DOI: http://dx.doi.org/10.22185/24487147.2026.121.30

Sostenibilidad urbana en el Estado de México: instrumentación de la iniciativa de ciudades emergentes y sostenibles del Banco Interamericano de Desarrollo

Urban sustainability in the State of Mexico: implementation of the Inter-American Development Bank's emerging and sustainable cities initiative

Israel Vázquez-Morán*, Salvador Adame-Martínez**, Gaia Turchetti*** y Elda Margarita Hernández-Rejón*

**Universidad Autónoma de Tamaulipas, México*
***Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México, México*
****Scuola di Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio, Università di Roma, La Sapienza. Roma, Italia*

Resumen

El estudio de la sostenibilidad urbana es clave para evaluar los procesos urbanos a distintas escalas, ya sea desde lo local a lo global. Esta investigación se enfoca en el análisis de los municipios del Estado de México mediante la construcción de un índice de sostenibilidad urbana integrado por 17 indicadores basados en la Guía Metodológica de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES) del Banco Interamericano (BID) con el método de Análisis de Componentes Principales (ACP) sumado al Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE), identificando autocorrelación espacial positiva, además de la existencia de clústeres con los niveles de sostenibilidad urbana. Los resultados muestran diferencias significativas entre municipios metropolitanos así como periféricos, destacando aquellos con mayores niveles de sostenibilidad correspondientes a las metrópolis de la Zona Metropolitana de Toluca, la Zona Conurbada de Tianguistenco y municipios que integran parte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Palabras clave: Sostenibilidad urbana, procesos urbanos, índice de sostenibilidad, indicadores, análisis de componentes principales.

Abstract

The study of urban sustainability is key to evaluating urban processes at various scales, from the local to the global level. This research focuses on analyzing municipalities in the State of Mexico by developing an urban sustainability index composed of 17 indicators, based on the Methodological Guide of the Inter-American Development Bank's (IDB) Emerging and Sustainable Cities Initiative (ICES), using Principal Component Analysis (PCA) combined with Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA), identifying positive spatial autocorrelation as well as the existence

of clusters with varying levels of urban sustainability. The results show significant differences between metropolitan and peripheral municipalities, highlighting those with higher levels of sustainability corresponding to the metropolises of the Toluca Metropolitan Area, the Tianguistenco Conurbation, and municipalities that form part of the Mexico City Metropolitan Area.

Keywords: Urban sustainability, urban processes, urban sustainability index, indicators, principal component analysis.

Introducción

En Latinoamérica, como en México, se ha venido experimentando un proceso de urbanización sin precedentes, generando regiones más urbanizadas de forma diferencial. Los estudios desarrollados en las últimas décadas del siglo XX, al igual que los de inicios del siglo XXI sobre este proceso de urbanización, se realizan desde diversas perspectivas: económicas, demográficas, geográficas y sociales. Distinguiéndose un elemento en común, abordadas con un enfoque de sostenibilidad, tomando como base los distintos marcos globales sobre el desarrollo sostenible entre los que destaca la Agenda 2030 y la Nueva Agenda Urbana (NU y CEPAL, 2019; ONU-Hábitat, 2021).

Respecto a la dinámica demográfica en el mundo, Esch, Heldens e Hierner (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), esto quiere decir que la mayoría de las personas a nivel mundial habitan algún tipo de entorno urbano.

Debe tenerse en cuenta, como diversos especialistas afirman, que las ciudades tienen un papel principal como impulsores de los sistemas sociales, económicos y ambientales. La urbanización global afecta todo el conjunto de los sistemas humanos como naturales, en particular con respecto a: energía, agua, alimentos, biodiversidad, clima o salud humana (Esch, Heldens e Hierner, 2018; Data-Driven EnviroLab and NewClimate Institute 2020; New Climate Institute, Data-Driven Lab, PBL, DIE, Blavatnik School of Government, 2019; ICLEI, 2021; ICLEI, 2022; IPCC 2022; Tucci, Cecafosso, Altamura y Turchetti, 2023).

En la dinámica demográfica de México (Tabla 1), se observa que a inicios del siglo XXI la población asciende a más de 97 millones de habitantes y se cuenta con 55 Zonas Metropolitanas (SEDESOL, CONAPO e INEGI, 2004).

Tabla 1: Métodos para la construcción de un índice resumen para la medición de la sostenibilidad urbana

Método	Utilidad	Aplicación al estudio de sostenibilidad	Resultado
Análisis de Componentes principales	Reduce la dimensionalidad y facilita la interpretación de índices orientados en la evaluación de la sostenibilidad, manteniendo información clave.	Reduce las dimensiones de análisis, integrando variables clave y generando un resumen cuantitativo de la sostenibilidad.	Índice resumen de Sostenibilidad Urbana.
Metodología del Valor Índice Medio	Reduce la dimensionalidad y genera componentes que explican la mayor variabilidad para la construcción de un índice.	Sintetiza y compara el desempeño de un sistema u grupo de objetos, apoyando la toma de decisiones y la evaluación de la sostenibilidad.	Índice resumen de Sostenibilidad Urbana.
Método de Análisis Jerárquico Saaty	Se basa en identificar pesos prioritarios mediante una matriz de comparación por pares.	Enfoque de toma de decisiones multicriterio que construye jerarquías a partir de comparaciones por pares.	Índice resumen de Sostenibilidad Urbana.
Suma Ponderada	Asigna ponderaciones numéricas para distinguir entre criterios tanto positivos como negativos, clasificando las distintas alternativas.	Utiliza pesos para variables calificadas y sumar su recategorización.	Índice resumen de Sostenibilidad Urbana.

Fuente: elaborado con base en Ishizaka y Labib, 2011; Mendas y Delali, 2012; Andreu, Fernández-Fernández y Fernández, 2018; Oñate-Valdivieso, Álvaez, Esparza y Oñate-Paladines, 2020; Gharizadeh Beiragh, Alizadeh, Shafiei Kaleibari, Cavallaro, Zolfani, Bausys y Mardani, 2020; Lei, Ma, Ye y Chen, 2022; Vicario-Modroño, Gallardo-Cobos y Sánchez-Zamora, 2023; Çoban, 2022.

Para el año 2010 la población supera los 112 millones de habitantes y se forman 59 Zonas Metropolitanas (SEDESOL, CONAPO e INEGI, 2012). En 2015 se tiene un aumento gradual de las Zonas Metropolitanas pues se identifican 74, 15 nuevas zonas en comparación de 2010 y la población nacional asciende a los 119 millones de habitantes (SEDATU, CONAPO e INEGI, 2018).

En 2020 se realizó un cambio en la forma de su delimitación, lo que permitió identificar 48 Zonas Metropolitanas, 22 Zonas Conurbadas y 22 Metrópolis Municipales, sumando 92 metrópolis que concentran una población de más de 82 millones de habitantes, lo que representa 65.48 por ciento de la población nacional (SEDATU, CONAPO e INEGI, 2024).

Para el caso particular del Estado de México, tomando como base el Sistema Urbano Nacional (SUN),[1] en 2020 (SEDATU y CONAPO, 2024) se identifican 15 ciudades en relación a las tres categorías definidas por el tamaño de ciudad respecto a su tamaño de población: a) un millón o más habitantes, b) de 100 mil a 999,999 habitantes y c) de 15 mil a 99,999 habitantes. En la entidad se identifica una de tipo a y 14 del tipo c, concentrando una población de 2,377,795 habitantes para 2020.

En las ciudades de México y Latinoamérica, como se desprende de la investigación, se observan diversos fenómenos derivados de la actual dinámica urbana, entre los que destacan: i) crecimiento urbano acelerado, ii) falta de una ordenación y planificación sostenible, iii) una expansión difusa y desordenada, iv) persistencia de asentamientos precarios o irregulares, v) desigualdad en el acceso de oportunidades, vi) cambios en la morfología urbana y vii) aumento de la vulnerabilidad.

Ante los desafíos que enfrentan las ciudades, así como sus múltiples dimensiones de análisis, resulta fundamental analizarlas desde la perspectiva del Desarrollo Sostenible para una mejor comprensión de los procesos urbanos. En este contexto, es esencial considerar los marcos globales que lo guían, como la Agenda 2030 y la Nueva Agenda Urbana (NU y CEPAL, 2019; ONU-Hábitat, 2021). Asimismo, destacan eventos de relevancia como la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP27) y la undécima sesión de la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes del Protocolo de Kioto (COP-MOP11) (MITECO, 2021), los cuales abordan compromisos como estrategias para enfrentar el cambio climático y promover un desarrollo urbano sostenible.

