



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



FACULTAD DE QUÍMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

TESIS

LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL DE LA MEGALÓPOLIS DEL  
CENTRO DE MÉXICO. METODOLOGÍA Y EVALUACIÓN. 2010-2015

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta:

Mtro. Daniel De Las Heras Gutiérrez

Tutor Académico:

Dr. Salvador Adame Martínez

Tutores Adjuntos:

Dr. Edel Gilberto Cadena Vargas

Dr. Juan Campos Alanís

Toluca de Lerdo, 30 de Octubre de 2020

# Índice

Resumen.....	3
Abstract .....	4
Introducción .....	5
Planteamiento del Problema .....	6
Justificación.....	8
Hipótesis.....	9
Objetivos .....	10
Objetivo Principal .....	10
Objetivos Particulares y Específicos .....	10
Capítulo 1. Marco Teórico Conceptual .....	12
1.1. Sustentabilidad.....	12
1.1.1. Sustentabilidad y Desarrollo Sustentable .....	12
1.1.2. Sustentabilidad Urbana y Desarrollo Urbano Sustentable .....	15
1.2 Las dimensiones de la Sustentabilidad Urbana.....	17
1.3. La Megalópolis como fenómeno urbano y su problemática .....	19
1.4. Indicadores, Subíndices e Índices.....	22
1.5. Análisis Espacial.....	24
1.6. Zonificación .....	26
Capítulo 2. Antecedentes de estudio y caracterización de la zona de estudio .....	28
2.1. Antecedentes de estudio .....	28
2.2. Caracterización de la Zona de Estudio .....	33
2.2.1. Delimitación y características de la Megalópolis del Centro de México .....	33
2.2.2. Megalópolis en el Sistema Urbano Nacional de México .....	37
2.2.3. Conformación y Evolución de la Megalópolis del Centro de México.....	38
2.2.4. Tendencias actuales y futuras.....	40
Capítulo 3. Metodología.....	42
3.1. Búsqueda y recopilación de información .....	42
3.2. Procesamiento de datos .....	46
3.3. Elaboración de Subíndices e Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana.....	56
3.3.1. Análisis de Componentes Principales .....	56
3.4. Análisis Espacial y Geo-estadístico del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana .....	58
3.4.1. Análisis Exploratorio de Datos Espaciales .....	58
3.4.2. Índice Global de Moran.....	59
3.4.3. Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran .....	61

3.4.4. Índice Bivariado de Moran e Índice Bivariado Local de Moran .....	63
3.5. Zonificación según niveles de sostenibilidad ambiental.....	65
Capítulo 4. Resultados y discusión.....	65
4.1. Artículos de investigación.....	66
4.1.1. Artículo científico publicado <i>Sustentabilidad del Desarrollo Urbano en la Megalópolis de México: perspectiva desde el análisis espacial</i> Revista Economía, Sociedad y Territorio.....	66
4.1.2. Artículo científico aceptado <i>Análisis espacial del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en la Megalópolis de México.</i> Revista Investigaciones Geográficas.....	95
4.2. Otros resultados .....	122
4.2.1. Elaboración y validación de Subíndices e Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU).....	122
4.2.1.1. Subíndice Dimensión I.....	122
4.2.1.2. Subíndice Dimensión II .....	124
4.2.1.3. Subíndice Dimensión III. ....	125
4.2.1.4. Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU) .....	126
4.2.2. Análisis espacial de la Sustentabilidad de la dimensión de riesgos de desastres, cambio climático y calidad medioambiental.....	126
4.2.3. Análisis espacial de la Sustentabilidad de la dimensión de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia .....	131
4.2.4. Análisis Bivariado .....	136
4.2.4.1. Análisis Bivariado. Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana y Subíndices como variables dependientes .....	136
4.2.4.2. Análisis Bivariado. Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana y Subíndices como variables explicativas .....	140
4.2.4.3. Análisis Bivariado. Indicadores de sustentabilidad como variables explicativas. ....	159
4.2.5. Propuesta de Zonificación de la Megalópolis del Centro de México según Sustentabilidad .....	187
4.4. Discusión General.....	192
5. Conclusiones .....	206
6. Bibliografía .....	211



## Resumen

El presente trabajo de investigación, aplicado en los municipios y alcaldías que conforman la megalópolis del centro de México, plantea como objetivo la elaboración de un Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU) a partir de tres subíndices que contemplen las tres dimensiones de la sustentabilidad, de acuerdo con las orientaciones del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), - Dimensión I: riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental, Dimensión II: desarrollo urbano integral y Dimensión III: gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia- con los cuales se analizará el fenómeno desde una perspectiva geográfica mediante técnicas de análisis espacial.

Los índices resumen como el ISAU, son herramientas que, mediante el empleo de técnicas de análisis espacial permiten acceder a la complejidad actual del territorio y al manejo de un número creciente de datos estadísticos; se trata pues de herramientas esenciales en este tipo de temáticas para la identificación de áreas de homogeneidad relativa, con similitud de factores positivos o adversos en sustentabilidad ambiental.

Los subíndices y el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU), se construyeron mediante el método de componentes principales a partir de 35 indicadores, indicadores cuantitativos localizables espacialmente, con la finalidad de detectar diferenciaciones territoriales y el grado de relación existente entre las unidades espaciales analizadas (autocorrelación espacial), en especial de las zonas con menor sustentabilidad ambiental y que, por tanto, puedan requerir acciones correctivas más urgentes. Así mismo, se analizó la correlación espacial existente entre indicadores de sustentabilidad y tasas de mortalidad por diferentes tipos de patologías mediante técnicas de análisis multivariante.

Los indicadores constitutivos de los subíndices del ISAU se obtuvieron a partir de fuentes oficiales desde el año 2010, de manera que pueda ser empleado en todo el ámbito de México con fines analíticos y comparativos entre ámbitos urbanos. El antecedente más conocido de este tipo de metodologías es la del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Una vez elaborados los tres subíndices para cada una de las tres dimensiones de sustentabilidad y del propio ISAU y aplicado en técnicas de análisis espacial en los 189 municipios y alcaldías de la zona de estudio, se realizó una estratificación y zonificación de las áreas con niveles más elevados y más bajos de sustentabilidad.

## **Abstract**

The present research work, applied in the municipalities and mayors that make up the megalopolis of central Mexico, aims to develop an Urban Environmental Sustainability Index (ISAU) based on three sub-indices that contemplate the three dimensions of sustainability, (Dimension I: disaster risk, climate change and environmental quality, Dimension II: integral urban development and Dimension III: fiscal management, governance and transparency) with which to analyze the phenomenon from a geographical perspective using spatial analysis techniques. The unit of study is the municipalities and mayors of the megalopolis.

Summary indexes such as the ISAU are tools that, through the use of spatial analysis techniques, allow access to the current complexity of the territory and the management of an increasing number of statistical data; It is therefore essential tools in this type of studies for the identification of areas of relative homogeneity, with similarity of positive or adverse factors in environmental sustainability.

The subscripts and the Urban Environmental Sustainability Index (ISAU), were constructed using the principal components method based on the 35 indicators, spatially localizable quantitative indicators, with the purpose of detecting territorial differentiations and the degree of relationship existing between the spatial units analyzed (spatial autocorrelation), especially in areas with lower environmental sustainability and, therefore, may require more urgent corrective actions. Likewise, the existing spatial correlation between sustainability indicators and mortality rates for different types of pathologies was analyzed using multivariate analysis techniques.

The constituent indicators of the subscripts and ISAU were obtained from public sources since 2010, so that it can be used throughout Mexico for analytical and comparative purposes between urban areas. The best known background of this type of methodologies is that of the Inter-American Development Bank (IDB).

Once the three sub-indices were prepared for each of the three dimensions of sustainability and the ISAU itself and applied in spatial analysis techniques in the 189 municipalities and mayors of the study area, a stratification and zoning of the areas with more levels was carried out higher and lower sustainability.

## **Introducción**

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo establecer conocimientos más profundos con relación a la problemática ambiental, y más concretamente a la de carácter urbano, mediante la elaboración de un Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana aplicado a estudio de caso para la megalópolis del centro de México con técnicas de análisis geo-estadístico y espacial.

El presente trabajo de tesis se compone de seis apartados introductorios, cuatro capítulos, conclusiones y referencias bibliográficas.

Los apartados introductorios incluyen en primer lugar el Resumen, y su versión en inglés, en el cual se presentan los elementos básicos del trabajo de investigación, seguidamente una breve introducción, en la que se expone la composición y estructura de la tesis, en tercer lugar, el Planteamiento del Problema, donde se presenta estructuradamente la idea y finalidad de la investigación, en cuarto lugar la Justificación, en la que se expone lo pertinente y apropiado de una investigación de esta temática, un apartado en el que se expone el punto de partida sobre el tema de investigación, el de Hipótesis; finalmente, se presentan tanto el Objetivo principal como los objetivos particulares y específicos, que se constituyen como las guías de estudio de la investigación.

El cuerpo principal de la tesis lo conforman los siguientes cuatro capítulos: Capítulo 1, Marco Teórico Conceptual, Capítulo 2, Antecedentes de estudio y caracterización de la zona de estudio, Capítulo 3, Metodología y Capítulo 4, Resultados y Discusión General. Finalmente un apartado de Conclusiones del trabajo de investigación y la Bibliografía.

## Planteamiento del Problema

El fenómeno urbano constituye una de las expresiones más evidentes y características del desarrollo de la sociedad moderna. Aunque las ciudades han funcionado como centros de innovación cultural, social y económica fundamentales para el progreso de la humanidad, también han traído consigo una serie de impactos negativos en términos sociales, económicos y ambientales. Las ciudades determinan retos en materia de escasez de agua y energía; contaminación y emisiones de gases invernadero; congestión del tránsito vehicular; delincuencia; eliminación de residuos sólidos urbanos; acceso a la vivienda, equipamiento e infraestructura, graves desequilibrios socioeconómicos como áreas de elevada marginación y pobreza, entre otros.

En los últimos años, más de la mitad de la humanidad habita en espacios urbanos (51.46% en 2010), de ahí la importancia de las implicaciones medioambientales del fenómeno urbano en la actualidad, además de que es un proceso que se ha incrementado las últimas décadas: 33.56% en 1960; 39.28% en 1980; 46.53% en 2000 y 53.84% en 2015 (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2018). Por otra parte no presenta un comportamiento idéntico en todo el mundo, ya que, en particular, en Iberoamérica la tasa de urbanización ascendió de un 49.28% en 1960 a un 79,82% en 2015, por comparación en Europa y la Comunidad de Estados Independientes (CEI) la tasa se incrementó de un 55.39% en 1960 un 70.87% en 2015, en tanto que en América Anglosajona de un 69.92% a un 81.64%, respectivamente (ONU, 2018).

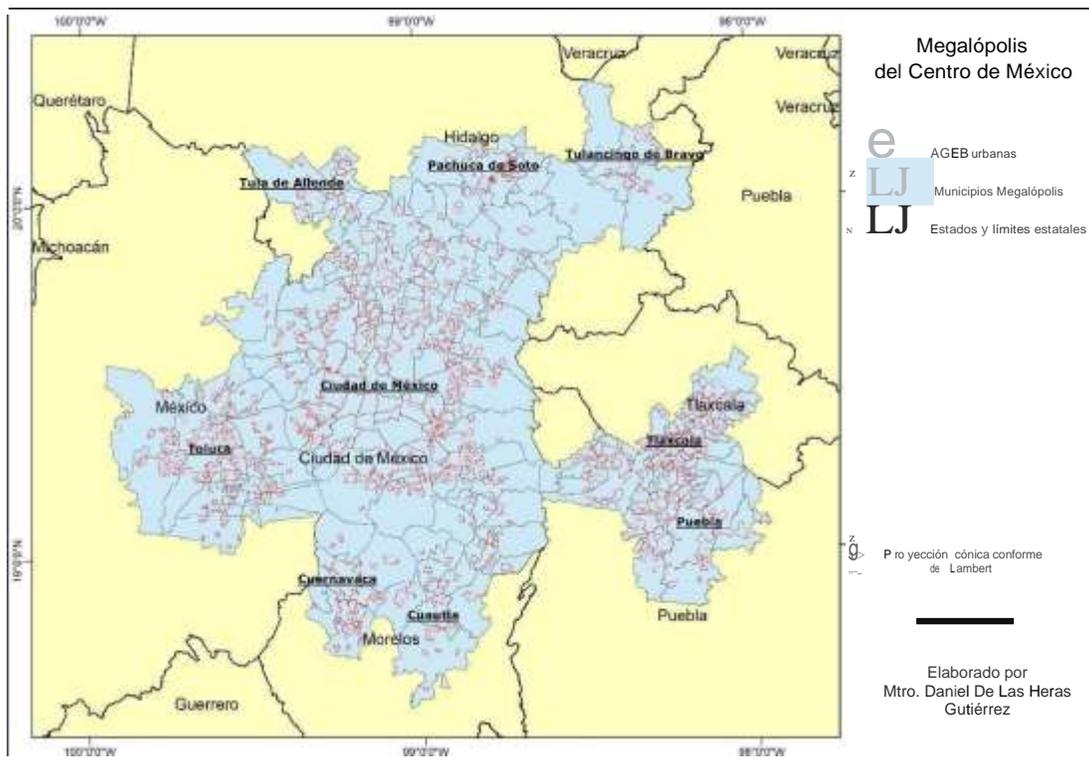
El crecimiento de la población urbana en Iberoamérica no se ha traducido en una mejora de las condiciones de vida de sus moradores (Sánchez González, 2012). Las ciudades en Iberoamérica, en general, constituyen sistemas complejos e interdependientes, en donde los desequilibrios ambientales, económicos y sociales han implicado la generación de barreras para el desarrollo sustentable de las mismas (Martínez Peralta, 2016).

En el caso de México, el proceso de urbanización ha generado en la segunda mitad del siglo XX una megalópolis sustentada por la interacción funcional entre diversas zonas metropolitanas que tienen a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) como su núcleo. La coincidencia desde finales de la década de 1990 de la existencia de una red de metrópolis en el centro de México junto a la capital, ha llevado a la conformación de este gran espacio urbano y rururbano denominado Megalópolis del Centro. Además de la arriba mencionada ZMVM, engloba las siguientes zonas metropolitanas: Valle de Toluca y Santiago

Tlanguistengo; Puebla-Tlaxcala; Cuernavaca; Cuautla; Pachuca; Tlaxcala-Apizaco y Tula-Tulancingo (DOF, 1996).

En 1996 se definió como megalópolis del centro de México a 189 municipios de las referidas zonas metropolitanas: 91 pertenecientes al Estado de México; 16 delegaciones del Distrito Federal (actualmente Ciudad de México); 16 municipios del Estado de Morelos; 29 municipios del Estado de Puebla; 37 englobados por el Estado de Tlaxcala y los 16 restantes del Estado de Hidalgo (Figura 1). Se empleó esta delimitación por tratarse de la primera y seguir contando desde entonces plena validez para comprender la Megalópolis en sus aspectos demográfico, social, económico y ambiental.

Figura 1. Megalópolis del Centro de México.



Con un volumen demográfico de 27 millones 777 mil 19 de habitantes y 18.841,7 km<sup>2</sup> de superficie, este espacio urbano presenta un reto ambiental importante, como así lo constatan los organismos públicos (Gobierno Federal por conducto de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y gobiernos del antiguo Distrito Federal, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla, y Tlaxcala) al crear el 23 de agosto de 2013 un organismo de coordinación denominado Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) con el objeto de llevar a cabo la

planeación y ejecución de acciones en materia de protección al ambiente, de preservación y restauración del equilibrio ecológico.

Es por todo ello, y teniendo en mente el concepto de sustentabilidad urbana en sus tres dimensiones fundamentales<sup>1</sup>, a saber: Dimensión I, de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental; Dimensión II, de Desarrollo urbano integral y Dimensión III, de Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia), en el presente trabajo de investigación se plantea la creación de tres subíndices de cada una de las anteriores dimensiones y finalmente un Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana por medio de 35 indicadores. Este trabajo representa una aportación al análisis y diagnóstico de la situación a nivel municipal de la Megalópolis de México; se realizó un análisis espacial y geo-estadístico por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) con el propósito de analizar y representar la complejidad de la ocupación del territorio de la megalópolis y de los procesos ambientales, demográficos, económicos, sociales y urbanos que en ella se producen. De los resultados obtenidos se deriva información importante, ya que planificadores y gestores pueden priorizar asignaciones de recursos económicos, no solo de forma diferencial entre territorios de la megalópolis (municipios y alcaldías) sino por el tipo de recursos o variables que más inciden en la sustentabilidad ambiental urbana.

## **Justificación**

En el diagnóstico y toma de medidas encaminadas a eliminar las desigualdades territoriales, el análisis espacial aparece como un método de gran utilidad y valor, permitiendo a expertos e instituciones visualizar, acotar y determinar aquellas áreas más necesitadas de acciones reparadoras o correctivas. Teniendo en cuenta la sustentabilidad ambiental, el análisis espacial permite detectar, cuantificar y analizar su dimensión espacial, a fin de obtener información y herramientas necesarias para la aplicación de medidas correctivas y el encauzamiento de los recursos más eficaz y preciso. En definitiva, es un procedimiento que facilita la lucha contra la insustentabilidad ambiental, y algunas de sus causas y consecuencias.

