://ojp.puebla.gob.mx/legislaciondelestado?catid=19&start=40

GEP Gobierno del Estado de Puebla (2023f, 28 de diciembre). Ley para la Protección del Ambiente Natural y el Desarrollo Sustentable del Estado de Puebla. https://ojp.puebla.gob.mx/legislaciondelestado?order=1&catid=19&start=120

GET Gobierno del Estado de Tlaxcala (2004, 17 de abril). Ley de Desarrollo Forestal Sustentable para el Estado de Tlaxcala. Periódico Oficial del Estado de Tlaxcala. https://congresodetlaxcala.gob.mx/legislacion/

GET Gobierno del Estado de Tlaxcala (2021, 10 de mayo). Ley de Aguas para el Estado de Tlaxcala. Periódico Oficial del Estado de Tlaxcala. https://congresodetlaxcala.gob.mx/legislacion/

GET Gobierno del Estado de Tlaxcala (2021, 10 de mayo). Ley de Asentamientos Humanos Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Tlaxcala. Periódico Oficial del Estado de Tlaxcala. https://congresodetlaxcala.gob.mx/legislacion/

GET Gobierno del Estado de Tlaxcala (2023, 10 de octubre). Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Tlaxcala. Periódico Oficial del Estado de Tlaxcala. https://congresodetlaxcala.gob.mx/legislacion/

GET Gobierno del Estado de Tlaxcala (2023, 12 de diciembre). Ley de Protección al Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible del Estado de Tlaxcala. Periódico Oficial del Estado de Tlaxcala. https://congresodetlaxcala.gob.mx/legislacion/

GET Gobierno del Estado de Tlaxcala (2023, 16 de noviembre). Ley de Vivienda del Estado de Tlaxcala. Periódico Oficial del Estado de Tlaxcala. https://congresodetlaxcala.gob.mx/legislacion/

GET Gobierno del Estado de Tlaxcala (2023, 21 de abril). Ley de Cambio Climático para el Estado de Tlaxcala. Periódico Oficial del Estado de Tlaxcala. https://congresodetlaxcala.gob.mx/legislacion/

Gómez, M., Plata, W., Orán, J., Calabia, A., y Barreria, P. (2012). PROCEDIMIENTOS DE VALIDACIÓN DE MODELOS DE CRECIMIENTO FUTURO. En M. Gómez y V. Rodríguez. (Coord.). *Análisis de la Dinámica Urbana y Simulación de Escenarios de Desarrollo Futuro con Tecnologías de la Información Geográfica* (pp. 237-274). RA-MA Editorial.

Hinojosa-Pérez, M., Hernández-Juárez, M., Otazo-Sánchez, E. y Acevedo-Sandoval, O. (2022). Indicadores de sustentabilidad a nivel cuenca. P*ädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, *10*(19), 1-10. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/issue/view/399

INECC Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2020). Instrumentos de política climática por estado, a partir de información aportada por los gobiernos estatales. INECC. Recuperado de: https://cambioclimatico.gob.mx/estadosymunicipios/Descargas.html

INECC Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2022). Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire. INECC. Recuperado de: https://sinaica.inecc.gob.mx/

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (1990). *XI Censo General de Población y Vivienda 1990*. Aguascalientes, México. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1990/#microdatos

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (1992). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie I. Continuo Nacional*. Aguascalientes, México. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825007020

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2000). *XII Censo General de Población y Vivienda 2000*. Aguascalientes, México. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2000/#microdatos

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010a). C*enso de Población y Vivienda 2010*. Aguascalientes, México. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/#microdatos

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010b). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas* 2010. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010c). *Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2010*. https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825292805

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010d). *Muestra censal del Censo de Población y Vivienda 2010*. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/#microdatos

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018a). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional.* Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018b). Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México SCIAN 2018. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/scian/

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020a). Censos Económicos 2019. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/#Datos_abiertos

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020b). Red Nacional de Caminos (RNC). Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807452

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021a). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Aguascalientes, México. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#microdatos

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021b). *Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020.* Aguascalientes, México. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021c). Muestra del Censo de Población y Vivienda 2020. Cuestionario ampliado. Aguascalientes, México. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Microdatos

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021d). Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/accidentes/#Datos_abiertos

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021e). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas* 2020. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2022). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021. Aguascalientes, México. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2021/

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2023a). Finanzas Públicas Estatales y Municipales. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/finanzas/#Tabulados

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2023b). Conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica escala 1:20,000. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/#descargas

Jantz, C., Goetz, S., Donato, D. y Claggett, P. (2010). Designing and implementing a regional urban modeling system using the SLEUTH celular urban model. *Computers, Environment and Urban Systems*, (34), 1-16

Jiménez, E., Chávez, T. y Garrocho, C. (2018). Modelando la expansión urbana con autómatas celulares: aplicación de la estación de inteligencia territorial (CHRISTALLER)®. Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG), (12), 1-16.

Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J. C., Mathis, M., & Brumby, S. P. (2021, July). Global land use/land cover with Sentinel 2 and deep learning. In *2021 IEEE international geoscience and remote sensing symposium IGARSS* (pp. 4704-4707). IEEE.

Ley de Aguas Nacionales. (2023, 8 de mayor). Diario Oficial de la Federación. http://www.ordenjuridico.gob.mx/leyes.php#gsc.tab=0

Ley de Planeación. (2023, 8 de mayo). Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm

Ley de Vivienda. (2019, 14 de mayo). Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm

Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano. (2021, 1 de junio). Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm

Ley General de Cambio Climático. (2023, 15 de noviembre). Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm

Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (2023, 8 de mayo). Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm

Ley General de Población. (2018, 12 de julio). Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm

López Bernal, O. (2020). *La sustentabilidad urbana: una aproximación a la gestión ambiental en la ciudad*. Universidad del Valle. https://hdl.handle.net/10893/19982

Medina-Pérez, P. (2019). P*oblación y Sostenibilidad Urbana. La zona metropolitana de Pachuca* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. Archivo digital. http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/2104/Población%20y%20Sotenibilidad%20Urbana.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mejía, C., J., C. (2013). *MODELO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO EN LA REGIÓN NORESTE DEL ESTADO DE MICHOACÁN DE OCAMPO* [Tesis de Licenciatura en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México]. Archivo digital.

Ministerio de Vivienda (2010). *Libro Blanco de la Sostenibilidad en el Planeamiento Urbanístico Español. Gobierno de España*.

MITECO Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021, 1 de diciembre). *Cambio climático*. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/cumbre-cambio-climatico-cop21/resultados-cop-21-paris/default.aspx

Miyazaki, H., y Shibasaki, R. (2018). Development of On-Demand Human Settlement Mapping system Using Histotical Satellite Archives. En Q. Weng, D. Quattrochi y P. Gamba (Eds.) *Urban Remote Sensing* (2da. Eds.) (pp. 15-32). Taylor & Francis Group, LLC.

Mokate, K. (2001). *Eficacia, eficiencia, equidad y sostenibilidad: ¿Qué queremos decir?*. BID Sostenibilidad

Molina, J., Martínez, O., Marquina, J., y Amaya T. (2013). Áreas de expansión urbana en Tovar, estado Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana 54*(2), 241-257.

Montes, E. (2022). Sistema locacional, Peter Haggett, 1965. En G. Buzai y E. Montes. (Compiladores). *Pensando los Sistemas de Información Geográfica desde Iberoamérica* (pp. 382-384). Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO).

NU Naciones Unidad y CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2018*). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales.* https://www.cepal.org/es/publicaciones/40155-la-agenda2030-objetivos-desarrollo-sostenible-oportunidad-america-latina-caribe

NU Naciones Unidas (1992). *CONVENIO SOBRE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA*. https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf

NU Naciones Unidas (2015). *TERCERA CONFERENCIA MUNDIAL DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES*. Sendai, Japón. https://unfccc.int/es/news/tercera-conferencia-mundial-de-las-naciones-unidas-sobre-la-reducci%C3%B3n-del-riesgo-de-desastres

NU Naciones Unidas (2017). *Nueva Agenda Urbana*. https://onuhabitat.org.mx/index.php/la-nueva-agenda-urbana-en-espanol

NU Naciones Unidas (2022). *Convención de Lucha contra la Desertificación*. https://www.unccd.int/official-documents/cop-15-abidjan-cote-divoire-2022

ONU Organización de las Naciones Unidas (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo "Nuestro Futuro Común"*. Recuperado de: https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf

ONU-Hábitat e INFONAVIT Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (2019). *Reporte Nacional de Prosperidad Urbana en México. Índice de las Ciudades Prósperas (CPI)*. Recuperado de: https://70.35.196.242/onuhabitatmexico/cpi/Reporte-CPI-2019.pdf

Ortiz, P. y Quesada, J. (2022). Indicadores de sostenibilidad urbana para la ciudad de Cuenca-Ecuador: construcción sostenible de edificaciones. *Conciencia Digital, 5*(1.2), 105-125. https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i1.2.2088

Osorio, A., Antunes, L. y Hard, C. (2022). Cambio climático y sustentabilidad urbana: comparativo de seis ciudades andinas intermedias. *Revista tecnología e sociedade*, *18*(53), 111-128. https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/15721

Pacione, M. (2005). *Urban Geography—A Global Perspective*, Routledge, London

Pérez, C., Lara, G. y Hernández, M. (2022). Concentración, diversidad y especialización del cooperativismo en México: aplicación de un Análisis Exploratorio de Datos Espaciales. *REVESCO. Revista de Estudios Cooperativos, 140*, 1–23. https://dx.doi.org/10.5209/reve.79941.

Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. (2019, 12 de julio). Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019#gsc.tab=0

Prieto-Sandoval, V., Jaca, C. y Ormazabal, M. (2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, (15), 85-95.

Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024. (2021). Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5634786&fecha=08/11/2021#gsc.tab=0

Programa Nacional Hídrico 2020-2024. (2020, 30 de diciembre). Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609188&fecha=30/12/2020

Quiroga, M. (2001). *Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas*. CEPAL.

Raedo Santos, R. (2022). *La medición de déficits de Sostenibilidad Urbana: Una propuesta para determinar las prioridades en el diseño de políticas públicas locales.* [Tesis de doctorado, Universidad de Valladolid. Archivo digital. https://uvadoc.uva.es/handle/10324/59824

Ramírez Sánchez, L. G., Chávez Soto, T. & Garrocho Rangel, C. (2021). Dinámica del empleo en el centro tradicional de negocios de Toluca (México), 2010-2018: cambio y participación espacial. *región y sociedad*, 33, e1395, pp. 1-31

Ramírez, H., R. (2020). *Zona Metropolitana de la Ciudad de México: crecimiento y expansión al 2040. Prospectiva territorial usando modelos de simulación urbana*. Universidad Nacional Autónoma de México. https://doi.org/10.22201/iiec.9786073044349e.2021

Ramírez, M. (2004). El método de jerarquía analíticas de Saaty en la ponderación de variables. Aplicación al nivel de mortalidad y morbilidad en la provincia del chaco. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, 1-4.

Sánchez, A., A. (2016). SISTEMA DE CIUDADES Y REDES URBANAS EN LOS MODELOS ECONÓMICOS DE MÉXICO. *Revista Problemas del Desarrollo, 184*(47), 7-34.

Sandoval, J. (2018). Modelo computacional de sistemas urbanos para la planeación de escenarios en la toma de decisiones de políticas públicas [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Baja California]. Archivo digital. https://hdl.handle.net/20.500.12930/5871

Santos, J., Azcárate, M., Cocero, D., García, F. y Muguruza, C. (2012b). ÁNALISIS DETALLADO DEL CRECIMIENTO MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. En M. Gómez y V. Rodríguez. (Coord.). *Análisis de la Dinámica Urbana y Simulación de Escenarios de Desarrollo Futuro con Tecnologías de la Información Geográfica* (pp. 81-122). RA-MA Editorial.

Santos, J., Azcárate, M., Cocero, D., García, F. y Muguruza, C. (2012a). CLAVES DEL CRECIMIENTO URBANO ACTUAL. En M. Gómez y V. Rodríguez. (Coord.). *Análisis de la Dinámica Urbana y Simulación de Escenarios de Desarrollo Futuro con Tecnologías de la Información Geográfica* (pp. 19-80). RA-MA Editorial.

SEDATU Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (2021). *Programa Nacional de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (PNOTDU) 2021-2024*. SEDATU. Recuperado

de: https://www.gob.mx/sedatu/documentos/programa-nacional-de-ordenamiento-territorial-y-desarrollo-urbano-2021-2024

SEDATU Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, CONAPO Consejo Nacional de Población e INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015*. SEDATU, CONAPO e INEGI. México.