[1] Identificación de 453 ciudades con una población de 87.4 millones de habitantes (SEDATU y CONAPO, 2024).

El crecimiento acelerado de la mancha urbana en las ciudades ha generado desafíos significativos además de complejos en el camino a un desarrollo sostenible. En respuesta a esta problemática, la comunidad científica ha desarrollado diversas herramientas de evaluación junto con guías metodológicas basadas en indicadores que permiten medir, monitorear y evaluar el progreso de las ciudades en su transición hacia la sostenibilidad (Ortiz y Quesada, 2022).

Tomando como base los diferentes marcos globales que atienden los retos de las ciudades del mundo, desde el enfoque de la sostenibilidad al igual que 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).

Para la experimentación propuesta se utilizó la conceptualización realizada por el Banco Interamericano de Desarrollo (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).

En el análisis de la sostenibilidad urbana, desde un carácter multidimensional, es necesario tomar en consideración los elementos socioeconómicos, demográficos y ambientales, en donde resaltan los trabajos de iniciativas gubernamentales como el *Índice de las Ciudades Prósperas* (CPI) por parte de la ONU-Hábitat desarrollado en 2012, medición que permite conocer las condiciones actuales de las ciudades tomando un conjunto de más de 40 indicadores, así como proponer acciones estratégicas que las mejoren derivado de sus resultados (ONU-Hábitat, INFONAVIT y SEDATU, 2019). Su instrumentación, para el caso de México en las principales urbes del país, se ha realizado desde 2015 tomando la evaluación de seis dimensiones: i) productividad, ii) infraestructura de desarrollo, iii) calidad de vida, iv) equidad e inclusión social, v) sostenibilidad ambiental y vi) gobernanza y legislación urbana.

Otro trabajo de gran relevancia es el desarrollado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), quienes observando el proceso de urbanización en las últimas décadas en América Latina y el Caribe (ALC), generan

en 2010 la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES), buscando mejorar la calidad de vida, así como sostenibilidad de sus habitantes para las generaciones futuras y su competitividad para tener empleos dignos, teniendo en cuenta tres grandes dimensiones de análisis (BID, 2016a): i) sostenibilidad ambiental y cambio climático, ii) sostenibilidad urbana, y iii) sostenibilidad fiscal y gobernabilidad.

Estas tres dimensiones abarcan 11 pilares, 30 temas y 67 subtemas; en su conjunto, hay un total de 127 indicadores. La primera dimensión se centra en la gestión del medio ambiente sumado al consumo de recursos naturales, mitigación de los gases de efecto invernadero junto con otras formas de contaminación, reducción de la vulnerabilidad ante amenazas naturales al igual que adaptación al cambio climático. La segunda dimensión considera aspectos del control del crecimiento sumado a la mejora del hábitat urbano, promoción del transporte urbano sostenible, promoción del desarrollo económico local competitivo y sostenible, provisión de servicios sociales de alto nivel, además de la promoción de la cohesión social. Por último, la tercera dimensión se centra en mecanismos adecuados de gobierno, ingresos, gasto y endeudamiento (BID, 2016a).

Asimismo, se debe tener clara la definición de que un indicador, concebido como "información procesada, de carácter cuantitativo, que genera una idea clara además de accesible sobre un fenómeno complejo, su evolución y cuánto difiere de una situación deseada" (Falivene, Costa y Artusi, 2014, p. 9), son también "medidas cuantitativas, cualitativas o descriptivas que informan la situación de entornos urbanos y la incidencia de sus procesos en el medio ambiente, también ayudan en la planificación de ciudades que ofrezcan oportunidades para todos o ciudades inclusivas 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, Angumba, Carzola y Quesada, 2022, p. 30).

Por lo anterior, el presente trabajo se centra en la dimensión de Sostenibilidad Urbana mediante la construcción de un índice resumen para el año 2020, tomando el mismo nombre (Índice de Sostenibilidad Urbana), considerando 17 indicadores que componen esta dimensión, de acuerdo con la información disponible, centrándose en los 125 municipios del Estado de México que forma parte de la Megalópolis del Centro de México.

Metodología

Área de estudio

El trabajo de investigación se realizó en una de las entidades federativas que integran la Megalópolis del Centro de México, misma que se encuentra conformada por la Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Puebla, Morelos, Querétaro y Tlaxcala[2], formando 17 zonas metropolitanas.[3] Específicamente se centra el estudio en el Estado de México, conformado por 125 municipios y una población para 2020 de 16,992,418 habitantes (INEGI, 2021a). Actualmente, en la entidad se identifican cuatro metrópolis: parte de la Zona Metropolitana de Ciudad de México (ZMCM) con 45 municipios, Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), Zona Conurbada de Ozumba (ZCO) y Tianguistenco (ZCT).

El apartado metodológico se encuentra estructurado en cuatro partes: i) la selección de métodos para la construcción de un índice destinado a la medición de la sostenibilidad urbana conforme a la metodología ICES; ii) la indicación de las fuentes para la elaboración de los indicadores que conforman el índice resumen, así como las características propias de cada indicador usado; iii) la construcción del índice mediante la selección del método de Análisis de Componentes Principales y 4) el Análisis Exploratorio de Dados Espaciales (AEDE), con la finalidad de encontrar patrones en la zona de estudio.

A continuación, se describe cada uno de los apartados:

Métodos para la construcción de un índice resumen dedicado a la medición de la sostenibilidad urbana

Para la construcción del índice resumen y medir la sostenibilidad urbana se toma como base un conjunto de indicadores para su conformación como análisis, previa selección de una serie de indicadores que se consideran importantes en materia de sostenibilidad urbana, y se aplicó la metodología ICES del BID (2016a).

Es importante la selección de algún método estadístico espacial adecuado acorde a las necesidades de la investigación a desarrollar en el ámbito del análisis espacial cuantitativo, en este caso, a las dimensiones abordadas para medir el grado de sostenibilidad. Por esto, el apoyo de la estadística espacial es un aporte de la geografía y la estadística. Esto permite responder a la pregunta de dónde se localiza el problema o fenómeno de estudio

[2] Delimitación tomada de la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAMe, 2018).
[3] Delimitación realizada por SEDETU, CONAPO e INEGI en 2024.

mediante la aplicación de metodologías para su análisis, misma que es impulsada con el uso de tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Buzai y Montes, 2021).

En el ámbito de la Geografía, el análisis espacial adquiere dos connotaciones principales: el procesamiento de datos espaciales y el estudio de los aspectos geométricos, además de estructurales en las entidades espaciales. En este contexto, la estadística espacial aplicada a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se centra en los componentes espaciales y en el acceso a sus atributos para realizar cálculos. Para ello, se apoya en una de las ramas de la estadística espacial: la geoestadística, que permite estimar valores espaciales a partir de un conjunto de datos ubicados en localizaciones puntuales conocidas (Buzai y Montes, 2021).

Entre los aspectos clave en el análisis espacial destacan la instrumentación de la geoestadística, el análisis cartográfico, la identificación de valores y su ubicación en el espacio, la evaluación de su distribución en el territorio y el cálculo de medidas de localización. En este sentido, el uso de herramientas geoestadísticas para el estudio de datos espaciales orientados a la sostenibilidad urbana ha cobrado una importancia creciente. Algunos ejemplos relevantes, como se observa en la Tabla 1, incluyen el Análisis de Componentes Principales (ACP), la Metodología del Valor Índice Medio, el Método de Análisis Jerárquico de Saaty y la Suma Ponderada.

Selección de indicadores y fuentes de información

El abordaje de la sostenibilidad urbana, tomando como base la metodología ICES, considera cuatro pilares, 16 temas además de 65 indicadores, cuyos temas son: Uso de suelo y ordenamiento del territorio; desigualdad urbana, movilidad y transporte, capital humano, internacionalización, tejido productivo, tejido empresarial; investigación, desarrollo e innovación; mercado laboral, sector financiero, entorno fiscal, ambiente de negocios, conectividad, educación, seguridad y salud (BID, 2016b).

Las variables usadas en esta investigación, correspondientes a las fuentes de información oficiales disponibles en México, abordaron nueve de los 16 temas, además de un total de 17 indicadores de carácter socioeconómico-urbano (Ver Tabla 2). Si bien, es preciso resaltar que existen limitantes en la disponibilidad de datos a escala municipal para la construcción de los indicadores.