---

<sup>1</sup> En este trabajo de investigación se sigue la concepción de la sustentabilidad ambiental urbana como fenómeno multidimensional, concretamente, en las tres dimensiones expuestas.

El proyecto de investigación consistió en evaluar la sustentabilidad a partir de 35 indicadores de sustentabilidad pertenecientes a tres dimensiones: riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental; desarrollo urbano integral; gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia, generándose tres subíndices y a partir de estos un Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU) por el método multivariado de Análisis de Componentes Principales (ACP).

Estos subíndices e ISAU tuvieron la particularidad de poder ser aplicados a nivel de desagregación de municipio con los datos existentes en México, para el año 2010 y 2015, para el caso de la Megalópolis de México a cada uno de sus 189 municipios tal y como fue delimitada en 1996; ello constituye un punto de vista original sobre el fenómeno ambiental urbano con la aplicación de un análisis geo-estadístico y espacial.

El análisis geo-estadístico y espacial permitió realizar una zonificación de la Megalópolis acorde a sus patrones espaciales de sustentabilidad ambiental, es decir, poder determinar qué zonas de la misma se hallaban en peores condiciones y si existían espacios de aglomeración de bajos índices de sustentabilidad y la existencia de relación positiva o negativa de los resultados con variables socioeconómicas como desarrollo humano y demográficas como mortalidad por distintos tipos de enfermedades.

La falta de sustentabilidad e inequidad espacial de la misma, en la megalópolis de México, se fundamenta en su propia dinámica urbana y estructura institucional, las cuales determinan la ocupación extensiva de territorio y el aprovechamiento ineficaz de sus recursos. Para solventar aspectos apremiantes como la mejora de la calidad del aire, la gestión del agua y el uso más eficiente de los recursos energéticos así como desequilibrios socioeconómicos, dotacionales y financieros, entre otros, se demostró la utilidad del enfoque geo-estadístico y geográfico a las problemáticas ambientales de la megalópolis.

## **Hipótesis**

La Megalópolis del centro de México se extiende a través de 18,841 kilómetros cuadrados y reúne un volumen demográfico de 27 millones 777 mil 019 habitantes. Este fenómeno urbano, único por sus dimensiones, se traduce a priori en un uso altamente insustentable del suelo y sus recursos socioeconómicos y naturales.

La Megalópolis es considerada como un sistema desequilibrado inter-metropolitano, caracterizado por la concentración de actividades productivas y la dispersión de asentamientos humanos periféricos sin servicios ni equipamiento adecuados, genera la ocupación de zonas de valor ambiental y/o agrícola, elevados consumos de agua y energía, y preocupantes niveles de contaminación atmosférica (CMM, 2014), así como en el aspecto socioeconómico, la existencia de fuertes desequilibrios espaciales, con la presencia de una segregación socio-residencial y zonas con elevados niveles marginación y pobreza.

Se parte del supuesto de que el tejido urbano y suburbano de la Megalópolis presencia fenómenos de autocorrelación espacial (clústeres) y heterogeneidad en lo tocante a los patrones espaciales de la sostenibilidad ambiental; en particular con una situación crecientemente insostenible ambientalmente hacia las periferias y en particular hacia el este, con correlaciones espaciales significativas y positivas entre bajos niveles de sostenibilidad ambiental y bajos niveles de desarrollo humano, así como elevada proporción de población con bajos ingresos.

## **Objetivos**

### **Objetivo Principal**

-Evaluar la sustentabilidad ambiental urbana de la megalópolis del centro de México, por medio de la construcción de tres Subíndices y un Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana a partir de 35 indicadores que contemplen las tres dimensiones de sustentabilidad, y con la aplicación de técnicas de análisis espacial que permitan determinar el patrón espacial de la sustentabilidad y detectar y delimitar áreas de atención prioritaria.

### **Objetivos Particulares y Específicos**

- Realizar una revisión de literatura sobre sustentabilidad ambiental urbana y análisis espacial
- Elaborar un marco teórico conceptual sobre la temática de la sustentabilidad ambiental urbana.
- Diseño de un metodología que permita evaluar la sustentabilidad ambiental urbana.

- Construir una base de datos cartográfica de la Megalópolis del Centro de México por municipios y delegaciones.
- Construir una base de datos estadística de la Megalópolis del Centro de México por municipios y delegaciones.
- Diseñar y construir tres Subíndices e Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en diferentes niveles de desagregación.
- Analizar la distribución espacial de los Subíndices e Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en los municipios y delegaciones de la megalópolis del centro de México.
- Correlacionar los patrones espaciales de sostenibilidad ambiental urbana en la megalópolis del centro de México con los patrones de distribución espacial de tasas de mortalidad por diferentes categorías de patologías.
- Elaborar a partir de los resultados del análisis espacial y geo-estadístico de una zonificación de la megalópolis del centro de México según niveles de sustentabilidad ambiental, estableciendo áreas con necesidad de atención correctiva prioritaria.

# Capítulo I. Marco Teórico Conceptual

En este capítulo se presentan conceptos fundamentales del tema de investigación, elaborados mediante un proceso inductivo y organizados con coherencia, en primer lugar se comentan los conceptos de sustentabilidad y desarrollo sustentable, así como su historia y empleo, seguidamente se profundiza en la sustentabilidad en los espacios urbanos. Igualmente se analizan las dimensiones de la sustentabilidad.

Además de la sustentabilidad en el marco conceptual se definen conceptos como los indicadores e índices, y las técnicas metodológicas dentro del marco de la geografía empleadas en este trabajo, el análisis espacial y dentro de este el análisis exploratorio de datos espaciales y la zonificación.

## 1.1. Sustentabilidad

### 1.1.1. Sustentabilidad y Desarrollo Sustentable

Existe una extensa discusión sobre la diferencia entre los términos de sustentabilidad y sostenibilidad, pese a que de acuerdo con la literatura especializada se hace referencia a sustentabilidad en mayor número de trabajos e investigaciones (Graizbord, 2002; Iracheta, 2010 y Satterthwaite, 1998; Lezama & Graizbord, 2010), en este documento se emplea el término sustentabilidad con preferencia.

Los orígenes del término sustentabilidad se remontan a inicios del siglo XVIII, más concretamente a 1713, año en el que se publica "Sylvicultura Oeconomica" obra del germano Hans Carl Von Carlowitz. Posteriormente el término sustentabilidad fue usado por silvicultores franceses los cuales acuñaron la idea de rendimiento forestal sostenido en trabajos de repoblación forestal (Heinberg, 2010).

Un primer acercamiento moderno al concepto de sustentabilidad, tiene su aparición con la aprobación de un documento por la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo Humano que tuvo por título *Nuestro Futuro Común*, más conocido por *Informe Brundtland*, en el año de 1987. En este documento se definió el desarrollo sustentable como el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (ONU, 1987) y explicaba que sin

afectar los fundamentos de la moderna sociedad industrial, existía la posibilidad de corregir sus excesos y recuperar la naturaleza perdida (Lezama y Dominguez, 2006).

Una definición más sencilla de sustentabilidad se puede describir a partir de la explicación de una sociedad sustentable, la cual sería aquella que puede persistir a través de generaciones, que es capaz de mirar hacia el futuro con la suficiente flexibilidad como para no agotar su sistema físico y social de apoyo (Meadows, Meadows y Randers, 1992). La esencia del término sustentabilidad bajo este punto de vista se basa en lo que se puede mantener en el tiempo, ello implicaría que cualquier sociedad que no es sustentable no se puede mantener por mucho tiempo y dejará de funcionar en algún momento (Heinberg, 2010).

Otra aproximación al concepto sustentabilidad significa la promoción del crecimiento económico y la reducción de la pobreza merced a intervenciones que aseguren beneficios ambientales, sociales y económicos perdurables.

Existen tres enfoques distintos del concepto sustentabilidad (Dixon & Fallan, 1989); un primero puramente biofísico (empleado para denominar un grupo de recursos o un ecosistema y definir límites físicos para la explotación de los recursos biológicos renovables, pero se complica por la influencia de fuerzas económicas y acontecimientos externos); el biofísico que toma en consideración las diferentes entradas y salidas del ecosistema en conjunto y finalmente el biofísico, social y económico, que es el que en la presente investigación se sigue como referencia, que considera los aspectos sociales y económicos que influyen y posibilitan la sustentabilidad, también se ha interpretado a este enfoque como el mantenimiento de una serie de objetivos o propiedades deseados de un sistema a lo largo del tiempo que permite el aumento sostenido del nivel de bienestar individual y social. Este enfoque, da énfasis no sólo en el propio ambiente, sino también en la búsqueda del bienestar social; y es que el ambiente no está separado de las acciones humanas y necesidades, por esta razón el término sustentabilidad se encuentra ligado al término desarrollo, al Desarrollo Sustentable.

Para alcanzar el desarrollo sustentable es fundamental armonizar tres elementos básicos, a saber, el crecimiento económico, la inclusión social y la protección del medio ambiente. Estos elementos están interrelacionados y son todos esenciales para el bienestar de las personas y las sociedades.

El concepto de Desarrollo Sustentable se diferencia del propio de sustentabilidad, en el sentido de que la palabra desarrollo hace referencia a aquello que se lleva a cabo para la mejora del modo de vida, y al concepto de transformación y evolución, un cambio gradual y direccional,

que por otra parte implique una reducción de vulnerabilidades o de riesgos (Anderson y Woodrow, 1989).

Lafferty (Lafferty, 1996) hizo explícita una definición alternativa según la cual el desarrollo sustentable es *un concepto normativo usado para prescribir y evaluar cambios en las condiciones de vida, el cual se rige por cuatro principios*. El desarrollo sustentable debe:

-Satisfacer necesidades humanas básicas y estándares de vida razonables para todos los seres vivos (haciendo referencia al concepto de desarrollo).

-Conseguir estándares de vida más equitativos entre y dentro de poblaciones globales (haciendo referencia al concepto de desarrollo).

-Perseguir lo anterior con gran precaución para evitar cualquier riesgo real o potencial hacia la biodiversidad y hacia capacidad regenerativa de la naturaleza ya sea globalmente o localmente (haciendo referencia al concepto de sustentabilidad).

-Conseguir lo anterior sin socavar la posibilidad de conseguir estándares de vida, o de equidad, similares o superiores para generaciones futuras (haciendo referencia al concepto de sustentabilidad).

Esta última definición hace referencia a tres temas: al desarrollo económico (no necesariamente ligado al crecimiento), a temas sociales (en su aspecto de equidad intra e inter generacional) y a las limitaciones ecológicas.

El Desarrollo Sustentable no se define en exclusiva por la relación del hombre con la naturaleza, sino también por las relaciones en el seno de las sociedades, por sus estructuras sociales, sus sistemas de dominación y los recursos de poder de los cuales disponen para llevar a cabo sus proyectos de vida (Lezama y Dominguez, 2000)

A pesar de que el término Desarrollo Sustentable ha tenido una gran aceptación y difusión, existen no obstante, críticas al concepto. Autores como Bermejo (2000) y Sunkel (1980) presentan los siguientes cuestionamientos:

En primer lugar, el concepto desarrollo sustentable es demasiado ambiguo. El término sustentable adolece de un carácter general, es empleado para hacer referencia a una sustentabilidad aplicada en ámbitos que engloban la política, la economía, las finanzas y el ambiente.

Por otra parte, el desarrollo sustentable está estructurado sobre bases teóricas y académicas que permiten aportar una propuesta de tipo analítica que sirve como referencia para el estudio de los problemas ambientales; pero dentro del cuerpo teórico que lo conforma, no existen precisiones sobre cuál es su aplicabilidad.

Existe cierta polémica sobre las características planteadas por el desarrollo sustentable, en particular sobre su finalidad, si es de tipo altruista o egoísta. El planteamiento de límites sobre el uso de los recursos naturales y económicos con la finalidad de garantizar una satisfacción similar a la presente de las necesidades humanas a las generaciones futuras, la interpretación de sus postulados puede verse de forma altruista por la preocupación planteada explícitamente del bienestar de las generaciones futuras. Pero a su vez, al momento de plantear límites sobre el uso de los recursos, se puede apreciar una intención velada de restricción, que puede ser asociada con una visión insolidaria.

Finalmente, los postulados principales del desarrollo sustentable mantienen un carácter antropocéntrico, dicho de otra manera, se centran en tratar de alcanzar el bienestar del hombre, dejando en segundo plano el equilibrio ambiental, manteniendo la relación de subsunción de los recursos naturales hacia el hombre, misma que ha prevalecido desde los enfoques clásicos sobre el estudio del ambiente.

### **1.1.2. Sustentabilidad Urbana y Desarrollo Urbano Sustentable**

Para comprender este concepto de sustentabilidad circunscrita a los ámbitos urbanos se parte de la base de que la mayor parte de la población mundial (54,3% en 2016) y la actividad económica radican en la actualidad en espacios urbanos (80% del PIB mundial); y que gran parte de los problemas ambientales tienen su origen y consecuencias en este tipo de lugares. Es por ello que el estudio de los fenómenos ambientales en las ciudades constituye una herramienta fundamental para la obtención de una adecuada calidad de vida en la sociedad actual.

Así pues, actualmente las ciudades concentran un elevado porcentaje de la población y de la actividad económica. Es por ello que la sustentabilidad urbana es fundamental para lograr una tendencia de desarrollo conveniente para generaciones presentes y futuras. En origen, el propio concepto sustentabilidad hacía referencia a la preservación de la naturaleza. Según Shmelov y Shmeleva (2009) el concepto de desarrollo sustentable se introdujo en 1987 en el Informe de

la Comisión de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo, y era entendido como un proceso de progreso económico armonioso capaz de satisfacer los principios de justicia social y responsabilidad ambiental. En lo referente a esto último, es necesario un compromiso que permita equilibrar metas económicas, ambientales y sociales entre las generaciones presentes y futuras.

No obstante, hasta 1992, en la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo, llamada Cumbre de la Tierra, celebrada por la Organización de las Naciones Unidas, no se reconocieron las ciudades como un área importante para la aplicación del concepto de desarrollo sostenible.

Cabe señalar que el concepto de sustentabilidad abarca diferentes componentes urbanos que trascienden lo ambiental e incluye variables culturales, políticas, institucionales, sociales y económicas. Esta visión amplia ha implicado el desarrollo de metodologías que contemplen el estudio de las ciudades como sistemas holísticos complejos, con múltiples sectores. La aproximación interdisciplinaria puede aportar una comprensión cualitativa y cuantitativa de los problemas de desarrollo y gestión urbana (Imaz, Ayala y Beristain, 2014).

Como ya se mencionó anteriormente, en la literatura especializada en español, se emplean indistintamente los términos sostenible y sustentable; desarrollo sostenible y desarrollo sustentable; sostenibilidad y sustentabilidad (Cortés y Peña, 2015). Méndez Chiriboga (2012), indica que ambos términos no presentan mayor diferenciación con respecto a su aplicación al desarrollo, la diferencia corresponde al lugar donde se utilice el término, sin modificar su objetivo principal, es decir, la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.

En este sentido la sustentabilidad urbana puede definirse como el alcanzar cualitativamente un nivel socioeconómico, demográfico y tecnológico que permita mantener el funcionamiento de la ciudad a largo plazo. De esta manera una nueva perspectiva de la ciudad debe cambiar su modelo tradicional para mantener una calidad ambiental urbana con una visión de futuro, misma que podemos considerar que está en proceso de construcción. El estudio de la sustentabilidad urbana permite elaborar propuestas en torno a diversas problemáticas ambientales territoriales, facilita diagnosticar la condición urbana, sus recursos naturales, el tipo de desarrollo, el impacto ambiental, económico y social igual que la posible participación de los diversos actores sociales (Moreno, 2013).

El término Desarrollo Urbano Sustentable, se relaciona inicialmente con el concepto de Desarrollo urbano, empleado este último para referirse a procesos relacionados con el crecimiento de las ciudades, a nuevas tendencias en la urbanización actual; la desigualdad, la pobreza urbana y la degradación medioambiental urbana; descentralización y provisión de servicios básicos. Todo ello teniendo en consideración tanto el punto de vista ambiental como socioeconómico y espacial (Correa y Rozas, 2006).

Los conceptos de Desarrollo Urbano y Sustentabilidad Urbana nos dan la clave para comprender el Desarrollo Urbano Sustentable, que se aplica a un proceso dinámico orientado hacia el logro de las condiciones de sustentabilidad urbana y considera algunos de los pilares del desarrollo urbano como base para abordar las preocupaciones de los subsistemas que conforman la sustentabilidad en la ciudad: ambiental, económico, social, tecnológico y de gobernanza (Shen et al, 2011; Roy, 2009); el Desarrollo Urbano Sustentable pretende alcanzar el equilibrio de estos subsistemas con el fin de crear ciudades más habitables y productivas (ONU-Hábitat, 2009).