SEDATU Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, CONAPO Consejo Nacional de Población e INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2023). *Metrópolis de México 2020*. SEDESOL, SEDATU e INEGI. México.

SEDESOL Secretaría de Desarrollo Social, CONAPO Consejo Nacional de Población e INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2004). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2000*. SEDESOL, CONAPO e INEGI. México.

SEDESOL Secretaría de Desarrollo Social, CONAPO Consejo Nacional de Población e INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2012). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010*. SEDESOL, CONAPO e INEGI. México.

SESNSP Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (2022). Incidencia delictiva del Fuero Común Municipal 2015-2022. Recuperado de: https://www.gob.mx/sesnsp/acciones-y-programas/incidencia-delictiva-del-fuero-comun-nueva-metodologia?state=published

SHCP Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2022). Financiamientos y Obligaciones Inscritos en el Registro Público Único. SHCP.

Sobrino, J. (2011). *La urbanización en el México contemporáneo*. Santiago: Reunión de Expertos Sobre: "Población Territorio y Desarrollo Sostenible".

UN Naciones Unidas (2023). Plan de implementación de Sharm el-Sheikh. https://unfccc.int/decisions

UNCCD United Nation Convention to Combat Desertification (2022). Convención de las Naciones Unidas de la Lucha Contra la Desertificación en los países afectados por sequía grave o

desertificación, en particular en África. www.unccd.int/sites/default/files/2022-02/UNCCD_Convention_text_SPA.pdf

UNDRR United Nation Office for Disaster Risk Reduction (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf

Unikel, L. (1978). *EL DESARROLLO URBANO DE MÉXICO: DIAGNÓSTICO E IMPLICACIONES FUTURAS* (2nd ed.). El Colegio de México.

Uzcategui, H. (2023). *¿Sustentable o Sostenible?* Universidad Católica Andrés Bello. 1-9. https://saber.ucab.edu.ve/handle/123456789/20619

Valdés-Padrón, M., Garza-Ríos, R., Pérez-Vergara, I., Gé-Varona, Maité y Chávez-Vivó, A. (2015). Una propuesta para la evaluación del desempeño de los trabajadores apoyada en el uso de técnicas cuantitativas. *Ingeniería Industrial* XXXVI (1): 48-57. http://scielo.sld.cu/pdf/rii/v36n1/rii06115.pdf

Valdivia-Loro, A. (2019). Evaluación del Índice de sostenibilidad urbana. Aplicación para Lima Metropolitana. *Bitácora Urbano Territorial*, *29*(3), 135-144. https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n3.66568

Valencia, Torres, A. (2016). *Impactos Ambientales y Socioeconómicos por el proceso de expansión urbana en la Zona Metropolitana de Toluca* [Tesis de Maestría, Universidad autónoma del Estado de México]. Archivo digital.

Valenzuela, L., Soria, J. y Salado, M. (2012). INCIEDENCIA DE LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL EN LOS PATRONES DE DESARROLLO URBANO. PERSPECTIVAS DESDE ESCALAS METROPOITANAS DIVERSAS: GRANADA Y MADRID. En M. Gómez y V. Rodríguez. (Coord.). *Análisis de la Dinámica Urbana y Simulación de Escenarios de Desarrollo Futuro con Tecnologías de la Información Geográfica* (pp. 123-150). RA-MA Editorial.

Vazquez, I. (2016). *Descentralización urbana y concentración espacial de la economía. Nuevas estructuras territoriales en las regiones centro y centro occidente de México 2000-2010*, [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México].

Vélez, V., Ordóñez, A. y Salas, M. (2023). Sustentabilidad urbana en la ciudad intermedia latinoamericana. El caso de Loja - Ecuador. B*itácora Urbano Territorial*, *33*(III), 167-182.

Vilela, M. y Moschella, P. (2017). Caicedo-Tamayo, A. y Rojas-Ospina, T. (2014). Paisaje y expansión urbana sobre espacios naturales en ciudades intermedias. El caso de Purrumpampa en Huamachuco, La Libertad, Perú. *Bulletin de lInstitut français détudes andines, 46* (3), 529-550.

Zárate, M. (2012). *Geografía Urbana. Dinámicas locales, procesos globales*. Editorial Universitaria Ramón Areces.