Tabla 2: Indicadores de 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, Adame, Cadena y Campos, 2020
	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 (Calculado a partir del promedio de 1997 a 2020)	INEGI 2021c
IV. Tejido productivo	8. Producto Bruto	Valor Agregado Bruto Censal por habitante	INEGI 2020 e INEGI 2021a
V. Mercado laboral	9. Desempleo	Porcentaje de población desocupada sobre la PEA	INEGI 2021a
	10. Empleo informal	Porcentaje de población ocupada en el sector informal	INEGI 2020 e INEGI 2021a
VI. Conectividad	11. Internet	Porcentaje de viviendas particulares habitadas con servicio de internet	INEGI 2021a
	12. Telefonía	Porcentaje de viviendas particulares habitadas con teléfono celular	INEGI 2021a
VII. Educación	13. Calidad educativa	Grado promedio de escolaridad	INEGI 2021a
	14. Asistencia escolar	Porcentaje de población de entre 3 y 14 años que asiste a la escuela	INEGI 2021a
	15. Educación superior	Porcentaje de población de 18 años y más con educación posbásica	INEGI 2021a
VIII. Seguridad	16. Violencia	Número de delitos por cada 100,000 habitantes	SESNSP 2022
IX. Salud	17. Provisión de servicios de salud	Porcentaje de población afiliada a servicios de salud	INEGI 2021a

Fuente: elaboración con base en Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2021a); Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2021b); 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, Adame, Cadena y Campos, 2020); Cohesión Social Municipios (CONEVAL, 2021b); Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas (INEGI, 2021c); Censos Económicos 2019 (INEGI, 2020); Incidencia delictiva del Fuero Común Municipal 2015-2022 (SESNSP, 2022).

Construcción del Índice de Sostenibilidad Urbana

Para los fines de la investigación se elaboró un Índice de Sostenibilidad Urbana (ISU) para cada uno de los 125 municipios del Estado de México, mismos que se encuentran dentro de la Megalópolis del Centro de México. Para ello, el método estadístico que se utilizó fue el ACP, para lo cual se empleó el software SPSS (Programa Estadístico para las Ciencias Sociales) versión 25, el cual se formuló de la siguiente manera, considerando los temas de sostenibilidad que integran 17 indicadores:

$$ISU = Fp\ (TS1 + TS2 + TS3 + TS4 + TS5 + TS6 + TS7 + TS8 + TS9)$$

Donde:

ISU = Índice de Sostenibilidad Urbana.
Fp = Función ponderada.
TS1 = Uso del suelo y ordenamiento del territorio.
TS2 = Desigualdad urbana.
TS3 = Movilidad y transporte.
TS4 = Tejido productivo.
TS5 = Mercado laboral.
TS6 = Conectividad.
TS7 = Educación.
TS8 = Seguridad.
TS9 = Salud.

Cada uno de los indicadores que considera los nueve temas han sido examinandos en detalle con el ACP, "es una técnica de análisis multivariante que permite la reducción de la dimensionalidad de la base de datos y mejora la interpretación de la misma, con una mínima pérdida de información" (López de la Maza, Zumalacárregui y Pérez, 2019, p.12), la cual permite obtener una mejor comprensión de procesos complejos o de varias dimensiones de análisis.

Para la realización del cálculo su procedimiento fue el siguiente: se calculan los 17 indicadores seleccionados con anterioridad; se importó la base de datos de los indicadores seleccionados de los nueve temas del programa Excel al programa SPSS, cuyo orden de los datos se organiza de tal forma que los indicadores se encuentren en las columnas y los casos de estudio o municipios en los renglones; se procedió al cálculo de componentes principales; por último, su análisis factorial. El ACP, una vez realizado el procedimiento de cálculo, examina los indicadores seleccionados previamente,

en el que es necesario consultar las tablas de resultados para verificar su varianza y ver si cumple con los requerimientos necesarios.

Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) para el análisis de la sostenibilidad urbana

Una forma de analizar los procesos urbanos es a través del análisis espacial, entre las cuales destaca la econometría espacial, que emplea herramientas del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE). El AEDE debe ser el primer paso en cualquier análisis destinado a la toma de decisiones en investigaciones ambientales, sociales y económicas. Sus principales técnicas, basadas en la estadística como en la representación gráfica, permiten examinar las distribuciones espaciales además de la identificación de agrupamientos (De Corso y Pinilla, 2017).

Asimismo, uno de los componentes más relevantes dentro del AEDE es el análisis gráfico, mediante la combinación de técnicas de análisis estadístico, dando origen a lo que se le denomina visualización científica, permitiendo extraer toda la información posible y de manera eficiente cuando se trabaja con grandes volúmenes de datos simultáneamente, generando técnicas gráficas con la capacidad de trabajar con la totalidad de la información o una parte de ella (De Corso y Pinilla, 2017).

En el análisis espacial, De Corso y Pinilla (2017) mencionan la herramienta de autocorrelación espacial Índice de Morán global, la cual mide la relación espacial entre ubicaciones además de los valores de las entidades. Al analizar un conjunto de entidades y un atributo asociado, esta herramienta evalúa si el patrón espacial es agrupado, disperso o aleatorio. Para ello, calcula el Índice de Morán junto con una puntuación *z*, permitiendo determinar la significancia del patrón observado. Además, el estadístico de prueba del Índice de Morán se basa en la estimación de la pendiente de la regresión por mínimos cuadrados ordinarios, utilizada para contrastar la presencia de autocorrelación espacial.

Por otro lado, Pérez, Lara y Hernández (2022) señalan que el Índice de Morán permite analizar la distribución espacial de una variable y detectar la existencia o ausencia de autocorrelación espacial. Este indicador es considerado un estadístico global, ya que resume en una sola cifra el patrón de distribución territorial del fenómeno en estudio. Su representación algebraica se expresa de la siguiente manera (Pérez, Lara y Hernández, 2022, p. 11):

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

Donde

I: Índice de Morán.
n = Número de las unidades en el mapa.
Wij = 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 Índice de Morán toma valores que oscilan entre -1 y 1, lo que permite evaluar si los datos presentan una distribución dispersa, aleatoria o agrupada, ya sea de forma negativa o positiva. Este análisis facilita la identificación de patrones de dependencia espacial, reflejados en la conformación de clústeres o agrupamientos dentro del espacio geográfico o de una zona de estudio (Pérez, Lara y Hernández, 2022).

Mientras que los Indicadores Locales de Asociación Espacial (LISA) permiten identificar clústeres o agrupaciones espaciales dentro de la variable analizada, su aplicación facilita la detección de áreas con condiciones favorables o desfavorables, al analizar la proximidad como la relación entre entidades que pueden compartir dinámicas económicas o interacciones interterritoriales. En este contexto, el Índice de Morán local (también conocido como Índice de Anselin) se define de la siguiente manera (Anselin, 2013, citado en Pérez, Lara y Hernández, 2022):

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

Esta función sirve para calcular el *I* de Morán local por cada entidad, determinando el grado de similitud con sus entidades vecinas. Además, esta medida se estandariza, de modo que si *Z* (I_j) es estadísticamente significativa, se confirma la presencia de un clúster o agrupamiento. Los resultados revelan patrones espaciales donde ciertas áreas con valores altos (o bajos) para una variable específica se agrupan con otras áreas que presentan valores similares, así como la existencia de valores atípicos o extremos, donde los datos difieren notablemente entre sí. A diferencia del Índice de Morán global, este indicador no solo permite determinar si existe autocorrelación espacial, sino también identificar dónde se localiza (Pérez, Lara y Hernández, 2022).

La autocorrelación espacial mide y analiza el grado de dependencia de las observaciones dentro de un espacio geográfico. Entre las principales herramientas para su análisis destacan el Índice de Morán y la *C* de Geary[4], ambas basadas en una matriz de pesos espaciales que cuantifica la intensidad de las relaciones geoespaciales de las entidades vecinas (Battha, 2010).

La interpretación del Índice de Moran señala que una autocorrelación espacial positiva indica que los valores semejantes tienden a agruparse en el espacio geográfico. Por el contrario, una autocorrelación espacial negativa sugiere que los valores de las unidades vecinas son más distintos de lo esperado, lo que genera un patrón espacial semejante al de un tablero de ajedrez (Battha, 2010).

La asociación espacial es concebida como la tendencia de las variables a mostrar alguna variación sistemática desde la perspectiva del análisis de la autocorrelación espacial para datos espaciales. Para el caso de su aplicación en estudios urbanos, suele significar que los valores altos se encuentran cerca de otros valores altos y los valores bajos aparecen en la aproximación geográfica (Páez y Scott, 2004, citando en Bhatta, 2010).