## **1.2 Las dimensiones de la Sustentabilidad Urbana**

La idea de desarrollo urbano sustentable implica el desarrollo urbano como un sistema holístico en el cual los diferentes aspectos sociales, económicos, ambientales e institucionales deben encontrarse armonizados integralmente.

Según Correa y Rozas (2006) el desarrollo urbano esta compuesto de cuatro pilares básicos:

1. El soporte físico, o el territorio, donde existe un entorno natural y recursos, pero también aportes creados o edificados por el ser humano lo que permite satisfacer sus necesidades y mantener su modo de vida.
2. La población alude a la cantidad, el crecimiento, la estructura y la localización de las personas.
3. Las actividades realizadas por la población con la finalidad de subsistir, relacionarse y satisfacer sus necesidades.
4. La gestión y el desarrollo de la institucionalidad que permitan la elaboración de un conjunto de políticas e instrumentos que garanticen la gobernabilidad del espacio urbano.

Este enfoque sirve como base para abarcar los subsistemas que conforman la sustentabilidad en la ciudad: ambiental, socioeconómico y de gobernanza

Guiados por esta consideración y teniendo presente que la sustentabilidad es un fenómeno complejo y multidimensional, en el presente trabajo de investigación se siguió la metodología del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2013), que permitió abordar el análisis de sustentabilidad urbana en tres dimensiones fundamentales:

#### Dimensión 1. Riesgo de Desastres, cambio climático y calidad medioambiental

El desarrollo urbano ha de ocasionar el mínimo impacto negativo sobre el medio ambiente y el espacio, este medio urbano debe desarrollarse con el menor consumo de recursos y energía y generar la menor cantidad posible de residuos y emisiones a la atmósfera y a las aguas.

En este sentido en los espacios urbanos se debe buscar la restauración ambiental, por lo que se debe implementar el ordenamiento de las actividades económicas de la ciudad, así como el uso racional del territorio, hacer congruente la capacidad de uso del territorio con sus actividades productivas y los espacios construidos de la ciudad, las diferentes intervenciones y funciones que se prevén para un territorio determinado y el desarrollo socioeconómico equilibrado entre regiones.

Esta primera dimensión de centra en la gerencia ambiental y control de contaminación local, mitigación del cambio climático y prevención y reducción de vulnerabilidad a los desastres y riesgos naturales. Países Iberoamericanos como México siguen incrementando su población urbana, lo que posiblemente significará un aumento de la vulnerabilidad como resultado de procesos deficientes de planeación urbana y del inadecuado uso y manejo de los recursos. Con la incorporación de criterios de prevención del riesgo ante fenómenos naturales en la planeación urbana, que tomen en cuenta los factores causantes de la vulnerabilidad, será posible un verdadero proceso de urbanización equilibrado que coadyuve al desarrollo sostenible y que no acreciente la vulnerabilidad de la población.

#### Dimensión 2. Desarrollo Urbano Integral

Esta dimensión de sustentabilidad se basa en la pretensión de promover un desarrollo urbano justo y ordenado, en el cual la vivienda, infraestructura, servicios, equipamiento, comercio,

educación, salud y esparcimiento satisfagan las necesidades de los ciudadanos de forma equilibrada, equitativa y sustentable así mismo, se pretende reducir la existencia de segregación y aparición de focos de marginación y pobreza, y el ensanchamiento de las desigualdades económicas de la población.

Igualmente implica al diseño de la ciudad y su huella y abarca desigualdades sociales y distribución desequilibrada de servicios, eficacia de transporte urbano, competitividad y seguridad ciudadana. En el trabajo se denominó esta dimensión como Sustentabilidad Urbana contemplando todas aquellas características urbanas que se consideran prioritarias para lograr una sustentabilidad del desarrollo urbano en el mediano y largo plazo.

### Dimensión 3. Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia

Las áreas urbanas debieran de ser económicamente viables, ello implica no comprometer más recursos que los estrictamente necesarios en los proyectos de desarrollo y a la vez éstos deben aportar una ventaja económica a la ciudad y sus habitantes. Así mismo se tiene en consideración la situación financiera, la gestión del gasto público y el margen de maniobra disponible en virtud del control de deuda pública.

La tercera dimensión se relaciona con la capacidad del gobierno local de financiar inversiones necesarias, lograr la prestación adecuada de servicios su cargo con calidad y cobertura necesarias, un control adecuado de gastos y deuda, así como la toma de decisiones de manera transparente, planificada y eficaz. En muchas ciudades de Iberoamérica es un verdadero reto la generación de recursos e instituciones necesarios para satisfacer la demanda de bienes públicos que tienen los ciudadanos.

### **1.3. La Megalópolis como fenómeno urbano y su problemática.**

Entre la tipología de espacios urbanos por su complejidad y magnitud destacan las megalópolis, se trata de ciudades con funciones globales que se han convertido en enormes regiones urbanas policéntricas (Martínez, 2015). Existen diversas definiciones de lo que se entiende por megalópolis, pero en todos los casos se trata de un espacio urbanizado de gran extensión, volumen demográfico y complejidad espacial. No existe una definición clara única. Puede tratarse de una ciudad con una población de más de 1 millón de habitantes, de más 5 millones o incluso con un volumen demográfico superior a los 10 millones.

Gottman en 1957 fue el primer autor en emplear el término de megalópolis al estudiar las ciudades del noroeste de los Estados Unidos de América (Gottman, 1957), estableciendo unos criterios de densidad superiores a los 2,000 habitantes por km<sup>2</sup> y la presencia de un centro de dominio claro. Las Naciones Unidas han definido la megalópolis como el área metropolitana que tiene más de 1 millón de habitantes. Otra definición sería la de conjunto de ciudades vinculadas entre sí por intereses económicos y culturales.

A mediados del siglo XX emerge en algunos países (Reino Unido, Japón, EE.UU., entre otros) este concepto urbano, ya que con la proliferación de áreas metropolitanas se hizo posible la unión o el traslape espacial o funcional de dos o más de las mismas (Rivas Carmona *et al.*, 2006).

El estudio de las megalópolis plantea grandes problemas, ya que dentro de una megalópolis confluyen problemas muy complejos debidas a las altas concentraciones de población, dotación de servicios, problemas de seguridad pública, concentración de industrias, dotación de infraestructuras y toda una serie de aspectos sociales, políticos y económicos.

En México han aportado algunas definiciones adicionales (Rivas, Carmona, Chávez, García y Maldonado, 2006):

- Complejo urbano y policéntrico resultado de un proceso histórico que determina su contexto geográfico.
- Ciudades que articulan la concentración de distintas áreas urbanas las cuales son producto de una absorción geográfica de territorios.
- Ciudades con características simbólicas basadas en su arquitectura singular y su complejidad urbana que constituyeron un referente de centralidad cultural.

Otras conceptualizaciones del fenómeno megalopolitano en México vienen recogidas en el libro coordinado Eibenschutz Hartman y titulado "La Zona Metropolitana de México: los retos de la megalópolis" (Ramírez, 2010). Se inicia con una conceptualización de Serrano (Ramírez, 2010), en la que se adopta una visión centro-periferia de la Megalópolis del Centro de México la cual esta es vista como ciudad de México, una *periferia incrustada* que se funde con el centro y pasa a formar parte de él.

Más adelante, Serrano (Ramírez, 2010) explora otra visión radial, como en el caso anterior, con connotaciones centro-periferia, en la cual la Megalópolis se considera conformada por la

ciudad de México y un conjunto de valles. En esta definición, Serrano aleja la atención de la periferia pobre que rodea la metrópolis para centrarse en el cinturón de valles, los cuales son vistos como un *cinturón de potencialidades*. Además, la Megalópolis se percibe como un espacio *carente de sentido de comunidad o de participación pública* que presenta un *desmoronamiento del mundo natural* (Ramírez, 2010).

El Fideicomiso de Estudios de la ciudad de México (GDF, 2000) aporta una visión diferente a la de centro-periferia discutida anteriormente, considerando en este caso que la Megalópolis del Centro de México supone la estructuración de sistemas urbanos diferenciados entre ellos que se articulan vía corredores.

Una vez realizada una somera revisión de la literatura especializada en tomo al concepto de Megalópolis, hay una combinación de criterios, características y variables a tener en cuenta como elementos de definición de lo megalopolitano:

-En lo que respecta a la población, además de la concentración de población (10 millones de habitantes según Gottman), se considera importante una alta densidad de población (que varía según los autores y países), y un crecimiento poblacional mayor al crecimiento promedio en el resto del país.

-En la economía: la estructura económica de una megalópolis se caracteriza por su especialización en el desarrollo de actividades económicas industriales y fundamentalmente de servicios, las cuales se desarrollan de forma altamente concentrada y especializada en actividades de alto valor agregado. Así, la megalópolis es un polo de atracción, generador de empleos cualificados, donde se concentran actividades clave para el desarrollo económico.

López Pérez (2009) identifica a las megalópolis como *nodos de la economía global concentran las funciones de dirección, producción y gestión en todo el planeta; el control de los medios de comunicación; el poder de la política real; y la capacidad simbólica de crear y difundir mensajes*.

Dentro del aspecto económico, en lo tocante a la integración, algunos autores (Vicino et al., 2007) identifican la densidad de los flujos (económicos, así como de personas, transportes y comunicaciones) como factores de mayor importancia que la intensidad de la actividad económica *per se*. Así, la delimitación de la Megalópolis debe tener en cuenta la intensidad de las relaciones entre las diferentes zonas metropolitanas

-Geografía e infraestructura: En la delimitación de la Megalópolis es importante considerar la cercanía de las zonas metropolitanas, y cuando es significativo, su contigüidad. Ciertos autores reconocen que la actividad económica, así como las redes de infraestructura como vialidades y redes de servicios públicos (electricidad, agua potable y drenaje), determinan las dimensiones de la Megalópolis en mayor medida que los criterios geográficos; por ello estos elementos también deben ser considerados

Así pues, en México, se ha delimitado y definido una megalópolis, situada en el centro del país, concretamente en torno a la capital, la Ciudad de México. También es conocida como Corona Regional del Centro de México. Se trata de un grupo de áreas metropolitanas en el centro del país. Como tal, fue definida legalmente por vez primera en 1996. Incluye la Zona Metropolitana del Valle de México; Valle de Toluca y Santiago Tianguistengo; Puebla-Tlaxcala; Cuemavaca; Cuautla; Pachuca-Tlaxcala y Tula-Tulancingo (DOF, 1996). En total engloba unos 189 municipios, que en 2010 reunían unos 27 millones 777 mil 19 habitantes en una superficie de 18 mil 841 kilómetros cuadrados.

En la definición de Megalópolis enunciada en 1996, se empleó un concepto que parte de la Ciudad-Región para aludir a una formación de tipo megalopolitano y describe porciones del territorio relativamente integradas entre sí y con la ciudad central, dentro de una amplia zona que ha sido denominada Corona Regional de la Ciudad de México. Este concepto no supone la continuidad física entre las diferentes zonas metropolitanas que conforman la Megalópolis.

Se define como megalópolis de México al área que comprende los municipios correspondientes a las zonas metropolitanas de las capitales de los estados limítrofes al Valle de México, más la totalidad de los municipios que mantienen una relación funcional estrecha con la Ciudad de México y los que se ubican entre las zonas metropolitanas que integran la corona regional de ciudades y la Ciudad de México, además de las delegaciones del Distrito Federal. En total incluye 189 municipios. (DOF, 1996)

#### **1.4. Indicadores, Subíndices e Índices**

En el estudio del fenómeno de la sustentabilidad urbana, y sobre todo en los estudios vinculados al planeamiento urbano y al análisis espacial, es de gran utilidad la elaboración de indicadores o de índices ambientales. Las acciones que se desarrollan en las actuales ciudades requieren ser evaluadas y para ello se precisa identificar y cualificar los indicadores que darán cuenta de

las variables presentes en cada área temática del desarrollo urbano (Torre, 2009). Se han desarrollado numerosos indicadores de sustentabilidad urbana, incluyendo índices compuestos y sistemas de indicadores. Los datos son los componentes básicos de los indicadores y múltiples indicadores componen un sistema de indicadores o, como en este proyecto, un índice compuesto o resumen (Huang, Wu y Yan, 2015)

Los indicadores ambientales son instrumentos de gran utilidad para la organización, sistematización, cuantificación y comunicación de información relativa a diferentes aspectos de medio humano y físico, elementos fundamentales en la toma de decisiones en la gestión ambiental (Cendrero, 1997; OECD, 1993).

Los indicadores pueden combinarse para la obtención de índice agregados, que reflejen realidades complejas, proporcionando criterios para la evaluación de tales realidades (Romanelli y Massine, 2016)

Los índices, subíndices e indicadores sirven para advertir sobre una problemática extrema y ayudan a reconocer lo que se precisa hacer o que dirección tomar para poder revertir determinado proceso negativo.

Un índice se puede entender como una variable elaborada como agregado complejo que combine diversos indicadores con empleo de diversos métodos de normalización y ponderación (Huang, Wu y Yan, 2015). El índice puede ayudar a comprender en que paso se halla una acción correctiva, la dirección que se ha de seguir y cuan distante se está de donde se quiere llegar, tanto para los que toman decisiones como para los pobladores de las áreas en cuestión.

En lo tocante a la sustentabilidad ambiental urbana, los índices, subíndices e indicadores pueden contribuir a asegurar y mejorar la calidad de vida de las ciudades, en concreto en el desarrollo de vida urbana con acceso a educación, salud, empleo, servicios sociales, cultura, recreación, prevención y seguridad. Posibilitan un desarrollo urbano diseñado y planificado, para una mejor adaptación a la amenaza del cambio climático global, favoreciendo las mejoras en la calidad del medioambiente y del paisaje. El planeamiento urbano es una herramienta indispensable en el desarrollo sustentable de los espacios urbanos (Jordao Filho y Souto Maior de Oliveira, 2013).

La elaboración de subíndices y un índice de sustentabilidad urbana, permite:

1. Realizar un análisis y diagnóstico acerca de la sustentabilidad ambiental urbana mediante geoestadística y análisis espacial, de manera que se puedan establecer prioridades de acción.

2. Plan de acción que refleje áreas de atención prioritaria a partir del análisis espacial mediante una zonificación.
3. Facilita un sistema de seguimiento para medir los avances y retrocesos por medio de la cuantificación facilitada y los productos cartográficos.

### **1.5. Análisis Espacial**

Desde la perspectiva ambiental, el medio urbano puede ser entendido como una forma compleja de relación medio-sociedad y desde el punto de vista de la geografía, una parte del espacio geográfico. De esa interacción entre los sistemas naturales y sociales de la ciudad surgen deficiencias o desequilibrios que se manifiestan en problemas socio-ambientales urbanos. Dichos problemas, de preocupación creciente en los distintos organismos de gobierno, en las instituciones y en la sociedad en su conjunto, inciden directa o indirectamente en la calidad de vida de la población local.

El pensamiento geográfico evolucionó a lo largo del siglo XX, generándose tres perspectivas de la geografía: ecológica, corológica y sistémica (Buzai, 2009). De manera sintética, el punto de vista ecológico es considerado como el estudio de la relación del hombre con el medio; la corológica el estudio de la diferenciación espacial y en el caso de la perspectiva sistémica, el estudio de las leyes que brindan las pautas de distribución espacial.

En la investigación geográfica actual se pretende integrar las tres perspectivas de forma simultánea, con el objetivo de realizar análisis e investigaciones de forma más robusta. Para esta integración, el elemento básico es el concepto del espacio geográfico, *ya que todos los aspectos relacionales, de diferenciación y de generalización proporcionarán diferentes manifestaciones sobre él, una serie de aspectos espacializados que proporcionarán las problemáticas a ser analizadas y, al mismo tiempo, la base empírica de toda investigación aplicada* (Buzai, 2009).

La aproximación geográfica a la realidad es principalmente espacial. Esta máxima se halla en el núcleo de la Geografía Tradicional, continuado por la Geografía Cuantitativa y en los últimos años, trasladada al uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Buzai, 1999).

Desde un punto de vista temático, el análisis espacial constituye una serie de técnicas matemáticas y estadísticas aplicadas a los datos distribuidos sobre el espacio geográfico.

Cuando es enfocado desde la tecnología de los SIG se considera su núcleo (sinónimo de su subsistema de tratamiento) ya que es el que posibilita trabajar con las relaciones espaciales de las entidades contenidas en cada capa temática de la base de datos geográfica.

En el ámbito de la Geografía Cuantitativa, el análisis espacial cuenta con dos líneas de definición. En primer lugar la que considera a todo tipo de procesamiento de datos espaciales (O'Sullivan y Unwin, 2003) y en segundo lugar, las que consideran únicamente los aspectos geométricos de las entidades espaciales considerando que el espacio geográfico siempre interviene en el resultado (Berry, 1996).

Lo que es indudable es que en todo momento el basamento del análisis espacial se encuentra específicamente en el espacio geográfico.