Para el desarrollo de esta investigación, el Índice de Autocorrelación Espacial Local de Morán se calculó en el programa GeoDa 1.20.0.10 con el Índice de Sostenibilidad Urbana para el caso de los municipios que conforman el Estado de México. El pseudo valor *P* se calculó determinando la proporción de valores del índice de Autocorrelación Espacial Local de Morán, generando a partir de permutaciones (999) que mostraron la conformación de clústeres. La proporción obtenida (pseudo valor *P*) fue de 0.05, pudiendo identificarse agrupaciones estadísticamente significativas.

Resultados

El trabajo de investigación condujo a la medición de la Sustentabilidad Urbana en el Estado de México y el índice relativo (ISU), calculado para sus 125 municipios y una población de 16,992,418 habitantes, actualizada a los datos actualmente disponibles, es decir, para el año 2020. Un aspecto por considerar es que previo a la construcción del índice ISU, se procedió a la revisión de la base de datos para evitar celdas vacías e inconsistencias de la información como lo recomienda Van den Broeck, Argeseanu, Eeckels y Herbst (2005).

En relación con ello, en el único indicador que se procedió a realizar ajustes fue el de "seguridad vial", en el que se optó como parte de su cál-

[4] Mide la autocorrelación espacial, sin embargo, la interacción resultante no es el producto cruzado de las desviaciones estándar de la media, sino de la desviación de las intensidades de la localización de cada observación u objeto espacial entre sí (Bravo, 2021).

culo el promedio de los accidentes viales registrados de 1997 a 2020. De acuerdo con este tipo de estudios, se debe identificar la "varianza total explicada" o proporción de variabilidad del grupo de indicadores seleccionados, misma que será pertinente si la suma en el segundo factor es superior a 50 por ciento, señalando que los indicadores utilizados fueron adecuados para la construcción del índice. Para nuestro caso, el valor de la varianza total explicada fue de 53.407 por ciento en el segundo componente o indicador, lo cual permite afirmar su plena validez al superar la varianza total explicada en el segundo componente de 50 por ciento, confirmando la adecuada elección de indicadores para la construcción del índice.

Para el Estado de México y la construcción del índice, los indicadores de mayor peso fueron: la educación superior, calidad educativa e internet; sin embargo, se observan valores negativos en los indicadores de vivienda, pobreza, segregación socioespacial, desigualdad de ingresos, víctimas de accidentes de tráfico por 100 mil habitantes, empleo informal y provisión de servicios de salud.

Una vez aplicado el ACP, el ISU se estratificó en cinco estratos mediante la técnica de Dalenius y Hodge[5], según el puntaje obtenido para cada unidad espacial (municipio) en el índice, quedando de la siguiente manera: Muy bajo (-2.91680 a -1.15055), Bajo (-1.15055 a -0.56181), Medio (-0.56180 a 0.02694), Alto (0.02694 a 1.20444), y Muy alto (1.20444 a 2.38194).

Se tiene que 13,281,437 habitantes viven en 67 municipios con un Índice de Sostenibilidad Urbana entre un rango Alto-Muy alto, representando 78.16 por ciento del total de la población del área de estudio (Tabla 3). En contraste aquellos con menor sostenibilidad (Muy bajo y Bajo) concentran 1,778,670 habitantes, representando 10.47 por ciento del total de la población y localizándose en 37 municipios. A su vez, se observa que aquellos municipios con un índice de sostenibilidad medio concentran 1,932,311 habitantes, lo que representa 11.37 por ciento de la población total, así como localizándose en 21 municipios de la entidad.

[5] Método que consiste en "hallar una estratificación óptima, definida como aquella en la cual la varianza del estimador sea mínima al interior de los grupos, y al mismo tiempo la varianza del estimador sea máxima entre éstos" (Román-Sánchez y Sollova-Manenova, 2015, p.138).

Tabla 3: Distribución espacial del grado de sostenibilidad urbana por municipios en 2020

Nivel de sostenibilidad urbana	Número de municipios	Población 2020	Porcentaje de población sobre el total
Muy bajo	16	778,366	4.58
Bajo	21	1,000,304	5.89
Medio	21	1,932,311	11.37
Alto	52	4,924,420	28.98
Muy alto	15	8,357,017	49.18
Total	125	16,992,418	100.00

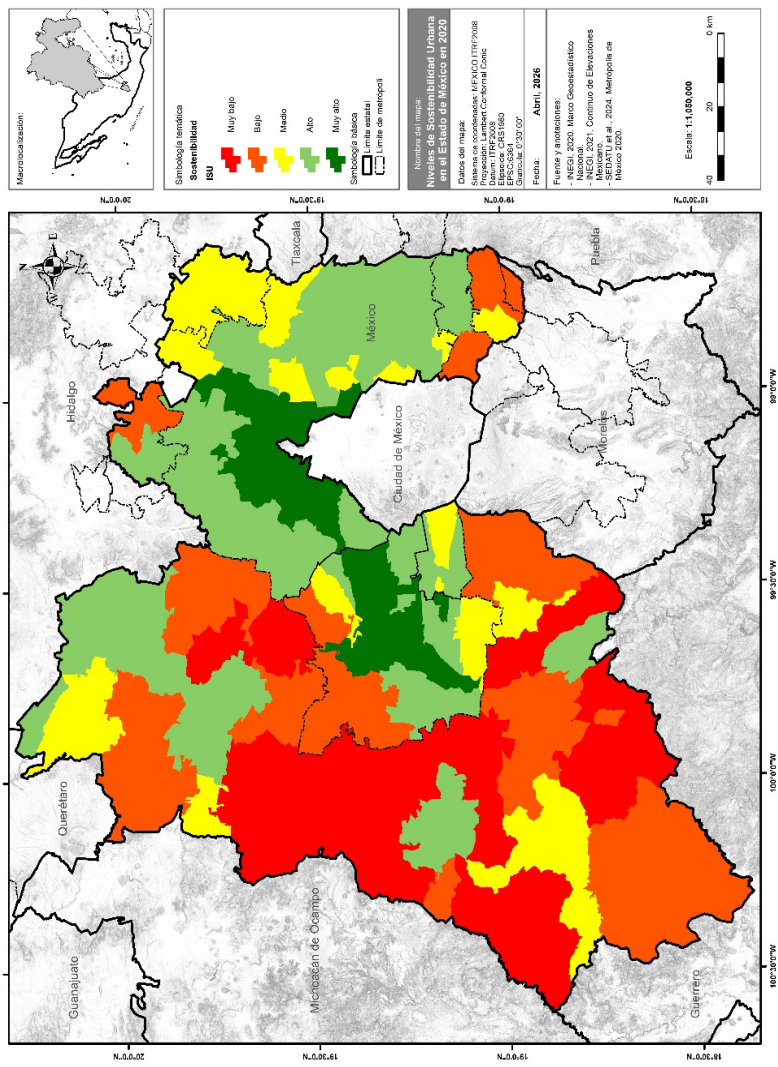
Fuente: elaboración propia con base en Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2021a).

Cabe destacar que no parece existir una relación aparente entre la presencia de los distintos niveles de sostenibilidad con su representatividad espacial además de demográfica en los municipios con Muy alto como Alto nivel de sostenibilidad, en contraste con aquellos municipios que presentan niveles inferiores de sostenibilidad urbana (Mapa 1).

Los municipios con ISU con valores superiores (Muy alto y Alto) se localizan en torno a las principales cabeceras metropolitanas que se identifican en la entidad correspondientes a las Zonas Metropolitanas de Toluca, la Zona Conurbada de Tianguistenco además de parte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México; destacando que los niveles de sostenibilidad no son idénticos para los municipios que integran estos centros metropolitanos. El municipio con mayor índice de sostenibilidad le corresponde al municipio de Metepec (ZMT), seguido por Coacalco de Berriozábal y Cuautitlán Izcalli ambos localizados en la ZMCM. Tanto al suroeste y este de la entidad se encuentra los municipios con menor sostenibilidad urbana.

Para el caso de la Zona Metropolitana de Toluca, integrada por 16 municipios, los que cuentan con mayores niveles de sostenibilidad son: Metepec, Lerma, San Antonio la Isla y Toluca; en contraste, los de menor sostenibilidad con un grado Bajo les corresponden a los municipios de Temoaya y Almoloya de Juárez, localizados al noroeste de la zona metropolitana.

Mapa 1: Niveles de Sostenibilidad Urbana en el Estado de México en 2020



Fuente: elaboración propia con base en el Marco Geoestadístico (INEGI, 2021b).