La aplicación de técnicas de análisis espacial permite profundizar en la distribución territorial de la sustentabilidad ambiental urbana. De esta manera, se pueden detectar zonas, con precisión y respaldo estadístico, que requieren medidas para afrontar sus problemáticas ambientales existentes.

Así pues, el análisis espacial pone en evidencia estructuras y formas de organización en el medio geográfico, como modelos centro-periferia o tramas urbanas jerarquizadas, tipos de redes o de territorios, analiza los procesos que están en el origen de las estructuras antes mencionadas (Montezuma, 2009).

El análisis espacial, se vale de conceptos como la distancia, interacción espacial, alcance espacial, estrategia o elección espacial, territorialidad, leyes de la espacialidad vinculadas con esas formas y procesos y que están integradas con las teorías y modelos del funcionamiento y evolución de sistemas espaciales.

El Análisis Exploratorio de Datos Espaciales es un conjunto de técnicas estadísticas creadas para detectar patrones y tendencias en los datos, y poder así formular hipótesis sobre los mismos (Hemández-Hemández, 2015). Estas técnicas describen y visualizan distribuciones espaciales

En la investigación mediante el análisis espacial se indagó en el descubrimiento de la estructura ambiental urbana por medio de un análisis de autocorrelación espacial (Índice de Moran) que permitió detectar zonas de configuraciones ambientales diferenciadas y un acercamiento al grado de inequidad al considerar la asociación existente entre las unidades espaciales en relación al Índice de Sostenibilidad Ambiental Urbana.

Con las técnicas de análisis espacial, en particular de correlación espacial, se analizó si existen valores significativos entre los niveles del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana y la tasa de mortalidad por enfermedades digestivas, respiratorias, neoplasias y malformaciones congénitas en cada uno de los municipios y delegaciones de la megalópolis del centro del país.

El estudio de la distribución geográfica y asociación espacial de los eventos de salud es denominada epidemiología espacial (Pérez, 2014). Este término se emplea para describir estudios sobre las causas y la prevención de las enfermedades empleando análisis estadístico en el cual los patrones espaciales de los eventos se configuran como un factor significativo. Uno de sus principales objetivos es mostrar qué parte de la variación espacial de la distribución de la frecuencia de una enfermedad pueda estar explicada por factores de riesgo (baja sustentabilidad ambiental) y no atribuidas al azar.

Ello porque según la OMS un 24% de la carga mundial de morbilidad y un 23% de la mortalidad son atribuibles a factores medioambientales. En diversos estudios, se ha demostrado la relación causa efecto de la contaminación atmosférica y de las aguas sobre la morbilidad, especialmente en enfermedades cardiorrespiratorias (Franco, 2012), neoplásicas, digestivas e infecciosas (Riojas, Schilman, López y Finkelman, 2013).

## **1.6. Zonificación**

Se han realizado muchos estudios y trabajos prácticos relacionados con el uso y ocupación del suelo utilizando nuevas metodologías y técnicas cada vez más avanzadas, priorizando la caracterización del medio físico para la planificación. La Agenda 21 (ONU, 1992) destaca la necesidad de revelar los recursos del suelo y clasificarlos de acuerdo con su uso más apropiado. Menciona precisamente la necesidad de identificar las áreas ambientalmente frágiles o sensibles a sufrir catástrofes.

Se sabe que el modelo de desarrollo ambiental que se viene dando en las ciudades se caracteriza por la degradación. Esta degradación es el reflejo de los impactos de la urbanización depredadora del ecosistema, confirmando la ausencia de políticas que ordenen el uso y ocupación del suelo.

La zonificación ambiental se trata de una herramienta metodológica que permite la diferenciación espacial de áreas geográficas, y que ha sido aplicada como un instrumento de planificación y ordenamiento ambiental del territorio (López, Lozano y Sierra, 2012)

La aplicación de esta herramienta consiste en la definición de unidades homogéneas que se conforman a partir de la integración de diferentes criterios, que van desde las características físicas y bióticas que conforman el sistema hasta las interacciones socioeconómicas del entorno (Balaguer et al., 2008; Varghesea et al., 2008). Se entiende como criterios, aquellos atributos que caracterizan un ambiente, los cuales se pueden expresar en forma cuantitativa o cualitativa, y su aplicación determina la asignación de categorías de zonificación a las unidades diferenciadas (Salzwedel et al., 2003; Portman, 2007; Ortiz-Lozano, L., Granados-Barba, A., y Espejel, 2009), los criterios son descriptores de la situación general del área: los ecosistemas presentes, su función, los impactos ambientales y socioeconómicos. En nuestro caso, el criterio lo determinará los resultados del análisis espacial con el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana.

## **Capítulo 2. Antecedentes de estudio y caracterización de la zona de estudio.**

En el presente capítulo se presentan los antecedentes de estudio, donde se realiza un breve recorrido sobre la investigación científica de sustentabilidad y desarrollo sustentable en zonas urbanas y la elaboración de indicadores e índices para su estudio, así como el estado de la cuestión en la actualidad, y la caracterización de la megalópolis, su situación, su geografía humana, proceso de formación, evolución espacial y demográfica y perspectivas de futuro.

### **2.1. Antecedentes de estudio**

En las últimas décadas se ha generalizado el diseño y empleo de indicadores e índices de sostenibilidad ambiental. Generalmente se trata de discusiones teóricas y en los trabajos de aplicación de estudios de caso normalmente se trata de exposición descriptiva sin dimensión espacial ni geo-estadística. A pesar de que generalmente se consideran las ciudades como espacios complejos, no se emplean técnicas que permitan averiguar el impacto ambiental según sus patrones de distribución espacial ni las interrelaciones existentes con otras variables socioeconómicas.

A pesar de la amplia preocupación social e intelectual, la iniciativa de promover el desarrollo sustentable ha sido de manera institucional, sobre todo por la Organización de Naciones Unidas (ONU), apoyada por las estancias de gobierno involucradas con el medio ambiente y los recursos naturales en cada uno de los países. (Torres, Adame y Campos, 2014)

Las primeras acciones de la ONU dieron lugar a la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano (Estocolmo en 1972), donde se manifestaron por primera vez las preocupaciones de la comunidad internacional en torno a los problemas ecológicos y del desarrollo.

En 1976 tuvo lugar la Conferencia Mundial de Naciones Unidas sobre Asentamientos Humanos, conocida como Hábitat I, celebrada en Vancouver. En esta conferencia se expresó la necesidad de mejorar la calidad de vida través de la provisión de vivienda adecuada para la población. (Torres, Adame y Campos, 2014)

Un hito fue el llamado Informe Brundtland (1987), en este informe se adoptó la siguiente definición de desarrollo sustentable: *aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*. El informe fue ratificado en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro en 1992 y fue aprobado igualmente el Programa de Acción para el Desarrollo Sustentable, la Agenda 21. A partir de este instrumento los países signatarios se comprometieron a instrumentar, mediante la generación de indicadores, la gama de aspectos o temas implícitos en la noción de Desarrollo Sustentable. (Torres, Adame y Campos, 2014)

En la selección de indicadores de sustentabilidad ambiental urbana existen ciertas orientaciones básicas (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2009):

1. Relevancia en el marco del modelo de ciudad sustentable
2. Utilidad y eficacia para medir el progreso hacia el objetivo de cuantificar la sostenibilidad.
3. Búsqueda de variables que permitan establecer comparaciones entre territorios y tejidos urbanos diversos.
4. Viabilidad en cuanto a disponibilidad de información de base.

Aunque el número de indicadores empleados en los estudios ambientales de carácter urbano es variable, existen unas dimensiones a las cuales se adscriben todos ellos, de características sociales, económicas, ambientales y gubernativas.

El Banco Interamericano de Desarrollo establece tres desafíos a tener en cuenta en la cuantificación de la sostenibilidad urbana: Riesgo de desastres y cambio climático (Gestión del medio ambiente y consumo de recursos naturales; Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes y reducción de la vulnerabilidad); dimensión de Sostenibilidad Urbana (Uso del suelo; Ordenamiento del territorio; Desigualdad urbana; Movilidad y transporte; competitividad económica, empleo y conectividad; educación; seguridad y salud); la dimensión de Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia evalúa los mecanismos adecuados de gobierno, la gestión adecuada de los ingresos, gastos y deuda pública. Las tres dimensiones propuestas por el BID son de carácter Ambiental, Socio-económico y Gubernativo-Financiero respectivamente.

El análisis del desarrollo sustentable urbano incorpora elementos ecológicos, económicos y sociales (BID 2011; Mori y Christodoulou, 2011; BID, 2013; Li Shen y Xulin Guo, 2013).

Estos tres elementos se traducen en tres dimensiones que fueron precisamente las empleadas en una propuesta para la medición de la sustentabilidad en la zona metropolitana de Toluca (Torres, Adame y Campos, 2014), con un total de 54 indicadores.

En cambio otros autores establecen 4 dimensiones (Torre, 2009): Dimensión de Habitabilidad; de Equidad; de Competitividad y de Gobemanza aunque en la práctica engloban idénticos aspectos: la dimensión de Habitabilidad se correspondería con las dimensiones Ambiental y Socio-económica del BID; la dimensión de Equidad con la Socio-económica en tanto que las dos últimas, Competitividad y Gobemanza quedarían englobadas en la dimensión de Gestión fiscal, gobemabilidad y transparencia propuesta por el BID.

En la actualidad ya existe una experiencia internacional en elaborar índices de sustentabilidad urbana. Siemens, Corporate Kinghts y General Electric (IMCO, 2014) han elaborado índices de ciudades sustentables y *verdes*. El Índice Verde de Siemens, aplicado a 17 ciudades de Iberoamérica, pretende medir y evaluar el desempeño ambiental de las ciudades participantes evaluando las siguientes variables: Energía; Emisiones de CO<sub>2</sub>; Uso de tierra y edificios; Transporte; Residuos urbanos; Agua; Saneamiento; Calidad de aire y Gobemanza ambiental. El Índice de ciudades sustentables de General Electric (*Forum for the Future*) marca por objetivo el proveer un panorama sustentable, alentando una competencia sana de discusión y sugerencias. Se aplicó en las 20 mayores ciudades del Reino Unido a tenor de las siguientes variables: Calidad del aire; Biodiversidad; Residuos domésticos; Huella ecológica; Empleo; Acceso al transporte; Educación; Salud; Espacios verdes; Cambio climático; Economía y Reciclaje. Un tercer caso es el de Corporate Knights cuyo índice pretende determinar cómo se desempeña una ciudad comparada con otra en cuanto a sustentabilidad. Se aplicó en 20 ciudades de EEUU con los siguientes sub-índices: Calidad del medio ambiente; Seguridad económica; Gobemabilidad y empoderamiento; Infraestructura y energía, y finalmente el Bienestar social.

En Iberoamérica se han elaborado igualmente indicadores de sustentabilidad ambiental urbana, como es el caso de Colombia (Andrade y Bermúdez, 2010) con la finalidad de realizar un diagnóstico de los 10 principales centros urbanos del país. Estos indicadores (un total de 20) fueron englobados en tres factores: Sociales y Económicos; Territoriales y Urbanísticos y en tercer lugar Ambientales.

Más concretamente, en México se ha creado un índice de ciudades competitivas y sustentables, aunque con una finalidad descriptiva y generalizada. Se trata de un trabajo conjunto del Banco

Nacional de México S.A. (Banamex), el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C. (Banobras), el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores, (Infonavit) el Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C. (Cmm), y el Instituto Mexicano para la Competitividad, A.C. (Imco).

Este índice se traduce en un listado de las principales ciudades de México (un total de 79 para el año 2014) con un puntaje en una serie de sub-indicadores de competitividad y sustentabilidad, en particular, en lo tocante a la sustentabilidad se tienen en cuenta los siguientes sub-índices: uso del agua; calidad del aire; disponibilidad de áreas verdes; manejo de residuos sólidos urbanos y uso de energía. En el índice de Competitividad se calculan los siguientes sub-índices: sistema de derecho confiable y objetivo; sociedad preparada, incluyente y sana; sistema político estable y funcional; gobiernos eficientes y eficaces; mercado laboral; economía estable; sectores precursores; Aprovechamiento de las relaciones internacionales; Innovación en los sectores económicos. La unión de ambos índices (Competitividad y Sustentabilidad) se representa por medio de una gráfica de dispersión cuya meta es encontrar un balance entre competitividad y sustentabilidad. Como resultado, se presenta la unión de ambos índices por medio de una gráfica de dispersión cuya meta es encontrar un balance entre competitividad y sustentabilidad. Según esta metodología una ciudad será mejor evaluada cuando tenga un mayor equilibrio entre ambas variables.

No obstante, aunque se afirma que el Índice de Competitividad pudo ser calculado *gracias a mejores fuentes de información y a nuevas tecnologías que permitieron el uso de fuentes no convencionales*, en ningún momento se presenta adecuadamente la metodología de elaboración de subíndices de carácter tan subjetivos como *sistema de derecho confiable y objetivo; sociedad preparada, incluyente y sana; sistema político estable y funcional o gobiernos eficientes y eficaces*. (BANAMEX, BANOBRAS, INFONAVIT, 2014)

En Argentina, se ha aplicado el análisis espacial en estudios ambientales urbanos (Zulaica y Celemín, 2008; Zulaica y Ferraro, 2012; Zulaica, 2013) mediante la elaboración de un Índice de Calidad de Vida Socioambiental (ICVSA), en la ciudad de Mar del Plata. En este estudio se emplean los radios censales como unidad de referencia espacial. El índice es una integración de indicadores sociales y ambientales. El análisis de los indicadores agrupados en cinco dimensiones (educación, salud, habitacional, pobreza y ambiental). Como técnica de análisis espacial se aplica la Autocorrelación. Se averiguó gracias al empleo del análisis espacial la existencia de diferencias entre el sector urbano y periurbano, hallándose en este último

heterogeneidad espacial y situaciones críticas en los referente a la calidad de vida socioambiental y gracias al uso de técnicas de correlación espacial geográfica se pudo profundizar en la distribución territorial del índice, detectándose zonas, con alto nivel de detalle, que requerirían medidas para afrontar las problemáticas socioambientales existentes.

En Chile existen estudios ambientales de carácter urbano igualmente con enfoque espacial (Escobar, 2006), que contemplan índices ambientales (en este caso índice de calidad ambiental, ICA) como una variable latente explicada por un conjunto de indicadores ambientales simples que lo determinan. En este estudio se parte de la no-homogeneidad espacial del hecho ambiental urbano y se plantea el desarrollar metodologías a niveles más desagregados es una línea de investigación relevante, ya que las grandes concentraciones urbanas serían sistemas complejos en donde las situaciones ambientales (positivas y negativas) pueden presentar diferencias significativas entre zonas de una misma ciudad. Ello justificaría la construcción de información adecuada que permita, a los tomadores de decisiones, diseñar y priorizar la ejecución de estrategias ambientales que impacten de forma diferencial las distintas zonas en la ciudad.

El resultado de la aplicación del índice en un estudio de caso para la ciudad colombiana de Cali fue una estratificación de las comunas urbanas según su calidad ambiental en cuatro niveles: Calidad ambiental muy buena, Calidad ambiental buena, Calidad ambiental regular y Calidad ambiental deficiente, elaborando la correspondiente cartografía.

Shen y Guo (2014) aplicaron técnicas geomáticas y análisis de patrones espaciales de sustentabilidad ambiental urbana por medio de la generación de un índice a partir de una jerarquización de indicadores ambientales que pudiese ser empleado como herramienta de medición, empleando su metodología en un estudio de caso para la ciudad canadiense de Saskatoon. La finalidad de los Indicadores de Sustentabilidad Urbana creados fue la de poder monitorizar espacialmente la sustentabilidad y detectar con respaldo geoestadístico patrones espaciales. Igualmente se pretende que estas herramientas geomáticas sirvan para detectar patrones espaciales útiles para planificadores urbanos y entes administrativos.

En Ecuador (Cabrera-Jara et al, 2015) se llevó a cabo un trabajo que tuvo por objetivo la creación de un sistema de indicadores que midieran la sustentabilidad urbana en ciudades ecuatorianas. La propuesta implicó dos aspectos básicos, la importancia de construir un sistema de indicadores que recogiese la complejidad urbana y pudiese sintetizarse en un índice sintético y en segundo lugar la necesidad de mostrar la dimensión espacial de los resultados con el objeto

de poder comparar diversos tejidos urbanos. La metodología empleada incluyó la construcción de un sistema de indicadores; la selección de un área de estudio; el levantamiento de información primaria y secundaria y finalmente la implementación de un modelo de evaluación. El sistema de indicadores fue aplicado en una zona en proceso de consolidación en la ciudad de Cuenca, Ecuador y así poder evaluar las potencialidades y limitaciones de la metodología.

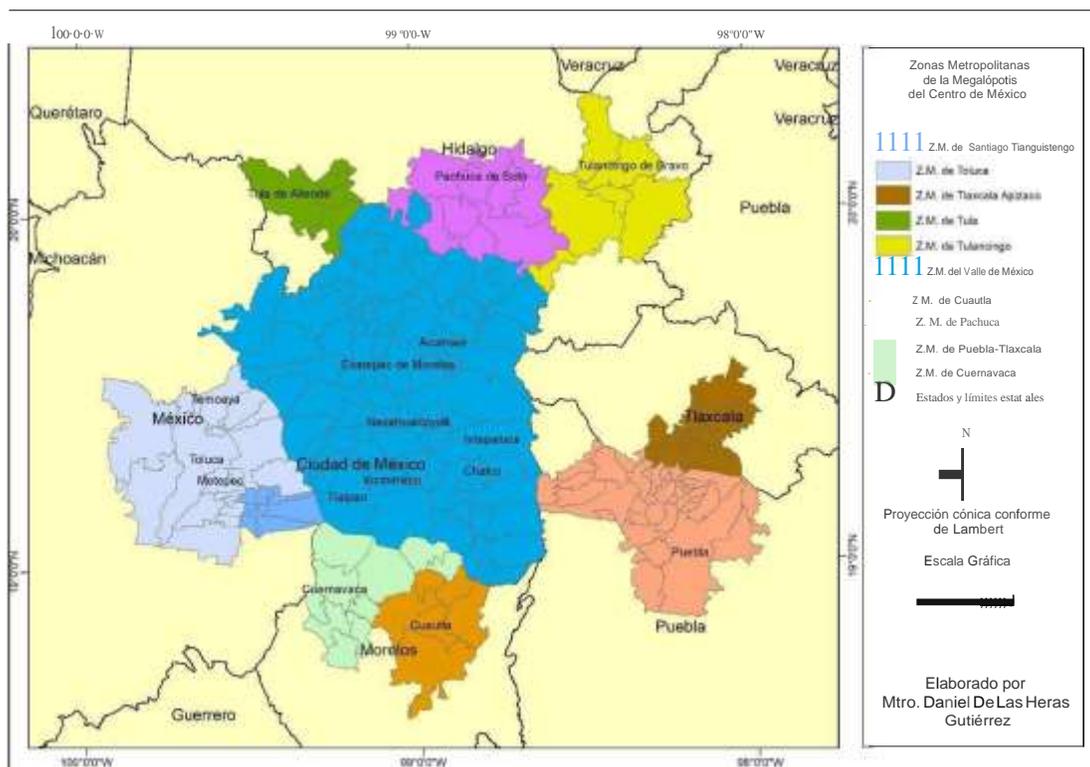
## **2.2. Caracterización de la Zona de Estudio**

### **2.2.1. Delimitación y características de la Megalópolis del Centro de México.**

En México el crecimiento demográfico, el éxodo rural y el desarrollo socioeconómico espacialmente desequilibrado ha generado en la segunda mitad del siglo XX una megalópolis dentro de su estructura urbana, sustentada por la interacción funcional entre diversas zonas metropolitanas que tienen a la Zona Metropolitana del Valle de México como su núcleo. La coincidencia desde finales de los 1990 de la existencia de una red de metrópolis en el centro de México junto a la capital, ha llevado a la conformación de un gran espacio de carácter urbano y rururbano de la denominada "Megalópolis del Centro". Además de la arriba mencionada Zona Metropolitana del Valle de México, engloba las siguientes zonas metropolitanas: Valle de Toluca y Santiago Tianguistengo; Puebla-Tlaxcala; Cuemavaca; Cuautla; Pachuca-Tlaxcala y Tula-Tulancingo.

En la figura 2 aparecen los límites y municipios de las siguientes zonas metropolitanas constitutivas de la megalópolis: Valle de México; Valle de Toluca y Santiago Tianguistengo; Puebla-Tlaxcala; Cuemavaca; Cuautla; Pachuca-Tlaxcala y Tula-Tulancingo. Su extensión y volumen demográfico muestran gran heterogeneidad (Tabla 1). Su población es de 27,777,019 habitantes en el último censo de población (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2011a) y ocupando una superficie de 18,841 kilómetros cuadrados (Tabla 1).

Figura 2. Megalópolis del Centro de México y zonas metropolitanas.



Fuente: Marco Geoestadístico de INEGI (2010a) y de Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010 (Consejo Nacional de Población [CONAPO], 2012a). Elaboración propia.

En 1996 se definió como megalópolis del centro de México el espacio compuesto por los 189 municipios y delegaciones (actualmente alcaldías<sup>2</sup>) de las referidas zonas metropolitanas: 91 pertenecientes al Estado de México; 16 delegaciones (alcaldías en el presente momento) del Distrito Federal (en la actualidad Ciudad de México); 16 municipios del Estado de Morelos; 29 pertenecientes al de Puebla; 37 englobados por el Estado de Tlaxcala y los 16 restantes del Estado de Hidalgo (DOF, 1996). Se empleó esta delimitación por tratarse de la primera y seguir contando desde entonces plena validez para comprender la Megalópolis en sus aspectos demográfico, social, económico y ambiental. Así pues la delimitación presente incluye, además de los municipios que están o estarán directamente afectados por el crecimiento de la Megalópolis, aquellos otros cuya localización, nivel de vulnerabilidad ante posibles desastres

<sup>2</sup> La alcaldía es el órgano político administrativo de cada demarcación territorial de la Ciudad de México, que han sustituido a las antiguas delegaciones en 2018 (Gaceta Oficial de Ciudad de México de 4 de mayo de 2018)

y características naturales ofrecen condiciones adecuadas para la expansión urbana y la estructuración megalopolitana.

Tabla 1. Zonas Metropolitanas de la Megalópolis del Centro de México. Superficie y población

Zona Metropolitana	Total de Municipios	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje de Superficie sobre total	Población Total (2010)	Porcentaje de Población sobre total.
Cuautla	6	978.84	5.2	434,147	1.56
Cuemavaca	9	1118.36	5.92	893,508	3.22
Pachuca	9	1403.29	7.45	205,812	1.93
Puebla-Tlaxcala	37	2052.72	10.87	2,633,275	9.48
Santiago Tianguistengo	6	303.16	1.61	157,944	0.57
Tlaxcala-Apizaco	19	707.63	3.76	499,567	1.79
Toluca	16	2410.05	12.79	2,014,091	7.25
Tula	5	590.92	3.13	537,078	0.74
Tulancingo	6	1416.85	7.52	284,755	1.02
Valle de México	76	7859.91	41.72	20,116,842	72.42
Total Megalópolis	189	18,841.73	100	27,777,019	100

Fuente: Marco Geoestadístico Municipal (AGEM) (INEGI, 2010a) y Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2011a). Elaboración propia.

Con un volumen demográfico de 27 millones 777 mil 19 de habitantes y 18,841.7 km<sup>2</sup> de superficie, este espacio urbano representa una grave problemática ambiental, como así lo constatan los organismos públicos (Gobierno Federal por conducto de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y gobiernos del antiguo Distrito Federal, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla, y Tlaxcala) al crear el 23 de agosto de 2013 un organismo de coordinación denominado Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) con el objeto de llevar a cabo la planeación y ejecución de acciones en materia de protección al ambiente, de preservación y restauración del equilibrio ecológico.

La megalópolis mexicana es de tipo polinuclear ya que está constituida por varios centros y subcentros (Garza, 2010), los municipios centrales<sup>3</sup> de cada una de las zonas metropolitanas y

<sup>3</sup> Los municipios centrales son aquellos donde se localiza la ciudad principal que da origen a la zona metropolitana y que pueden hallarse conurbados con uno o más municipios vecinos, o integrados física o funcionalmente. Los municipios exteriores son contiguos a los anteriores pero no conurbados a pesar de que manifiesten un carácter predominantemente urbano (Secretaría de Desarrollo Social [SEDESOL], Consejo Nacional de Población [CONAPO] e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2012)

una serie de núcleos urbanos independientes (DOF, 1996) como son Tepotzotlán-Huehuetoca-Zumpango; Pirámides-Nopaltepec; Texcoco y Chalco-Amecameca.

Este espacio megalopolitano mantiene un peso desproporcionado sobre la dinámica económica a nivel nacional. Según datos del Censo Económico de 2009, solo las nueve alcaldías de la Ciudad de México que por sí mismas aportan el 17.7% del PIB nacional, seguido del Estado de México, con un 9.2%. Al considerar el total aportado por las seis entidades que la componen supone un 33.3 % del PIB nacional

Esta megalópolis se ajusta al concepto de ciudad-región, ello implica la no continuidad física entre las distintas zonas metropolitanas que las conforman. Del mismo modo, al incorporar municipios periféricos situados entre diferentes zonas metropolitanas se evidencia la existencia de municipios no conurbados o con un carácter urbano menos consolidado (Connolly y Cruz, 2004).

Desde el punto de vista de la ciudad-región central de México se identifica un sistema de zonas metropolitanas y de ciudades que tienen una distinta centralidad según su diferente jerarquía, tamaño, actividades e interrelaciones entre ellas y con ciudades de fuera de la región. Eibenshutz (2006) establece tres rangos de centralidad:

1. Zona Metropolitana de la ciudad de México.
2. Zonas Metropolitanas de Toluca, Puebla-Tlaxcala (incluye San Martín Texmelucan), Cuemavaca y Tlaxcala-Apizaco.
3. Zonas metropolitanas de Tula, Tulancingo, Cuautla y Pachuca.

Históricamente la Megalópolis del Centro de México se ha configurado como eje estructurador del territorio y la actividad económica nacional. El nivel de participación en el producto interior bruto (PIB) nacional teniendo en cuenta los estados que abarca, supone un 33.3%, (INEGI, 2009), además, la concentración de un tercio de la población del país, alude a un patrón altamente centralizado y concentrado. Esta megalópolis se presenta como uno de los sistemas territoriales más complejos a nivel mundial: la Zona Metropolitana del Valle de México, a cuyo alrededor crecen bajo el mismo patrón de ocupación dispersa del territorio, y concentración económica y demográfica, otras zonas metropolitanas de importancia como Toluca, Puebla-Tlaxcala, Tlaxcala-Apizaco, Cuemavaca, Cuautla, Tula, Tulancingo, Pachuca y Tianguistenco.

El conjunto de estas ciudades, a través de interacciones funcionales determinan condiciones de uso no racional de los recursos naturales y energéticos, imponen costos económicos y sociales a los sectores productivos y a la población, y determinan vacíos para la gobernabilidad de espacios y situaciones que no corresponden a los niveles de gobierno actualmente existentes.

### **2.2.2. Megalópolis en el Sistema Urbano Nacional de México**

El Sistema Urbano Nacional (SUN) desglosa los tipos de centros de población en cinco niveles diferentes:

I. Megalópolis del Centro

**11.** Zonas Metropolitanas

**111.** Aglomeraciones Urbanas

IV. Ciudades

V. Centros de Población.

Según el SUN la Megalópolis del centro de México es resultado de la metropolización de varias zonas metropolitanas y aglomeraciones urbanas del centro del país. Las zonas metropolitanas crecen a través de diversos procesos de conurbación y del establecimiento de intercambios de población, empleo, comercio y servicios que han dado forma a un territorio más amplio. Este espacio, la Megalópolis, desde los 1980 funciona en la práctica como una unidad.

El proceso de conurbación inició a partir de 1940. La Ciudad de México pasó de ser un centro industrial a ser un centro de prestación de servicios financieros, de salud, educación y comercio. Simultáneamente aparecieron y se desarrollaron nuevas zonas industriales en corredores bien definidos periféricos y ligados a la economía de la propia Ciudad de México: Corredores industriales de Toluca-Lerma; Tlanepantla-Naucahpan; Ecatepec-Lechería-Cuautitlán. En el estado de Querétaro: Jorobas-Polotitlán, Cruz Azul, Tepeji del Río, Tula, Huichapan, San Juan del Río. Hacia el Estado de Hidalgo: Tizayuca-Zapotlán y La Paz en Pachuca. Y en el Estado de Puebla y Tlaxcala, San Martín, Apizaco, Santa Ana y Puebla.

Históricamente México ha sido un estado centralista en prácticamente todos los aspectos. En la segunda mitad del siglo XX la capital ha tenido un papel dirigente y de comando tanto en el

desarrollo económico del país con el sistema de sustitución de importaciones como en el aspecto político y administrativo.

La capital concentró significativamente las actividades económicas y la población urbana del país, sobre todo desde los años 1940, y a la vez que desbordó su crecimiento físico hacia los municipios conurbados del vecino Estado de México, regionalmente adquirió una influencia directa sobre la economía de las ciudades del centro del país, como Puebla o Toluca. Este proceso se desarrolló durante el período 1940-1980 fundamentalmente. A partir de 1982 la funcionalidad de la Megalópolis sufre ciertos cambios, un proceso de reestructuración económica y de ampliación espacial de su área de influencia, o que es lo mismo, un proceso de desindustrialización y terciarización por una parte y una consolidación de influencia funcional y física sobre las ciudades del centro.

La Megalópolis del Centro de México ha seguido creciendo después de los 1980, aunque a un ritmo más lento y con un declive de su peso sobre la economía global de México. Así pues, entre 1993 y 1999 el valor total de su producción se incrementó en un 22.5%, sin embargo, su peso relativo decreció de un 34.2% a un 33.1% en el mismo periodo.

### **2.2.3. Conformación y Evolución de la Megalópolis del Centro de México**

La base territorial que sirvió como soporte para la urbanización de la Ciudad de México dadas sus peculiares características geográficas, en particular su carácter endorreico y lacustre, incidió de manera determinante en la evolución histórica de la ciudad durante siglos, sobre todo durante la época azteca, los tres siglos como capital del Virreinato de Nueva España y el primer siglo de Independencia de México.

Desde inicios del siglo XIX y sobre todo desde finales del mismo, la Ciudad de México inicia un largo y complejo proceso de crecimiento demográfico y espacial. Entre 1800 y 1900 la población creció en un 151%, de 137,000 a 344,721 habitantes (Gutiérrez, 2003), y su superficie en un 152% (de unas 1076 hectáreas a unas 2714)

El proceso demográfico (Tabla 2) y espacial se intensificó en el siglo XX, distinguiéndose cuatro fases principales (Mejía y Espinosa, 2007):

a) Desarrollo Intraurbano Posrevolucionario 1900-1930

- b) Fase de Industrialización Manufacturera 1930-1950
- c) Fase de plena Industrialización e Metropolización 1950-1980
- d) Fase de Tendencia Regional Metropolitana. 1980-Actualidad

Tabla 2. Dinámica demográfica de la Megalopolis del Centro de México, México y peso relativo.

Año	Población Me alóEolis	Población México	% Población sobre el total de México
1950	4,815,197	25,791,017	18.67
1960	7,301,257	34,923,129	20.91
1970	11,657,037	48,225,238	24.17
1980	18,034,126	66,846,833	26.98
1990	20,279,412	81,249,645	24.96
2000	23,638,275	97,483,412	24.25
2010	27,777,019	112,336,538	24.73

Fuente: elaboración propia a partir de datos de los censos de población y vivienda (INEGI, varios años)

En la primera fase, la lucha revolucionaria originó una disminución demográfica entre 1910 y 1921, pero con el fin de los enfrentamientos la población se incrementó notablemente, igualmente el área urbana debido a la relativa estabilidad política que presentaba la capital en comparación con el resto del país.

El segundo período se caracteriza por la transición a la industrialización manufacturera como parte del modelo de sustitución de importaciones. La demanda de fuerza de trabajo propició que la población de la ciudad creciese un 56% entre 1930 y 1940 y su superficie un 36%. Ambos rubros se duplicaron entre 1940 y 1950, que es el momento en el que la ciudad inicia su expansión sobre los municipios colindantes del Estado de México. Es decir, es en este momento cuando inicia el proceso de megalopolización.

Fase de Metropolización. Se extiende esta fase durante las décadas de desarrollo estabilizador entre 1950 y 1980. La ciudad de México triplicó su población y superficie, los municipios conurbados suponían al final del periodo 1/3 de la superficie total.

La fase actual inicia en 1982, aunque a pesar de la desconcentración industrial hacia Toluca, Cuemavaca, Pachuca, Puebla y Tlaxcala mediante la creación de corredores, parques y ciudades industriales en la década de 1970-1980, la población continuó poblando el Valle de

México. El rasgo principal de la fase actual es el surgimiento de la Corona Regional alrededor de la Ciudad de México.

#### **2.2.4. Tendencias actuales y futuras**

Las claves futuras del desarrollo de la megalópolis son por una parte la terciarización de la economía y la emergencia de centralidades megalopolitanas periféricas

En los países occidentales, desde mediados del siglo xx, el sector terciario ha experimentado una fuerte dinámica constituyéndose como la actividad motriz de las economías postindustriales. Desde el punto de vista espacial se ha traducido en la concentración de actividades terciarias en grandes ciudades que, al formar aglomeraciones de tipo megalopolitano o regiones urbanas policéntricas, constituyen nodos de gestión del sistema económico global (Zebadúa, 2006).