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, integrada por 63 municipios de los cuales 45 pertenecen al Estado de México, se observa que los municipios con mayor sostenibilidad urbana (Muy alto) son 11: Coacalco de Berriozábal, Cuautitlán Izcalli, Cuautitlán, Tlalnepantla de Baz, Atizapán de Zaragoza, Tecámac, Tultitlán, Naucalpan de Juárez, Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl y Tultepec; los cuales colindan al norte de la Ciudad de México. Por otra parte, los municipios con menor grado de sostenibilidad (Medio) son: Temascalapa, Atenco, Tenango del Aire, Chimalhuacán y Valle de Chalco Solidaridad.

Respecto a la Zona Conurbada de Tianguistenco, los municipios de mayor sostenibilidad (Alto) les corresponden a los municipios de Tianguistenco, Capulhuac, Texcalyacac y Almoloya del Río. En contra parte los municipios con menor sostenibilidad (Medio) son Xalatlaco y Atizapán. En el caso de la Zona Conurbada de Ozumba, los municipios con mayor sostenibilidad (Medio) le corresponde a Ozumba y Tepetixtla; y aquel con un nivel Bajo, le corresponde a Atlautla.

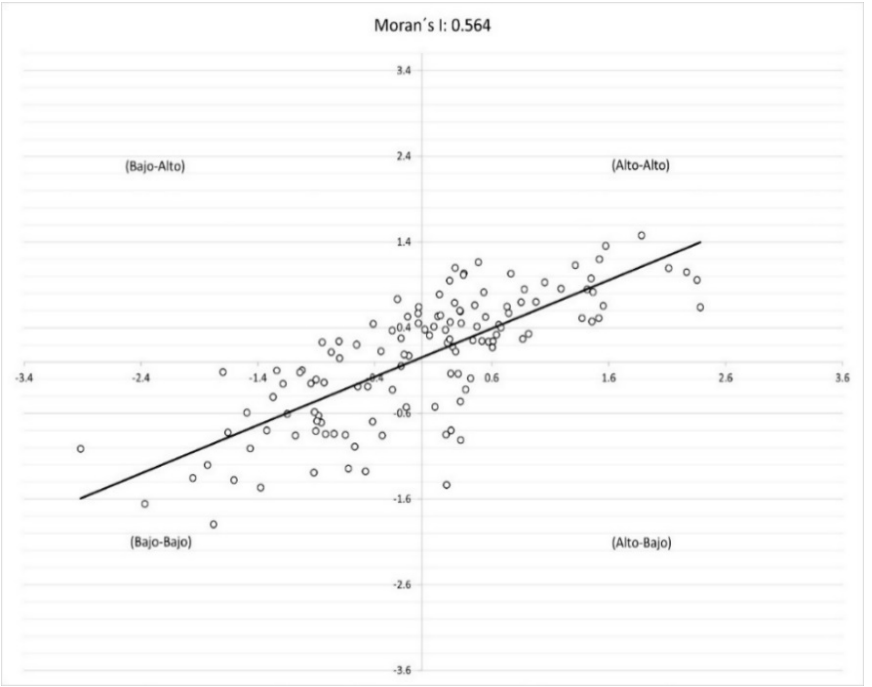
Con relación al comportamiento de la sostenibilidad urbana, aplicando técnicas de asociación espacial para el caso del Estado de México, mismo que permite la identificación de agrupamientos espaciales o clústeres, se calculó que el Índice de Autocorrelación Global de Morán fue de 0.564 (Figura 1), mostrando la existencia de asociación positiva significativa (valores superiores a 0.5), traduciéndose como la presencia en la zona de estudio de uno o varios agrupamientos espaciales de unidades territoriales con valores de sostenibilidad similares (altos y bajos).

En la Figura 1, realizada con GeoDa y Excel, se observa que la pendiente de la recta de regresión indica la importancia de la autocorrelación existente en los cuadrantes de Alto-Alto y Bajo-Bajo. En los cuadrantes identificados se ubican las unidades espaciales (municipios) con un ISU superior o inferior a la media estatal, mismos que se hayan rodeados de municipios con características o valores similares respecto al Índice de Sostenibilidad Urbana, identificando clústeres de tipo Alto-Alto y Bajo-Bajo como se observan en el Mapa 2.

En el año 2020 el Estado de México presentó una significativa asociación espacial de sus niveles de sostenibilidad urbana, en el Mapa 2, en relación con los resultados del Mapa 1, se observa la existencia de zonas de concentración de municipios con Altos y Bajos niveles de sostenibilidad urbana. Básicamente, se identifican dos agrupamientos de clústeres: el primero, el más extenso como poblado, conformando un gran clúster de tipo Alto-Alto, correspondiente a municipios de la Zona Metropolitana

del Valle de México, mismos que limitan con la parte norte de la Ciudad de México, un segundo agrupamiento correspondiente a municipios que se localizan tanto en la Zona Metropolitana de Toluca como en la Zona Conurbada de Tianguistenco.

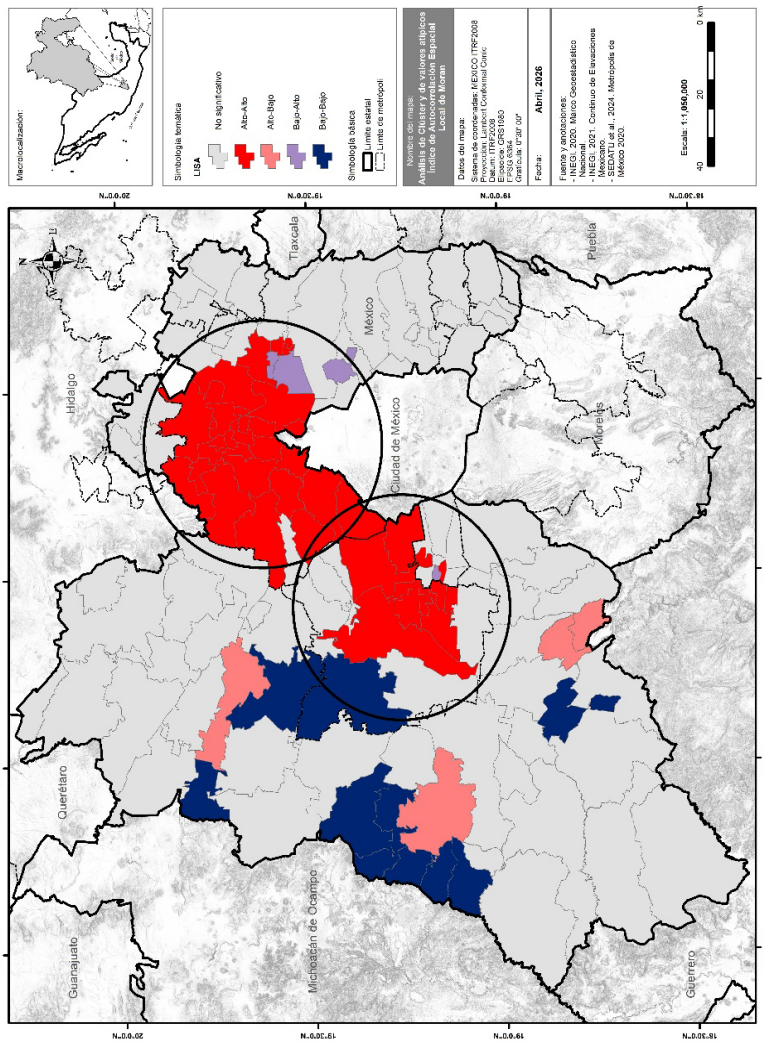
Figura 1: Diagrama de dispersión. Índice de Autocorrelación Global de Morán



Fuente: elaboración propia con base en el Índice de Sostenibilidad Urbana.

Respecto a las características de cada tipo de clúster y como puede verse en la Tabla 4, el clúster Alto-Alto, se encuentra presente en 37 de los 125 municipios de la entidad, concentrando 55.26 por ciento del total de población en 2020, además de inferirse que son municipios más urbanizados. Respecto al clúster de tipo Bajo-Bajo, se encuentra presente en nueve municipios con una representación de 498,802 habitantes, lo que representa 2.94 por ciento del total de la entidad.

Mapa 2: Análisis de Clúster y de valores atípicos (Índice de Autocorrelación Espacial Local de Morán) en 2020



Fuente: elaboración propia con base en el Marco Geoestadístico (INEGI, 2021b).