En el caso de México, sin haber llegado a desarrollar plenamente una sociedad industrial y un sector económico secundario predominante, desde los años sesenta, la economía se ha configurado sectorialmente terciaria. Espacialmente se ha producido una concentración de comercio y servicios en la megalópolis mexicana: entre 1980 y 1998 su contribución al PIB Terciario fue superior a 40% del total nacional

Dentro de la megalópolis se da una especialización regional del sector terciario y una estructuración diferenciada en el ámbito regional. Entre 1980 y 2003 en las zonas metropolitanas de Cuautla y Toluca se produce un cambio estructural hacia un crecimiento y especialización de los servicios al productor; en tanto que en las zonas metropolitanas de Pachuca y Cuernavaca este cambio es incipiente. En la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala esta especialización existe ya desde 1980. Con respecto de los servicios al consumidor, Puebla, Querétaro, Cuernavaca y Pachuca se da un predominio del comercio de bienes de consumo duradero, mientras que Toluca y Cuautla se orientan a los bienes de consumo inmediato. A diferencia de la Zona Metropolitana de la ciudad de México, que se especializa en servicios de alta tecnología al productor, la corona se especializa en actividades más tradicionales, como el comercio de alimentos, bebidas y tabaco, los supermercados, las gasolineras, el comercio de bienes para el hogar y personales, y los servicios de salud. En Cuernavaca y Cuautla: servicios turísticos, educativos y culturales. En Pachuca y Puebla-Tlaxcala: servicios de alta gestión, y en Toluca: servicios al consumidor.

Se estiman las siguientes tendencias económicas futuras y una posible estructuración funcional de la megalópolis:

1) Se observa el surgimiento de una región polinuclear con especialización en servicios al productor, que ha tenido un mayor dinamismo económico y demográfico, principalmente en Querétaro, Pachuca, Puebla-Tlaxcala y Toluca, producto posiblemente de la descentralización industrial. Esto significa que la megalópolis está en un proceso inicial de estructuración funcional.

2) Existe una tendencia a la complementariedad de los servicios entre las zonas metropolitanas de la megalópolis. La misma complementariedad se observa en las actividades motrices.

3) Toluca y Querétaro continuarán actuando como zonas de amortiguamiento de los ciclos recesivos de la ZMVM reforzando el crecimiento en periodos de recuperación económica, sobre todo en lo que respecta a los servicios al productor.

## **Capítulo 3. Metodología.**

En el capítulo metodológico se exponen las fuentes para la elaboración del trabajo, como fueron procesados los datos para construir indicadores, el método empleado para la elaboración de subíndices e índice ISAU, y finalmente se describen las diferentes técnicas de análisis espacial empleadas en el trabajo de investigación.

### **3.1. Búsqueda y recopilación de información.**

Los indicadores empleados en este trabajo contemplan una serie de temáticas de sustentabilidad (Tablas 3, 4 y 5) agrupadas en las tres dimensiones de las que se compone (Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental; desarrollo urbano integral y una tercera de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia). Con base a estas tres dimensiones se agruparon los indicadores en subíndices con los que calcular un índice resumen de sustentabilidad. Es preciso reconocer que existe una importante limitante en la disponibilidad real de datos, sobre todo al tener que tratarse en un nivel de desagregación a escala municipal. A través de bases de datos de instituciones públicas mexicanas diversas como el INEGI, la Comisión Nacional del Agua, CONAGUA, el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, CONEVAL, el Sistema Nacional de Información del Agua, SINA y el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, SINAICA, se han recopilado datos adecuados para elaborar 35 indicadores. De la Dimensión I ambiental 15 indicadores; de la Dimensión II socioeconómica 17 indicadores; en tanto que de la Dimensión III financiero-gubernativa, tres (Tablas 3, 4 y 5).

Esta selección de variables, inspirada en las orientaciones del BID, establece que las urbes iberoamericanas padecen de un crecimiento acelerado que implica una serie de desafíos para su sostenibilidad futura, tales retos son de 3 clases, que se corresponden con las 3 dimensiones de variables arriba mencionadas:

a) Dimensión I: Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental.

En esta dimensión, que en este trabajo hemos denominado de Sustentabilidad ambiental y cambio climático incluimos 15 indicadores relacionados con las siguientes temáticas: Gestión

del Medio Ambiente y consumo de recursos naturales (agua, saneamiento y drenaje, gestión de residuos sólidos y energía); Mitigación de los gases de efecto invernadero (GEi) y otras formas de contaminación (calidad del aire y mitigación del cambio climático) y reducción de la vulnerabilidad (Vulnerabilidad ante desastres naturales en el contexto del cambio climático).

Tabla 3. Indicadores de la Dimensión I: Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental.

Temáticas de sustentabilidad ambiental y cambio climático	Indicador	Unidades	Fuente
I. Agua	1. Cobertura de Agua	Porcentaje de Viviendas con agua potable	INEGI
	2. Disponibilidad de recursos hídricos	Volumen concesionado de agua (metros cúbicos) por habitante	CONAGUA-SINA
	3. Concentración de contaminantes en las aguas superficiales	Nivel de Demanda Bioquímica de Oxígeno DB05	CONAGUA
	4. Cobertura de Alcantarillado	Porcentaje de Viviendas con sistema de drenaje	INEGI
11. Saneamiento y Alcantarillado	5. Tratamiento de aguas residuales	Existencia de Instalación de Tratamiento de aguas residuales en el término municipal	CONAGUA
	6. Efectividad del alcantarillado	Capacidad de tratamiento de aguas residuales (metros cúbicos) respecto al volumen concesionado	CONAGUA
111. Gestión de residuos sólidos	7. Cobertura de recolección de residuos sólidos	Existencia de Servicio de recolección de residuos sólidos urbanos	INEGI
	8. Eliminación final adecuada de residuos sólidos	Existencia de Servicio de Tratamiento de residuos sólidos urbanos	INEGI
IV. Energía	9. Cobertura energética	Porcentaje de Viviendas con suministro de energía eléctrica	INEGI
V. Calidad del Aire	10. Control de la calidad del aire	Existencia de estaciones de monitoreo en el municipio	SEMARNAT-SINAICA
	11. Concentración de contaminantes en el aire	Porcentaje de días anuales con niveles de contaminantes superiores a los valores recomendados	SEMARNAT-SINAICA
VI. Mitigación del cambio climático	12. Sistemas de medición de emisiones de gases de efecto invernadero	Existencia de estaciones de monitoreo en el municipio	SEMARNAT-SINAICA
	13. Emisiones de gases de efecto invernadero totales	Porcentaje de días anuales con niveles de emisiones superiores a los valores recomendados	SEMARNAT-SINAICA
	14. Planes y objetivos de mitigación	Existencia de Planes y objetivos de mitigación	UNAM
VII. Vulnerabilidad ante desastres naturales	15. Sensibilidad ante desastres naturales	Riesgo de Inundación a nivel municipal	CENAPRED

Elaboración propia con base a: Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2011a); Índice de peligro por inundaciones a nivel municipal (CENAPRED, 2010); Atlas Digital del Agua. México 2012 (CONAGUA, 2012); El medio ambiente en México, 2013-2014 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT, 2014]; Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental[SINAICA, 2010]; Instituto Nacional de Ecología (INE, 2012). Elaboración propia.

Tabla 4. Indicadores de la Dimensión 11: Desarrollo Urbano Integral

Temáticas de Sustentabilidad de desarrollo urbano integral	Indicador	Unidades	Fuente
I. Uso del Suelo/Ordenamiento del territorio	16. Densidad	Habitantes por Kilómetro cuadrado	INEGI, 2010
	17. Vivienda particular habitada (Hacinamiento)	Número de personas por vivienda particular habitada (Hacinamiento)	INEGI, 2010
	18. Áreas verdes y de recreación	Superficie de áreas verdes por habitante (metros cuadrados/habitante)	DENUE-INEGI, 2010
11. Desigualdad urbana	19. Pobreza	Porcentaje de Población en situación de pobreza	CONEVAL, 2010
	20. Segregación socioespacial	Índice de Segregación	Elaboración propia
	21. Desigualdad de ingresos	Coefficiente de GINI	CONEVAL, 2010
III. Movilidad/Transporte	22. Seguridad vial	Víctimas de accidentes de tráfico por 100000 habitantes	INEGI, 2010
IV. Competitividad de la economía	23. Producto bruto	Valor Agregado Bruto Censal/habitante	INEGI, 2010
	24. Desempleo	Porcentaje de Desocupada sobre la PEA	INEGI, 2010
V. Empleo	25. Empleo informal	Porcentaje de Población Subempleada sobre la PEA	INEGI, 2010
	VI. Conectividad	26. Internet	Porcentaje de Viviendas particulares habitadas con servicio de internet
27. Telefonía		Porcentaje de Viviendas particulares habitadas con servicio de telefonía	INEGI, 2010
VII. Educación	28. Calidad Educativa	Promedio académico por centros a nivel municipal	PLANEA-SEP
	29. Asistencia escolar	Porcentaje de población de entre 3 y 14 años que asiste a la escuela	INEGI, 2010
	30. Educación superior	Porcentaje de población de 18 años y más con educación post-básica	INEGI, 2010
VIII. Seguridad	31. Violencia	Número de delitos por cada 100000 habitantes	INEGI, 2010
	32. Provisión de servicios de Salud	salud	INEGI, Porcentaje de Población Derechohabiente

2010 Elaboración propia con base a: Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2011a); Cartografía geoestadística urbana, Censos Económicos 2009 (INEGI, 2011b); Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2011); Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE, 2015). Elaboración propia.

b) Dimensión 11: Desarrollo Urbano Integral.

Incluye el control del crecimiento y mejora del hábitat humano (densidad constructiva y demográfica, calidad de vivienda, disponibilidad de áreas verdes y de recreo, así como desigualdad urbana -segregación, marginación, inequidad de ingreso-); la Promoción del transporte urbano sostenible (seguridad vial); la Promoción del desarrollo económico local competitivo y sostenible (PIB, desempleo, empleo informal, además cuestiones de conectividad -acceso a internet y telefonía-) y la provisión de servicios sociales de alto nivel y promoción de la cohesión social (aspectos de educación y seguridad) (Tabla 4).

c) Dimensión III: Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia

Dimensión de sustentabilidad fiscal y gobernabilidad, existen datos a nivel municipal de únicamente dos aspectos, impuestos y deuda pública.

Las fuentes identificadas son de carácter público en su totalidad. En el caso de la Dimensión I, los datos proceden del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Calidad del aire, contaminación atmosférica y emisión de gases de efecto invernadero); de CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) para la calidad y contaminación de las aguas, consumo municipal, eficiencia de uso, tratamiento de aguas residuales, cobertura de drenaje, calidad del servicio, así como cartografía base de agua (Subgerencia de Información Geográfica del Agua, dependiente de CONAGUA).

Tabla 5. Indicadores de la Dimensión III: Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia.

Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia	Indicador	Unidades	Fuente
	33. Ingresos e impuestos municipales	Indicador calculado mediante el índice de Autonomía Financiera	INEGI, Barcelata Chávez, 2015
I. Impuestos y autonomía			
II. Gestión del gasto	34. Calidad del gasto público	Indicador calculado mediante el índice de gasto público municipal	INEGI, Barcelata Chávez, 2015
	35. Sustentabilidad de la deuda municipal	Servicio de la Deuda respecto al Balance Primario	INEGI, Auditoría Superior de la Federación, 2012
III. Deuda			

Elaboración propia con base a: Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2011a); Estadística de finanzas públicas estatales y municipales de 2010 (INEGI, 2010b); Auditoría Superior de la Federación (ASF, 2012); Barcelata Chávez (2015). Elaboración propia.

Las variables socio-económicas y financieras proceden en su mayor parte de los datos oficiales de INEGI y CONAPO, así como del Sistema Nacional de Información Municipal (SNIM), dependiente del SEGOB.

El periodo de análisis comprende 2010 a 2015 debido a la disponibilidad de datos con los que elaborar los indicadores. La mayoría de los indicadores (23) fueron construidos total o parcialmente (dos de la dimensión III, Tabla 5) a partir de datos del Marco Geoestadístico Básico, de la Estadística de finanzas públicas estatales y municipales, del Censo de Población y Vivienda de 2010, Cartografía Geoestadística Urbana y del Índice de peligro por inundaciones a nivel municipal (CENAPRED, 2010; INEGI 2010a; INEGI 2010 b; INEGI, 2011a e INEGI, 2011b), todos ellos elaborados con datos de 2010. No obstante, para la elaboración completa de 10 indicadores y parcial de otros dos (Tabla 4) se recurrió a datos comprendidos al periodo 2010-2015, como en el caso de 4 indicadores de temáticas de agua y saneamiento de la dimensión de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental, que se crearon con datos del Atlas Digital del Agua de México de 2012 (CONAGUA, 2012) o cuatro de los indicadores de calidad del aire y mitigación del cambio climático, producto del registro de la emisión de los gases de efecto invernadero entre 2010 y 2015 en un total de 75 estaciones repartidas a lo largo de la zona de estudio. Los indicadores *Planes y objetivos de mitigación* (Dimensión I, Tabla 3) y *Calidad Educativa* (Dimensión II, Tabla 4) del Instituto Nacional de Ecología (INE, 2012) y del Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE, 2015) respectivamente, solo pudieron calcularse con datos de 2012 y 2015. Del año 2015 proceden insumos parciales con los que calcular los indicadores *Ingresos e Impuestos Municipales* y *Calidad del Gasto público* (Tabla 5).

### **3.2. Procesamiento de datos**

Una vez se recopilaron y estructuraron los datos necesarios, se procesaron y estandarizaron con el fin de elaborar los subíndices (correspondientes a cada de una de las dimensiones) y finalmente el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana.

La unidad espacial empleada es el municipio (alcaldías en la Ciudad de México). La mayoría de los indicadores tienen un valor numérico sin necesidad de mayor tratamiento, sin embargo, ciertas variables de la dimensión primera --calidad/contaminación del aire, emisión de gases de efecto invernadero, calidad/contaminación de las aguas, tratamiento de aguas residuales) exigieron un procesamiento añadido.

De los 35 indicadores, 7 son de tipo nominal, en tanto que los 28 restantes, son de tipo ordinal. Estos siete indicadores nominales pertenecen a la I Dimensión Ambiental, Cambio Climático y Riesgo, son indicativos de ausencia/presencia. (Indicadores B.2, C.1, C.3, E.1, F.1, F.3 y H.2, Tabla 1)

En el caso de las variables vinculadas al agua, saneamiento y drenaje, la cuantificación es a partir de datos de estaciones de monitoreo y según emplazamiento de las plantas de depuración (205 estaciones y 195 plantas de depuración). La cartografía base para el cálculo de sus puntajes ha sido el de las sub-cuencas hídricas (SIGA), extrapoliándose sus resultados con los municipios/alcaldías englobadas.

### **1. Indicador Cobertura de Agua**

Indicador creado a partir de la variable del censo de población de 2010 *Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda* con la siguiente fórmula:

$$A.1 = \left( \frac{\text{Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda}}{\text{Total de viviendas particulares habitadas}} \right) * 100$$

### **2. Indicador de disponibilidad de recursos hídricos**

Se calculó con el volumen concesionado de agua municipal por habitante ( $m^3$  por habitante al año), a partir de los datos disponibles a través del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA).

### **3. Indicador de concentración de contaminantes en el agua**

En la zona de análisis existen 194 estaciones de monitoreo de calidad de las aguas superficiales que indican la calidad del agua superficial (ríos, arroyos, lagos, lagunas, presas, y zonas costeras), así como del agua subterránea (pozos), con base en 5 indicadores para el agua superficial (Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Coliformes Fecales (CF) y Toxicidad (TOX) y un indicador para el agua subterránea (Sólidos Disueltos Totales, SDT). En los datos proporcionados por CONAGUA se escala entre 1 y 1475 dentro de nuestra área de estudio los niveles integrados de calidad de las aguas.

Se subdividió el área de estudio con la cartografía de CONABIO de Subcuencas Hidrológicas y a cada una, a tenor de los índices de calidad del agua superficial calculados a partir de las estaciones de monitoreo existentes en cada subcuenca, se le pudo adjudicar un valor. Una vez obtenidos los valores de calidad del agua superficial de cada subcuenca, se le otorgó a cada uno de los 189 municipios y delegaciones su valor ponderado, a través de los programas ESRI ArcMap10 e IBM SPSS 24.

#### **4. Indicador de cobertura de saneamiento**

Se elabora con la variable del censo de población de 2010 *Viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje* con la siguiente fórmula:

$$B.1 = \left( \frac{\text{Viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje}}{\text{Total de viviendas particulares habitadas}} \right) * 100$$

#### **5. Indicador de tratamiento de aguas residuales**

Indicador de tipo nominal. Se trata de un Indicador de tipo Ausencia/Presencia, creado teniendo en cuenta la existencia dentro de cada territorio municipal de estaciones de tratamiento de aguas residuales según datos de CONAGUA.

#### **6. Indicador de efectividad del alcantarillado**

Capacidad de tratamiento de aguas residuales (metros cúbicos) de las plantas de tratamiento, con respecto al volumen concesionado por municipio. Datos de CONAGUA.

#### **7. Indicador control de calidad del aire**

Indicador de tipo nominal de ausencia/presencia. Se creó este indicador en base a la localización de las estaciones de monitoreo de calidad del aire según municipios y delegaciones, teniendo en cuenta la capacidad de medición de Partículas en Suspensión (PM10 y PM2.5), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) y Monóxido de Carbono (CO). Datos de SINAICA.

Las partículas en suspensión en el aire tienen en una amplia gama de tamaños y se clasifican en función de su diámetro aerodinámico en PM10 (partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 micras) o PM2.5 (diámetro aerodinámico inferior a 2.5 micras).

Las partículas finas (PM2.5) son las menores de 2.5 micras de diámetro. Estas partículas son tan pequeñas que pueden ser detectadas sólo con un microscopio electrónico. Las fuentes de las

partículas finas incluyen todo tipo de combustiones, incluidos los vehículos automóviles, plantas de energía, la quema residencial de madera, incendios forestales, quemas agrícolas, y algunos procesos industriales.

Partículas de polvo grueso. Las partículas entre 2.5 y 10 micras de diámetro se conocen como gruesas. Las fuentes de las partículas gruesas son las operaciones de trituración o molienda, y el polvo levantado por los vehículos que circulan en las carreteras.

### **8. Indicador concentración de contaminantes en el aire**

Se tuvieron en cuenta las mediciones en 75 estaciones de monitoreo de la Megalópolis del Centro del País en inmediaciones de partículas en suspensión de diferentes calibres (PM10 y PM2.5) así como de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) y Monóxido de Carbono (CO). Los datos proceden de SINAICA. A partir de datos de IMECA se pudieron establecer valores máximos permisibles en México para cada uno de los indicadores: PM10 < 150 µg/m<sup>3</sup> en 24 horas; PM2.5 < 81,25 µg/m<sup>3</sup> en 24 horas; SO<sub>2</sub> < 0,13 ppm y CO < 1 ppm en 8 horas. Se otorgó a estos valores límite un valor de 100 y para cada resultado de cada indicador durante el año 2010 en consecuencia se le dió el puntaje correspondiente.

Una vez cada una de las 75 estaciones contaron con el valor de cada uno de los 4 indicadores de concentración de contaminantes, por medio del software ESRI ArcMap10 se aplicó la técnica de análisis geoestadístico de Kriging, con la cual ulteriormente se pudo adjudicar a cada uno de los 189 municipios y delegaciones de la Megalópolis del Centro de México diferentes valores de los diferentes contaminantes, todo ello con respaldo geoestadístico.

### **9. Indicador de medición de emisiones de gases GEI**

Indicador tipo Ausencia/Presencia. Se creó este indicador en base a la localización de las estaciones de monitoreo de calidad del aire según municipios y delegaciones, teniendo en cuenta la capacidad de medición del Ozono (O<sub>3</sub>) y del Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), que son gases y compuestos de efecto invernadero indicados por la Semamat a ser monitorizados. Datos de SINAICA.

### **10. Indicador de emisiones de GEI totales**

Este indicador se calculó de forma idéntica al *E.2 Concentración de contaminantes en el aire*, con la salvedad de que evaluaron las mediciones de Ozono (O<sub>3</sub>) y Óxido Nitroso (NO<sub>2</sub>).

### **11. Indicador de planes y objetivos de mitigación**

Indicador de tipo nominal de ausencia/presencia. Se calculó en base a la pertenencia de los municipios y delegaciones al Plan de Acción Climática Municipal (**PACMUN**). Se trata de un programa para la formulación de Planes de Acción Climática Municipal con apoyo financiero del gobierno del Reino Unido, iniciado en 2012. El objetivo del PACMUN es orientar las políticas públicas municipales a nivel local en materia de mitigación y adaptación ante los efectos del cambio climático y concretándose en la elaboración de una Guía municipal de acciones frente al cambio climático.

### **12. Indicador de cobertura de recolección de residuos sólidos**

Indicador de tipo nominal de ausencia/presencia, calculado con datos de los tabulados básicos del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales sobre Residuos Sólidos Urbanos de INEGI, año 2010. Se tuvo en cuenta si los municipios y delegaciones contaban o no con servicio de recogida de residuos sólidos.

### **13. Indicador de tratamiento de residuos sólidos**

Indicador de tipo nominal de ausencia/presencia, calculado con datos de los tabulados básicos del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales sobre Residuos Sólidos Urbanos de INEGI, año 2010. Se tuvo en cuenta si los municipios y delegaciones contaban o no con tratamiento de residuos recolectados.

### **14. Indicador de cobertura energética**

Se calcula con la variable del censo de población de 2010 *Viviendas particulares habitadas que disponen de luz eléctrica* con la siguiente fórmula:

Indicador 14= (Viviendas particulares habitadas que disponen de luz eléctrica/ Total de viviendas particulares habitadas)\*100

### **15. Indicador de sensibilidad ante desastres naturales.**

Indicador de tipo nominal. Calculado con la variable proporcionada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) a nivel municipal de Grado de riesgo por inundaciones por municipio (Nivel Alto, Medio y Bajo).

Los 16 Indicadores de la Dimensión 11, están disponibles a partir de los datos del Censo de Población y Vivienda de 2010 de INEGI.

## **16. Indicador de densidad**

Se calculó con las variables de *Población Total* de cada municipio del Censo de Población de 2010 y de Superficie Total en km<sup>2</sup> de cada municipio (Habitantes por kilómetro cuadrado).

## **17. Indicador de vivienda**

Indicador de Hacinamiento a partir de la variable del Censo de Población de 2010 *Promedio de Ocupantes en Viviendas Particulares Habitadas*.

## **18. Indicador áreas verdes y de recreo.**

Este indicador representa la superficie de áreas verdes y de recreo por habitante. La superficie total de este tipo de espacios se extrajo del marco geoestadístico del DENU (Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas), de los estados del área de estudio, teniéndose únicamente en cuenta las *áreas verdes urbanas* correspondientes a los 189 municipios y delegaciones de la Megalópolis del Centro de México.

## **19. Indicador de pobreza**

El indicador de pobreza pudo ser calculado gracias a la variable proporcionada por CONEVAL denominada *Porcentaje de población en situación de pobreza para 2010*, que engloba a la población de cada municipio y delegación en situación de pobreza extrema y de pobreza moderada.

## **20. Indicador de segregación socioespacial**

Se calculó el indicador en cuestión con el siguiente Índice de Segregación (Duncan y Duncan, 1955):

$$ISP = \frac{(PBMi / PBT)}{(PTMi / PT)}$$

En donde,

PBMi= Población en pobreza de cada municipio o alcaldía

PBT= Población en situación de pobreza en la Megalópolis

PTMi= Población total de cada municipio o alcaldía

PT= Población total del área de estudio

El índice de segregación mide la distribución de un determinado grupo de población en el espacio de análisis. Varía entre cero y uno, valores que abarca desde una distribución exactamente igualitaria y una distribución de máxima segregación respectivamente.

### **21. Indicador de desigualdad de ingreso.**

Se calculó gracias al índice o coeficiente de Gini. Mide la desigualdad económica de una sociedad, mediante la exploración del nivel de concentración que existe en la distribución de los ingresos entre la población. El coeficiente de Gini toma valores entre 0 y 1; un valor que tiende a 1 refleja mayor desigualdad en la distribución del ingreso. Por el contrario, si el valor tiende a cero, existen mayores condiciones de equidad en la distribución del ingreso (CONEVAL, 2010). La información disponible fue construida tomando en cuenta el ingreso corriente per cápita que se utiliza para la medición multidimensional de la pobreza.

### **22. Indicador seguridad vial**

Se calculó gracias a las estadísticas de víctimas (muertos y heridos) en accidentes de circulación a nivel municipal del año 2010. Se consideró el número de víctimas por 100.000 habitantes. Datos de INEGI.

### **23. Indicador producto interior bruto.**

Se construyó con los datos del Producto Bruto Municipal del año 2010 en relación con la población total del mismo año.

### **24. Indicador desempleo**

Se obtuvo mediante las variables del Censo de Población de 2010 *Población desocupada* y *Población económicamente activa*

Indicador 24= Población desocupada/ Población económicamente activa\*100 Porcentaje de población en edad activa desempleada

### **25. Indicador empleo informal**

Calculada a partir de las siguientes variables del Censo de Población de 2010: *Población Económicamente Activa*, *Población ocupada*, *Población derechohabiente del IMSS*, *Población derechohabiente del ISSSTE* y *Población derechohabiente del ISSSTE estatal*. El indicador se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Indicador 25} = \text{Pob.Ocup} - (\text{PDIMSS} + \text{PDISSTE} + \text{PDISSSTE Estatal}) / \text{PEA} * 100$$

En donde,

PobOcup= Población Ocupada

PDIMSS= Población derechohabiente del IMSS

PDISSSTE= Población derechohabiente del ISSSTE

PDISSSTEEstatal= Población derechohabiente del ISSSTE estatal

PEA=Población Económicamente Activa

## **26. Indicador acceso a internet**

Calculado a partir de las variables del Censo de Población de 2010 *Viviendas particulares habitadas que disponen de internet* y *Viviendas particulares habitadas*.

Indicador 26= (Viviendas particulares habitadas que disponen de internet/ Viviendas particulares habitadas) \*100

## **27. Indicador acceso a telefonía**

De forma similar al indicador 26, pero con la variable *Viviendas particulares habitadas que disponen de línea telefónica fija*

## **28. Indicador calidad educativa**

Se calculó con las bases de datos de PLANEA, que establece una graduación de logros para alumnos de cada centro en esferas de matemáticas y lenguaje en cuatro niveles, de I (Menor cantidad de aprendizajes clave) a IV (mayor cantidad de aprendizajes clave). Se calculó el porcentaje de alumnos de cada centro en niveles I y II ponderando entre las dos áreas de conocimiento y posteriormente para cada municipio y delegación de la Megalópolis.

## **29. Indicador asistencia escolar**

Se construyó este indicador con las siguientes variables del Censo de Población de 2010: *Población de 3 a 5 años que no asiste a la escuela; Población de 6 a 11 años que no asiste a la escuela* y *Población de 12 a 14 años que no asiste a la escuela; Población de 3 a 5 años; Población de 6 a 11 años* y *Población de 12 a 14 años*.

Indicador 29= (Población de 3 a 5 años que no asiste a la escuela + Población de 6 a 11 años que no asiste a la escuela+ Población de 12 a 14 años que no asiste a la escuela)/( Población de 3 a 5 años+ Población de 6 a 11 años+ Población de 12 a 14 años)\*100

### **30. Indicador educación superior**

Se calculó con la siguiente fórmula y variables:

Indicador 30=(Población de 18 años y más con educación pos-básica/ Población de 18 años y más)\*100

### **31. Indicador violencia**

Se calculó el indicador de violencia mediante el número de delitos por 10.000 habitantes, para cada municipio de la zona de estudio, se tuvieron en cuenta como delitos los siguientes tipos: Delitos patrimoniales, homicidios, lesiones, robos, secuestros y violaciones.

### **32. Indicador provisión de servicios de salud**

Se calculó con la siguiente fórmula y variables procedentes del Censo de Población de 2010:

Indicador 32=( Población derechohabiente a servicios de salud/ Población total)\*100

### **33. Indicador de ingresos e impuestos municipales**

Este indicador fue calculado con el empleo de variables fiscales del año 2010 con el índice de autonomía financiera, entendido como la proporción del gasto público que los municipios cubren con ingresos propios, lo cual da cuenta de su capacidad para explotar fuentes de ingreso propias, pero además indica en qué medida pueden cubrir sus gastos totales sin la intervención de otros niveles de gobierno (Barcelata Chávez, 2015)

El indicador se calcula de la siguiente manera:

$$IAFi=(IPi/GTi)100$$

Donde:

IAFi = Autonomía financiera del municipio i.

IPi = Ingresos propios del municipio i.

GTi = Gasto público total del municipio i.

Los municipios con una sustentabilidad financiera adecuada deben de contar con una mayor capacidad para cubrir su gasto con ingresos propios, mientras que este indicador es inferior en aquellos municipios con escasa sustentabilidad.

### **34. Indicador de calidad del gasto público**

También es importante estudiar cómo es el gasto público que ejercen los gobiernos locales comparado con el progreso de los municipios. Para evaluar este aspecto se empleó en este trabajo el índice de gasto público municipal, que mide la magnitud del gasto de los municipios como proporción de su PBM (Producto Bruto Municipal), dimensionándolo para conocer su importancia en términos del tamaño de la economía municipal (Barcelata Chávez, 2015)

Su cálculo es como sigue:

$$IGTMi=(GTMi/PBMi)100$$

donde

IGTMi = índice de gasto público total del municipio i.

GTMi = gasto público total del municipio i.

PBMi = Producto Bruto Municipal del municipio i.

### **35. Indicador de sustentabilidad de la deuda municipal**

La variable de sustentabilidad de la deuda municipal se calculó a nivel municipal con los datos de INEGI de Estadística de finanzas públicas estatales y municipales para el año 2010 mediante el indicador de Servicio de la Deuda respecto al Balance Primario (Auditoría Superior de la Federación, 2012).

El indicador que relaciona al Servicio de la Deuda respecto del Balance Primario mide la capacidad de cubrir las amortizaciones y los intereses con el saldo proveniente de los ingresos totales de la entidad federativa, una vez deducidos sus gastos totales, sin considerar en los ingresos el financiamiento ni la disponibilidad inicial, y en los gastos la disponibilidad final y el servicio de la deuda.

$$ISDPMi=\text{Servicio de la Deuda}/\text{Balance Primario}$$

En donde,

$$1/ \text{Servicio de la Deuda} = \text{Amortización} + \text{Intereses.}$$

2/ Balance Primario= Ingresos Totales (sin financiamiento ni disponibilidad inicial) -Egresos Totales sin disponibilidad final - (Amortización+ Intereses).

De ser negativa la relación, indica que los ingresos totales no son suficientes para cubrir el importe del principal adeudado y los intereses en un ejercicio fiscal; de ser positiva la relación, indica que se cuenta con recursos presupuestarios para atender el servicio de la deuda.

### **3.3.Elaboración de Subíndices e Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana**

En este apartado se expone la metodología empleada para la elaboración de los Subíndices e ISAU mediante el análisis de componentes principales.

#### **3.3.1. Análisis de Componentes Principales**

Se construyó un 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 (Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental) 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).

El ACP se trata de una técnica matemática que permite explorar la estructura subyacente de los datos y re-expresar los datos originales en pocas dimensiones que captan la mayor varianza posible de una combinación lineal de las variables originales. En este sentido, el Método de Componentes Principales permite estudiar las relaciones que existen entre las variables cuantitativas, sin considerar a priori, ninguna estructura, ni de variables, ni de individuos (Olivares, 2014). El ACP reduce la dimensión original, permitiendo una visión más sencilla del fenómeno, en su aplicación genera un nuevo conjunto de variables con las que se puede recuperar tanto la multidimensionalidad conceptual del fenómeno de la sustentabilidad ambiental urbana, como contar con un índice (primera componente) resumen del fenómeno, es decir, el ISAU, para cada uno de los municipios y alcaldías de la zona de estudio (CONAPO, 2012b).

Se decidió no otorgar una ponderación diferenciada a los 35 indicadores, a fin de evitar la arbitrariedad que en cierto modo existe en el otorgamiento de pesos diferentes con ciertas metodologías. Sin embargo, como sugieren Alkire et al. (2015), las ponderaciones son una cuestión normativa sujeta a percepciones subjetivas que pueden variar con el tiempo y que eventualmente debieran de ser sometidas a debate público, lo mejor sería el realizar un análisis detallado de los indicadores, realidad difícil ante la escasez de trabajos previos sobre el tema de la sustentabilidad ambiental urbana desde óptica espacial.

Este Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana permitió cuantificar la sostenibilidad ambiental a nivel de municipios y delegaciones en la Megalópolis del Centro del País, y detectar sus patrones geográficos aplicando técnicas de Análisis Espacial (LISA, Regresión con GeoDa). Los subíndices generados nos aportaron en el análisis representar por separado las características y comportamiento de cada una de las dimensiones de la sustentabilidad ambiental urbana.

Previamente a la construcción de subíndices e ISU, se procedió a la revisión de la base de datos, es decir, los 35 indicadores para evitar la presencia de celdas vacías. En los casos existentes de celdas vacías (en los casos presentes siempre menos del 5% de los valores para cada indicador) se empleó el método espacial, es decir, para cada celda vacía asociada a cada unidad espacial (municipio/delegación) se le otorgó valor de la media aritmética de las unidades espaciales contiguas.

La validación del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU) y de los tres subíndices se comprobó con la obtención de una varianza total explicada superior a 50 en el segundo componente (Hinojosa et al, 2015) en todos ellos: Varianza Total Explicada en segundo componente del Subíndice Dimensión I: Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental-50.18%; Varianza Total Explicada en segundo componente del Subíndice Dimensión II: Desarrollo Urbano Integral-55.67%; Varianza Total Explicada en segundo componente del Subíndice Dimensión III: Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia-71.45%. La Varianza Total Explicada obtenida en el segundo componente en el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU) fue de 89.04%.