Tabla 4: Distribución espacial del grado de sostenibilidad urbana por municipios en 2020

Tipo de clúster	Número de municipios	Población total (2020)	Porcentaje de población sobre el total
Alto-Alto	37	9,389,813	55.26
Alto-Bajo	4	180,677	1.06
Bajo-Bajo	9	498,802	2.94
Bajo-Alto	4	840,710	4.95
No significativo	71	6,082,416	35.79
Total	125	16,992,418	100.00

Fuente: elaboración propia con base en el Censo de Población y Vivienda. (INEGI, 2021a)

Discusión

El análisis multidimensional de la sostenibilidad urbana se ha abordado desde distintos enfoques, considerando los acuerdos marcos que toman como base los Objetivos del Desarrollo Sostenible, así como los indicadores para su análisis. Sobre la perspectiva de la sostenibilidad y su relación con su cuantificación. Falivene, Costa y Artusi (2014), señalan que los indicadores que se incorporen deben ser discutidos por todos los actores que participan en la toma de decisiones. Esta tarea no es sencilla desde la perspectiva del urbanismo sostenible, ya que se debe tener un marco común para su abordaje y la construcción adecuada de políticas públicas.

Igualmente, se debe considerar que la sostenibilidad se encuentra integrada al menos por tres grandes dimensiones de análisis: la social, económica y ambiental (Falivene, Costa y Artusi, 2014; BID, 2016a), dependiendo del trabajo que se cite, cambia el nombre asignado a estas dimensiones, sin embargo, parten desde una misma perspectiva de análisis. Además de que aplicando los principios de la sostenibilidad en los espacios urbanos se generan numerosas iniciativas orientadas a su medición como cuantificación a múltiples escalas. Tanto su definición como el monitoreo de los indicadores de sostenibilidad, han dado la posibilidad a organizaciones y autoridades gubernamentales de observar distintas características de los espacios urbanos (Tumini, 2016).

La importancia del uso de indicadores de sostenibilidad urbana y su proliferación se debe a dos principales causas: i) forma de sustentar la toma de decisiones de manera racional-eficiente-responsable y ii) la capacidad en la forma de medir las tendencias en la aplicación de políticas o estrate-

gias, además de proporcionar una herramienta para presionar a las instituciones en el cumplimiento de sus objetivos (Tumini, 2016).

A pesar de ello, la crítica de su uso e instrumentación radica en la dificultad en su interpretación por falta de conexión entre los parámetros medidos junto con los objetivos establecidos entre los distintos instrumentos de sostenibilidad, además de que no están pensados en la forma de medir la capacidad de adaptación a los cambios en los sistemas, sumado a su funcionalidad a lo largo del tiempo, por lo que se sugiere la incorporación del concepto de resiliencia para su evaluación entendida como la capacidad de adaptarse a cualquier cambio en sus condiciones (Tumini, 2016).

Por otro lado, de acuerdo con Barbecho, Angumba, Carzola y Quesada (2022) los indicadores de sostenibilidad están orientados al monitoreo del progreso hacia los ODS, resaltando que en la mayoría de las herramientas de evaluación se pueden agrupar en dos: indicadores urbanos comunes y locales, permitiendo reflejar las prioridades tanto locales sumados a los internacionales de sostenibilidad urbana. Sin embargo, su debilidad radica en que no existe una lista específica de indicadores que se adapte a todos los países con base a las condiciones particulares de cada uno.

En el contexto anterior, en el análisis de la sostenibilidad a nivel municipal, uno de los retos identificados fue la disponibilidad de los datos y su temporalidad. El eje rector del desarrollo del presente trabajo es la propuesta ICES del BID para la selección de indicadores en su actualización en 2016, que se alinea al cumplimiento de los ODS. Sobre la dimensión en la que se centra el análisis es la *sostenibilidad urbana*, integrada por 65 indicadores, pero para el caso de la zona de estudio se implementaron 17, considerando el criterio de la información más reciente para su elaboración.

Respecto a los hallazgos y resultados obtenidos en este trabajo, se observan concordancias con otros estudios reportados en México y Latinoamérica, utilizando técnicas de análisis espacial como una forma de instrumentar la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles del BID, además de aplicar indicadores de sostenibilidad. Entre los que destaca el de Falivene, Costa y Artusi (2014), quienes realizan una aplicación de indicadores de sostenibilidad urbana a la vivienda social.

En la parte teórica resalta el trabajo de Tumini (2016) con un acercamiento teórico para la integración de los conceptos de Resiliencia en los indicadores de Sostenibilidad Urbana. Por otro lado, De Las Heras, Adame, Cadena y Campos (2020) elabora un índice resumen de sustentabilidad urbana a partir de 17 indicadores mediante el método de componentes

principales para el caso de la Megalópolis del Centro de México, tomando como base también la propuesta ICES del BID.

Así como el trabajo de Barbecho, Angumba, Carzola y Quesada (2022), cuyo objetivo es determinar indicadores de sostenibilidad urbana, desechos sólidos sumado a la construcción que se puedan aplicar en la ciudad de Cuenca en Ecuador, tomando como base los distintos acuerdos marco de sostenibilidad. Así como el trabajo de Ortiz y Quesada (2022) que evalúan un marco de Indicadores Sostenibles Urbanos, propuestos con base a los resultados obtenidos del análisis de las herramientas como de las metodologías más relevantes a nivel internacional. Por último, Canales y Moreno (2023), efectúan un análisis de la relación entre sostenibilidad urbana y condiciones de habitabilidad y uso del espacio urbano de la población migrante en una ciudad intermedia del sur de Chile (Temuco).

Sobre la unidad de análisis a escala municipal, se optó por trabajar la información disponible para la construcción del Índice de Sostenibilidad Urbana (ISU). Ya que, a otras escalas de análisis como a nivel manzana urbana, Áreas Geoestadística Básica (AGEB), Localidad Urbana o en su defecto Sección Electoral, en su mayoría se observan limitantes en la construcción de indicadores.

En el Estado de México, los municipios con un nivel de sostenibilidad urbana Muy alto corresponden, en su mayoría, a los municipios centrales de las Zona Metropolitana de Toluca como de la Ciudad de México, tal es el caso de Ecatepec de Morelos (ZMCM), Naucalpan de Juárez (ZMCM) y Toluca (ZMT). De acuerdo con las Estadísticas de Finanzas Públicas Estatales y Municipales 1989-2021 (INEGI, 2022), en el año 2020 estos municipios registraron una mayor captación de ingresos, lo que les ha permitido consolidar su infraestructura urbana además de garantizar mejores servicios a la población.

En contraste, los municipios con los niveles más bajos de sostenibilidad urbana, ubicados en su mayoría al este del estado, presentan ingresos significativamente menores, lo que limita su capacidad para desarrollar infraestructura además de brindar servicios básicos. Ejemplo de ello son Ixtapan del Oro, San José del Rincón y Donato Guerra, donde las restricciones financieras dificultan la promoción del desarrollo urbano con una orientación a la sostenibilidad.

En la aplicación de técnicas de análisis espacial se observa una autocorrelación espacial positiva de los niveles de sostenibilidad urbana en el Estado de México, identificando agrupamientos de unidades espaciales tanto de valores altos como de bajos, observando que los valores más altos

corresponden a municipios altamente urbanizados o en su caso correspondientes a las tres zonas metropolitanas que se identifican en la entidad, además se identifica un corredor con este comportamiento entre municipios correspondientes a la ZMT y ZMCM.

Con relación a la distribución espacial de la sostenibilidad urbana en los municipios que conforman el Estado de México, se observan diferencias entre los municipios más urbanizados con los que se encuentran en un proceso de transición (urbano-rurales) junto con los municipios rurales. Los municipios rurales, en la mayoría de los casos, se encuentran valores de sostenibilidad urbana muy bajos, además de que esta característica no se encuentra presente en ninguna de las zonas metropolitanas de la entidad.

Respecto a la relación del comportamiento del índice, este denota diferencias en el rubro sobre los indicadores que lo conforman, mismos que abordan características de habitabilidad, dotación de servicios e infraestructura, además de características socioeconómicas. Para esta investigación los indicadores de mayor relevancia fueron: acceso a internet, calidad educativa y educación superior; esto se debe a que estadísticamente explican más el fenómeno de estudio, como que tiene un comportamiento inverso al resto de los indicadores seleccionados para la construcción del índice.

Por tanto, en la entidad, como en las demás entidades del país con procesos de crecimiento y expansión urbana, es necesario realizar esfuerzos transversales en los diferentes niveles de gobierno y tener en claro que dichos procesos superan los límites políticos administrativos; por lo que requiere realizar una reestructuración de sus políticas de desarrollo urbano tomando en cuenta leyes, planes y programas, como estrategias en sus diferentes escalas.

Conclusiones

De lo expuesto con anterioridad, se observa que en el análisis de la sostenibilidad urbana es necesario el estudio de elementos urbanos como de su proximidad entre los usos y funciones, constituyendo un aspecto relevante para las propuestas de una gestión orientada a la sostenibilidad urbana. En este sentido, resulta relevante el desarrollo tanto de instrumentos como metodologías de evaluación de la sostenibilidad urbana orientadas en el fortalecimiento de procesos de planificación como de gestión territorial.

Asimismo, los indicadores de sostenibilidad urbana constituyen una valiosa herramienta para la generación de diagnósticos sobre el estado de las ciudades, además de su evaluación del cumplimiento de los objetivos establecidos tanto en los distintos instrumentos de planificación y gestión

urbana, así como guiar futuros procesos de desarrollo bajo modelos de desarrollo urbano sostenible.

Otro aspecto relevante es la fuente de información utilizada para la construcción del índice de sostenibilidad urbana. La mayoría de los datos empleados son de reciente creación, específicamente del año 2020, lo que permite una evaluación actualizada de la sostenibilidad urbana. Además, al tratarse de información de acceso libre, recopilada por diversas dependencias y entidades gubernamentales centralizadas y no centralizadas, se facilita la construcción de cada indicador empleado en el análisis.

No obstante, la literatura ha señalado que una de las principales limitaciones de las metodologías para la evaluación de la sostenibilidad urbana radica en la dificultad de su implementación. En el presente trabajo se corroboró empíricamente al instrumentar la propuesta metodológica ICES del BID (2016a), misma que contempla en esta dimensión 65 indicadores, la restricción en la disponibilidad de información solo permitió reproducir 17 de ellos, equivalente a 26.15 por ciento del total. Este resultado evidencia un obstáculo operativo para la aplicación efectiva de la metodología en el caso de estudio.

A pesar de las consideraciones anteriores, el índice construido fue validado con base a los criterios estadísticos en su elaboración, por lo que es susceptible su reproducción tanto en otras entidades del país o en su defecto zonas metropolitanas. Además, 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.

Sin embargo, a pesar de los avances en materia de políticas que buscan una mejor sostenibilidad urbana con un carácter multidimensional, hay que considerar las disparidades territoriales en las que se encuentra más acentuadas los 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).

Finalmente y en atención a la construcción del índice se pueden implementar otras técnicas de análisis estadístico para calcular el ISU, mismos que consideren la dinámica presente en la zona de estudio. Además, incorpora nuevas variables que puedan ayudar a una mejor comprensión de la sostenibilidad urbana.

Referencias bibliográficas

Andreu Pinillos, A., Fernández-Fernández, J.-L. y Fernández Mateo, J. (2018). "Revisión crítica de la dimensión Gobierno Corporativo en los cuestionarios de los Índices de Sostenibilidad". En *Revista De Comunicación*, 17(2), 9-40. Disponible en https://doi.org/10.26441/RC17.2-2018-A1

Barbecho, J., Angumba, P., Carzola, J. y Quesada, J. (2022). "Indicadores de sostenibilidad urbana para la ciudad de Cuenca: Desechos residenciales sólidos y de construcción. En *Conciencia Digital*, 5(1.2), 27-45. Disponible en https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i1.2.2084

Bhatta, B. (2010). "Measurement and Analysis of Urban Growth". En Bhatta, B. *Analysis of urban growth and sprawl from remote sensing data. Advances in Geographic Information Science* (pp.85-106). Springer.

BID (2016a). *Guía Metodológica. Iniciativia ciudades emergentes y sostenibles*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Disponible en https://publications.iadb.org/es/guia-metodologica-programa-de-ciudades-emergentes-y-sostenibles-tercera-edicion

BID (2016b). *Guía Metodológica. Iniciativia ciudades emergentes y sostenibles. Anexo de indicadores*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Disponible en https://share.google/Vn481hbEWyloEARI8

Bravo, P. (2021). "Autocorrelación espacial - Índices para determinar su presencia en datos geográficos: Breve revisión de la literatura". En *Universidad-Verdad*, 1(78), 48–61. Disponible en https://doi.org/10.33324/uv.v1i78.351

Buzai, G. y Montes, E. (2021). *Estadística Espacial: Fundamentos y aplicación con Sistemas de Información Geográfica* (Versión 1.0). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Impresiones Buenos Aires Editorial.

CAMe (2018). *La megalópolis de la ZMVM*. Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAMe). Disponible en https://www.gob.mx/comisionambiental/articulos/la-megalopolis-de-la-zmvm?idiom=es

Canales, J. y Moreno, R. (2023). "Indicadores de sostenibilidad urbana y procesos migratorios internaciones en ciudades intermedias: la vivienda y el espacio público en dos zonas urbanas de Temuco, Chile". En *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 15, 1-16. Disponible en https://doi.org/10.1590/2175-3369.015.e20210398

Çoban, V. (2023). "Analysis of Consistency Indices of Pairwise Comparison Methods". En *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 16(2), 384-405. Disponible en https://doi.org/10.18185/erzifbed.1241221

CONAPO (2021). *Índice de marginación por municipio, con base en el Censo de Población y Vivienda 2020*. Consejo Nacional de Población (CONAPO). Disponible en https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372

CONEVAL (2021a). *Pobreza a nivel municipio 2010-2020*. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). Disponible en https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Pobreza-municipio-2010-2020.aspx

CONEVAL (2021b). *Cohesión Social. Municipios*. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). Disponible en https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Cohesion_Social.aspx

Data-Driven EnviroLab and New Climate Institute (2020). *Accelerating Net Zero: Exploring Cities, Regions, and Companies' Pledges to Decarbonise*. Disponible en https://datadrivenlab.org/wp-content/uploads/2020/09/Accelerating_Net_Zero_Report_Sept2020.pdf

De Corso, G. y Pinilla, M. (2017). "Métodos gráficos de análisis exploratorio de datos espaciales con variables espacialmente distribuidas". En *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 13 (25), 92–104. Disponible en https://doi.org/10.18270/cuaderlam.v13i25.2417

De Las Heras, D., Adame, S., Cadena, E., y Campos, J. (2020). "Sustentabilidad del desarrollo urbano en la Megalópolis de México: perspectiva desde el análisis espacial". En *Economía, Sociedad y Territorio*, 20 (62), 89-122. Disponible en http://dx.doi.org/10.22136/est20201441

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 and 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. Disponible en https://www.cepal.org/es/publicaciones/36654-aplicacion-indicadores-sostenibilidad-urbana-la-vivienda-social

Gharizadeh Beiragh, R., Alizadeh, R., Shafiei Kaleibari, S., Cavallaro, F., Zolfani, S. H., Bausys, R. y Mardani, A. (2020). "An integrated Multi-Criteria Decision Making Model for Sustainability Performance Assessment for Insurance Companies". En *Sustainability*, 12(3), 4-24. Disponible en https://doi.org/10.3390/su12030789

ICLEI (2021). *ICLEI in the Urban Era: Our Vision for a Sustainable Urban World*. Local Governments for Sustainability (ICLEI). Disponible en https://e-lib.iclei.org/publications/ICLEI_in_the_Urban_Era_2021.pdf

ICLEI (2022). *City-level circular economy interventions to protect and enhance biodiversity*. Local Governments for Sustainability (ICLEI). Disponible en https://circulars.iclei.org/wp-content/uploads/2022/03/Biodiversity-Briefing-Sheet_final.pdf

INEGI (2020). *Censos Económicos 2019*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Disponible en https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/#Datos_abiertos

INEGI (2021a). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Disponible en https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Microdatos

INEGI (2021b). *Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Disponible en https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469

INEGI (2021c). *Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Disponible en https://www.inegi.org.mx/programas/accidentes/#Datos_abiertos

INEGI (2022). *Estadística de Finanzas Públicas Estatales y Municipales 1989-2021*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Disponible en https://www.inegi.org.mx/programas/finanzas/#Tabulados

IPCC (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. The Working Group II. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Disponible en https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/

Ishizaka, A. y Labib, A. (2011). "Review of the main developments in the analytic hierarchy process". En *Expert Systems with Applications* 38 (11), 14336-14345. Disponible en https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.143

Lei, Y., Ma, R., Ye, H. y Chen, D. (2022). "Two-Level Supply Chain Network Construction in big Data Environment". En *Mobile Information Systems* , (1), 1-9. Disponible en https://doi.org/10.1155/2022/3118633

López de la Maza, L., Zumalacárregui de Cárdenas, L. y Pérez Ones, O. (2019). "Análisis de componentes principales aplicado a la fermentación alcohólica". En *Revista Científica de la UCSA*, 6 (2), 11–19. Disponible en https://revista.ucsa-ct.edu.py/ojs/index.php/ucsa/article/view/13

Mendas, A. y Delali, A. (2012). "Support system based on GIS and weighted sum method for drawing up of land suitability map for agriculture. Application to durum wheat cultivation in the area of Mleta (Algeria)". En *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(1), 34-43. Disponible en https://doi.org/10.5424/sjar/2012101-293-11

MITECO (2021). *Cambio climático*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). Disponible en https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/cumbre-cambio-climatico-cop21/resultados-cop-21-paris/default.aspx

New Climate Institute, Data-Driven Lab, PBL (Netherlands Environmental Assessment Agency), DIE (German Development Institute/ Deutsches Institut für Entwicklungspolitik), Blavatnik School of Government, University of Oxford. (2019). *Global climate action from cities, regions and businesses: Impact of individual actors and cooperative initiatives on global and national emissions*. Disponible en https://newclimate.org/sites/default/files/2019/09/Report-Global-Climate-Action-from-Cities-Regions-and-Businesses_2019.pdf

NU y CEPAL (2019). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales*. Naciones Unidad (NU) y Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Disponible en https://www.cepal.org/es/publicaciones/40155-la-agenda-2030-objetivos-desarrollo-sostenible-oportunidad-america-latina-caribe

ONU (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Nuestro Futuro Común*. Organización de las Naciones Unidas (ONU). Disponible en https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD -Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf

ONU-Hábitat (2021). *La Nueva Agenda Urbana ilustrada en español*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat). Disponible en https://onu-habitat.org/index.php/la-nueva-agenda-urbana-en-espanol

ONU-Hábitat, INFONAVIT y SEDATU (2019). *Reporte Nacional de Prosperidad Urbana en México*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat), Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT) y Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU).

Oñate-Valdivieso, F., Álvaez, M., Esparza, C. y Oñate-Paladines, A. (2020). "Evaluación multicriterio aplicada al análisis de movimientos en masa en carreteras de montaña: un caso de estudio en los Andes del sur del Ecuador". En *Avances: Investigación en Ingeniería*, 17(2), 1-13. Disponible en https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6633

Ortiz, P. y Quesada, J. (2022). "Indicadores de sostenibilidad urbana para la ciudad de Cuenca-Ecuador: construcción sostenible de edificaciones". En *Conciencia Digital*, 5(1.2), 105-125. Disponible en https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i1.2.2088

Pérez, C., Lara, G. y Hernández, M. (2022). "Concentración, diversidad y especialización del cooperativismo en México: aplicación de un Análisis Exploratorio de Datos Espaciales". En *REVESCO. Revista de Estudios Cooperativos*, 140, 1–23. Disponible en https://dx.doi.org/10.5209/reve.79941

Román-Sánchez, Y. y Sollova-Manenova, V. (2015). "Precariedad laboral de jóvenes asalariados en la ciudad de Toluca, 2005-2010". En *Convergencia Revista de Ciencias Sociales*, (67), 129-152. Disponible en https://doi.org/10.29101/crcs.v0i67.2185

SEDATU y CONAPO (2024). *Sistema Urbano Nacional 2020*. Secretaría de Desarrollo Agrario. Territorial y Urbano (SEDATU) y Consejo Nacional de Población (CONAPO). Disponible en https://www.gob.mx/conapo/documentos/sistema-urbano-nacional-2020

SEDATU, CONAPO e INEGI (2018). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015*. Secretaría de Desarrollo Agrario. Territorial y Urbano (SEDATU), Consejo Nacional de Población (CONAPO) e Instituto Nacional de Estadís-

tica y Geografía (INEGI). Disponible en https://www.gob.mx/conapo/documentos/delimitacion-de-las-zonas-metropolitanas-de-mexico-2015

SEDATU, CONAPO e INEGI (2024). *Metrópolis de México 2020*. Secretaría de Desarrollo Agrario. Territorial y Urbano (SEDATU), Consejo Nacional de Población (CONAPO) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Disponible en https://www.gob.mx/sedatu/documentos/metropolis-de-mexico-2020?state=published

SEDESOL, CONAPO e INEGI (2004). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2000*. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Consejo Nacional de Población (CONAPO) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Disponible en http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/zonas_metropolitanas2000/completo.pdf

SEDESOL, CONAPO e INEGI (2012). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010*. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Consejo Nacional de Población (CONAPO) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Disponible en https://www.gob.mx/conapo/documentos/delimitacion-de-las-zonas-metropolitanas-de-mexico-2010

SESNSP (2022). *Incidencia delictiva del Fuero Común Municipal 2015-2022*. Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (SESNSP). Disponible en https://www.gob.mx/sesnsp/acciones-y-programas/incidencia-delictiva-del-fuero-comun-nueva-metodologia?state=published

Tucci, F., Cecafosso, V., Altamura, P. y Turchetti. (2023). *Verso la neutralità climatica di architetture e città green*. FrancoAngeli Open Access. Disponible en https://series.francoangeli.it/index.php/oa/catalog/book/987

Tumini, I. (2016). "Acercamiento teórico para la integración de los conceptos de Resiliencia en los indicadores de Sostenibilidad Urbana". En *Revista de Urbanismo*, 34, 4-20. Disponible en https://doi.org/10.5354/ru.v0i34.40056

Van den Broeck, J., Argeseanu Cunningham, S., Eeckels, R. y Herbst, K. (2005). "Data Cleaning: Detecting, Diagnosing, and Editing Data Abnormalities". En *PLoS Med*, 2(10): e267, 0966-0970. Disponible en https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0020267

Vicario-Modroño, V., Gallardo-Cobos, R. y Sánchez-Zamora, P. (2022). "Sustainability evaluation of olive oil mills in Andalusia (Spain): a study based on composite indicators". En *Environ Dev Sustain*, 25, 6363–6392 (2023). Disponible en https://doi.org/10.1007/s10668-022-02307-5

Resumen curricular de los autores y la autora

Israel Vázquez Morán

Doctor en Ciencias Ambientales en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México, Maestro en Estudios de la Ciudad y Licenciado en Geografía por parte de la misma universidad. En relación

a su actividad profesional, se desempeñó como Jefe del Departamento del Sistema de Información Geográfica Municipal del IMPLAN Puebla. Línea de investigación actual: Desarrollo Sostenible y procesos socio-territoriales. Institución de adscripción: Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería. Centro Universitario Sur.
Dirección electrónica: israel.vazquez@uat.edu.mx
Registro ORCID: https://orcid.org/0009-0007-0984-6837

Salvador Adame Martínez

Doctor en Ciencias por el Colegio de Postgraduados. Actualmente profesor-investigador de la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México, líder del cuerpo académico Relaciones Metrópoli-Ambiente. Líneas de investigación actual: riesgo y vulnerabilidad; sistemas de información geográfica y percepción remota y ordenamiento territorial. Institución de adscripción: Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional.
Dirección electrónica: sadamem@uaemex.mx
Registro ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4499-0099

Gaia Turchetti

Doctora en Diseño Tecnológico Medioambiental, Especialista en Patrimonio Arquitectónico y Paisajístico, cuenta con el Diploma de alta especialización e investigación en patrimonio cultural. Además, fue investigadora en el Departamento de Planificación, Diseño, Tecnología Arquitectónica. Actualmente trabaja para la administración pública italiana. Líneas de investigación actual: Arquitectura, tecnología ambiental, Gestión Sostenible, protección del patrimonio arquitectónico histórico. Institución de adscripción: Scuola di Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio, Università di Roma, La Sapienza. Roma, Italia.
Dirección electrónica: gaia.turchetti@uniroma1.it
Registro ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6746-0544

Elda Margarita Hernández Rejón

Doctora en Planificación Territorial y Desarrollo Regional. Actualmente profesora-investigadora de la Facultad de Ingeniería-UAT. Directora del Centro de Estudios Territoriales y del Hábitat, de la Facultad de Ingeniería-UAT. Líder del cuerpo académico Planificación Territorial y Desarrollo Sustentable en áreas metropolitanas. Líneas de investigación actual: Planeación territorial y sustentabilidad urbana, Vivienda y Acceso justo al hábitat, Hábitat sustentable y Asentamientos marginales. Institución de

adscripción: Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería. Centro Universitario Sur.
Dirección electrónica: mrejon@docentes.uat.edu.mx
Registro ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3197-2502

Artículo recibido el 21 de marzo de 2025 y aceptado el 17 de abril de 2026
Publicado el 07 de octubre de 2026