El cálculo de los componentes principales depende de las unidades de medida empleadas en las variables. Es por tanto importante, antes de aplicar el ACP, estandarizar las variables para que tengan media 0 y desviación estándar 1, ya que, de lo contrario, las variables con mayor

vananza dominarían al resto. Seguidamente los indicadores fueron agrupados según su Dimensión para el cálculo inicial de Subíndices, con la siguiente disposición:

### **3.4. Análisis Espacial y Geo-estadístico del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana**

#### **3.4.1. Análisis Exploratorio de Datos Espaciales.**

Desde la perspectiva ambiental, el medio urbano puede ser entendido como una forma compleja de relación medio-sociedad. De esa interacción entre los sistemas naturales y sociales de la ciudad surgen deficiencias o desequilibrios que se manifiestan en problemas socio-ambientales urbanos. Dichos problemas, de preocupación creciente en los distintos organismos de gobierno, en las instituciones y en la sociedad en su conjunto, inciden directa o indirectamente en la calidad de vida de la población local.

La aplicación de técnicas de análisis espacial permite profundizar en la distribución territorial del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana. De esta manera, se pueden detectar zonas, con precisión y respaldo estadístico, que requieren medidas para afrontar sus problemáticas ambientales existentes.

El Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) es un conjunto de técnicas estadísticas creadas para detectar patrones y tendencias en los datos, y poder así formular hipótesis sobre los mismos (Hemández, 2015). Estas técnicas describen y visualizan distribuciones espaciales, como el agrupamiento y dispersión de fenómenos en el territorio.

El AEDE ofrece grandes posibilidades en el análisis de fenómenos con dimensión espacial sobre todo en ausencia de un marco formal o teoría previa acerca del fenómeno analizado, ocurre con frecuencia en ciencias sociales, cuando se analizan grandes bases de datos geográficos cuya distribución no se conoce a priori, como es el caso del patrón espacial de la sustentabilidad ambiental urbana en un espacio tan complejo como el de una megalópolis (Chasco, 2006). El AEDE crea una interfaz que facilita el estudio de la información geográfica, permitiendo descubrir patrones y anomalías en los datos que de otro modo no serían aparentes, así como resultados interpretables que permiten al investigador evitar conclusiones superficiales y erróneas sobre el fenómeno (Celemín, 2009).

El agrupamiento se refiere al nivel de proximidad entre unidades territoriales donde residen las categorías similares de población, o puede indicar si en su distribución se autocorrelacionan entre sí presentando un patrón no aleatorio. Se puede emplear el Índice de Moran, prueba de autocorrelación espacial (Monkkonen, 2012), para medir si existen agrupamientos de municipios/delegaciones con baja sostenibilidad ambiental en la megalópolis del centro del país.

### **3.4.2. Índice Global de Moran**

A través del análisis espacial se indaga en el descubrimiento de la estructura ambiental urbana por medio de un análisis de autocorrelación espacial (Índice Global de Moran) que permite detectar zonas de configuraciones ambientales diferenciadas y un acercamiento al grado de inequidad al considerar la asociación existente entre las unidades espaciales en relación al ISAU. Es decir, el análisis de autocorrelación espacial (Índice Global de Moran) permite descubrir si se cumple la hipótesis de que cierta variable (ISAU) tiene una distribución aleatoria o si, por el contrario, existe asociación significativa de valores similares o no similares entre zonas vecinas (Gómez, Prieto, Mellado y Moreno, 2015).

Por medio del Índice Global de Moran y del Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran se puede averiguar el grado de concentración espacial de la sustentabilidad ambiental urbana, identificar clústeres de elevada y baja sustentabilidad ambiental dentro de la megalópolis, y analizar la heterogeneidad u homogeneidad según el ISAU en la Megalópolis del Centro de México. En este trabajo se emplearon los programas de SIG (Sistemas de Información Geográfica) ArcMap 10 y GeoDa.

Así pues se pretende registrar la correlación que una misma variable tiene en diferentes unidades espaciales vecinas, existiendo alguna de las siguientes posibilidades (Zulaica y Celemín, 2009):

-Autocorrelación espacial positiva: las unidades espaciales contiguas muestran valores similares. Indica una tendencia al agrupamiento de las unidades espaciales.

-Autocorrelación espacial negativa: las unidades espaciales vecinas presentan valores muy dispares. Indica una tendencia a la dispersión de las unidades espaciales

-Sin Autocorrelación: no se presenta ninguno de los casos anteriores. Los valores de las unidades espaciales vecinas tienen valores producidos aleatoriamente

El Índice Global de Moran es una medida geográfica-estadística que indica el grado de correlación entre valores de unidades territoriales. El valor de este índice oscila entre -1 y 1; los valores negativos indican un conglomerado espacial de unidades territoriales con valores de análisis distintos y los valores positivos indican un conglomerado espacial de unidades territoriales con valores de análisis similares, sean altos o bajos. Los tendientes a -1 indicarían autocorrelación negativa y los tendientes a 1 nos indicarían el máximo de autocorrelación positiva. Los valores próximos a 0 indican la ausencia de correlación espacial entre los valores de análisis, es decir, la no existencia de un patrón definido. Se considera significativo cuando es mayor a 0,5 (Celemín, 2009).

El índice Global de Moran se expresa de la siguiente manera:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{(n-1) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}}$$

Donde:

$y_i$  = Valor de la variable o atributo en cada unidad espacial analizada "i".

$y_j$  = Valor de la variable o atributo en cada unidad espacial vecina "j".

$w_{ij}$  = Proximidad entre las unidades espaciales "i" y "j"(llamada también "matriz de pesos espaciales").

n = Número de unidades espaciales

De la relación entre la variable y su rezago espacial es posible construir el diagrama de dispersión de Moran que clasifica los valores en cuatro cuadrantes: en el cuadrante I o AA se concentran las observaciones altas de la variable rodeadas de vecinos con similar característica, lo mismo para el III o BB, pero en este caso las observaciones corresponden a bajos valores de la variable. Por otro lado, en el cuadrante II o BA, se ubican los valores bajos de la variable en vecindario con características opuestas, y en el cuadrante IV o AB, se presenta el caso opuesto al cuadrante II; en este caso son altos valores de la variable rodeados de vecinos con bajos valores. En el diagrama de dispersión de Moran se estandariza la variable a analizar y se obtiene el retardo espacial de dicha variable estandarizada, representándose ambos valores en un eje

cartesiano. El retardo espacial puede definirse como una media aritmética simple de los valores de la variable en cuestión de las unidades espaciales limítrofes

La pendiente de la recta de regresión es el valor del estadístico Índice de Moran de autocorrelación espacial global, de forma que cuanto mayor sea el ángulo que forma esta con el eje de abscisas, más fuerte será el grado de autocorrelación espacial y viceversa (Sánchez Gamboa y Taddei, 2014).

Diagrama de dispersión de Moran

<b>WZ</b>	II (BA)	I (AA)
	III (BB)	IV (AB)
	<b>Zt</b>	

Elaboración propia

El Índice Global de Moran se calculó partir de los resultados del Índice ISAUI por medio del programa GeoDa. Se tuvo en cuenta que los *p-valores* fuesen inferiores a 0.05 y que de este modo los resultados fuesen significativos. La significancia en Geoda se calculó por el método de permutación (Lavado, 2015).

### 3.4.3. Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran

Así mismo, una asociación significativa puede no darse en toda la ciudad, sino solo en algunas zonas. Es por ello que tiene gran importancia recurrir a indicadores locales de asociación espacial, el Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran (en inglés LISA: Local Indicators of Spatial Association), que permiten tener una visión espacial de la sustentabilidad ambiental urbana, a diferencia del análisis del Índice Global de Moran por medio de lectura de gráfica sin una plasmación espacial (Martori y Hoberg, 2008).

Además de ello LISA tiene como objetivo que el estadístico obtenido para cada zona suministre información sobre la relevancia de valores similares alrededor de la misma (Anselin, 1995). Mediante su empleo se puede observar a simple vista la hipotética existencia de clústeres de determinadas características.

El Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran permite clasificar las unidades espaciales (municipios/alcaldías) de acuerdo con la relación de su Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran respecto a los valores registrados en las unidades espaciales vecinas en cinco categorías:

1. Bajo-Bajo. Esta categoría se refiere a unidades espaciales con valores bajos del atributo en estudio (en nuestro estudio, Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana) que tengan como vecinas unidades espaciales que presenten igualmente valores bajos (serían zonas con segregación significativa de bajos niveles de Índice Sustentabilidad Ambiental Urbana).
2. Alto-Alto. En esta categoría están unidades espaciales con valores altos de los atributos (Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana) bajo nuestro análisis, rodeadas de unidades espaciales que registren igualmente valores altos.
3. Bajo-Alto. Se incluye en esta categoría a unidades espaciales con valores bajos del atributo en cuestión, rodeadas de unidades espaciales que registren en contraposición valores altos.
4. Alto-Bajo. Son unidades espaciales con valores altos del atributo estudiado, rodeadas de unidades espaciales que registran valores bajos.
5. Estadísticamente No Significativo. 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.

El Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran se calculó en el programa ArcMap 10 con el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana.

El Índice de Autocorrelación Local de Moran (ALM) se expresa de la siguiente manera (Garrocho y Campos, 2013):

$$I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j$$

Donde:

$z_i, z_j$  = Se expresan en desviaciones de la media:

$$z = \frac{(x_i - \bar{X}_i)}{a}$$

cr es la desviación estándar de xi.

### 3.4.4. Índice Bivariado de Moran e Índice Bivariado Local de Moran.

La autocorrelación espacial no es únicamente univariada, también existe la bivariada. En ambos casos se tienen en cuenta, por un lado, los valores estandarizados de una variable para cada unidad espacial, y por otra parte, los puntajes estandarizados promedio de los valores de las unidades espaciales vecinas para la misma variable (autocorrelación univariada) o en relación con otras (autocorrelación bivariada) (Buzai y Baxendale, 2004).

Las correlaciones espaciales multivariadas - en este caso bivariadas- se aplican con el objetivo de cuantificar el grado de dependencia espacial existente entre dos variables  $Y_k$  e  $Y_l$  de las que se dispone de datos en las mismas localizaciones espaciales, definiéndose el Coeficiente de Correlación Espacial Multivariante (Wartemberg, 1985) entre las dos variables aleatorias estandarizadas  $Z_k$  y  $z_l$  como:

$$m_{kl} = z_k W^s z_l$$

donde  $Z_k = [Y_k - \mu_k] / \sigma_k$  y  $z_l = [Y_l - \mu_l] / \sigma_l$ . Mediante la matriz  $W$  se define la estructura de vecindades como suele ser habitual en econometría espacial (Anselin 1988). Por  $W^s$  se denota la matriz de pesos espaciales doblemente estandarizada (o estocástica).

El concepto de correlación espacial bivariante hace referencia al grado de semejanza sistemática entre el valor de la variable  $Z_k$  observada en cierta localización y los valores de otra variable  $z_l$  observada en localizaciones vecinas. Este coeficiente puede considerarse equivalente a un coeficiente de correlación entre dos variables en las mismas localizaciones con tal de asociar a cada localización el valor de las observaciones vecinas.

Es de interés analizar la presencia de asociación lineal entre la variable  $Z_k$  en la localización  $i$ , que notaremos por  $Z_{ik}$  y el correspondiente retardo espacial de la otra variable  $[Wz_l]_i$ . Dentro de este contexto, no es necesaria la doble estandarización de  $W$  y se puede utilizar la estandarización simple, de tal forma que el retardo espacial se corresponde con la media de los valores vecinos.

Este estadístico de productos cruzados puede relativizarse dividiendo por la suma de los cuadrados de la primera variable. De esta forma se obtiene una versión bivariante del estadístico de Moran de autocorrelación espacial (Anselin et al 2002):

$$I_{k-l} = \frac{z_k w_{zi}}{z_k z_k}$$

o de forma equivalente en el caso de que las variables estén estandarizadas:

$$I_{kl} = z_k' W z_l / n$$

donde  $n$  es el número de localizaciones. Debido a que la variable  $z$  está estandarizada, el denominador de la ecuación coincide con  $n$  independientemente de la variable  $z$  que se escriba.

El Índice Global Bivariado de Moran, no proporciona información alguna de donde se sitúan los clústeres en el área de estudio, para ello es de utilidad el uso del Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran bivariado que se define como:

$$I_{if} = z_l \sum_j w_{ij} z_j$$

Este estadístico da una indicación del grado de asociación lineal (positiva o negativa) entre el valor de una variable en un emplazamiento dado  $i$  y la media de otra variable en emplazamientos vecinos (como  $js$ ) (retardo espacial). Una mayor semejanza que la presente en condiciones de aleatoriedad espacial sugiere la existencia de un clúster espacial de dos variables. Aplicando el Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran bivariado se obtiene un Figura que ayuda a determinar la naturaleza de la autocorrelación espacial de manera que puede clasificarse en cuatro categorías: dos categorías de correlación espacial positiva, es decir, clústeres, de tipo Alto-Alto y Bajo/Bajo, que se relacionan con unidades espaciales físicamente rodeadas por unidades vecinas con valores similares y dos categorías de correlación espacial negativa, de tipo Alto-Bajo y Bajo-Alto que se relacionan a su vez unidades espaciales físicamente rodeadas por unidades vecinas con valores disimilares.

De esta manera se podría comprobar la correlación existente entre los indicadores constitutivos del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana con otras variables sociodemográficas no integrantes del índice (Índice de Desarrollo Humano, tasa de mortalidad infantil).

Con las técnicas de análisis espacial, en particular de correlación espacial, se analizará si existen valores significativos entre los niveles de los subíndices e Índice de Sustentabilidad Ambiental y la tasa de mortalidad por enfermedades digestivas, respiratorias, neoplasias y malformaciones congénitas en cada uno de los municipios y delegaciones de la megalópolis del centro del país.

### **3.5. Zonificación según niveles de sostenibilidad ambiental urbana**

Se realizó una zonificación de la Megalópolis del Centro de México a partir de los niveles obtenidos del Índice Sustentabilidad Ambiental Urbana y de cada una de las tres dimensiones del mismo (Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental; desarrollo urbano integral y gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia).

El empleo de un índice y de subíndices implicó la integración de variables interrelacionadas que garantizan el grado de individualidad interna requerida para la definición de las zonas de atención prioritaria.

El criterio de delimitación de las áreas de atención prioritaria se basó en los niveles de sustentabilidad, constituyéndose con los municipios de Muy Baja y Baja sustentabilidad ambiental urbana y del mismo modo para cada una de las tres dimensiones.

## **Capítulo 4. Resultados y discusión.**

Este capítulo se compone de dos partes, en primer lugar los resultados, dividido a su vez en dos partes, y una discusión general. Los resultados son por una parte dos artículo de investigación, uno publicado en la revista *Economía, Sociedad y Territorio*, con título *Sustentabilidad del desarrollo urbano en la Megalópolis de México: perspectiva desde el análisis espacial* y un segundo artículo aceptado para su publicación en la revista *Investigaciones Geográficas de la Universitat de Alacant*, con título *Análisis espacial del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en la Megalópolis de México*.

En el apartado otros resultados se exponen resultados obtenidos siguiendo los Objetivos de la investigación.

El apartado de discusión general se trata de la presentación y explicación de los resultados obtenidos en el trabajo de investigación, que incluye una discusión del tema a tenor de los resultados obtenidos, donde se analizan y comparan con otros trabajos de investigación

#### **4.1. Artículos de investigación.**

##### **4.1.1. Artículo científico publicado *Sustentabilidad del Desarrollo Urbano en la Megalópolis de México: perspectiva desde el análisis espacial* Revista Economía, Sociedad y Territorio**

---

Economía, Sociedad y Territorio , vol. xx, núm . 62, 2020, 89-122.

---

Economía , Sociedad y Territorio, vol. xx, núm. 62, 2020, 89-122

89

## **Sustentabilidad del desarrollo urbano en la Megalópolis de México: perspectiva desde el análisis espacial**

### **Sustainability of urban development in the Megalopolis of Mexico: perspective from spatial analysis**

Daniel De Las Heras Gutiérrez\*  
Salvador Adame Martínez\*  
Edel Gilberto Cadena Vargas\*  
Juan Campos Alanís\*

#### *Abstract*

*This paper provides an approach to the analysis of sustainability of urban development of the Megalopolis of Central Mexico through the elaboration of a summary index from 17 indicators with the Principal Component Analysis (PCA), index with which spatial analysis techniques were applied (ESDA). Positive spatial autocorrelation was detected and clusters were identified, showing a dichotomy between central and peripheral metropolitan municipalities, and the advantageous position of Mexico City over the remaining municipalities in sustainability levels. The most disadvantaged municipalities with a need for intervention were identified.*

**Key words :** *urbansustainability, megalopolis, indicators, sustainability index, spatial analysis*

#### **Resumen**

Este trabajo consiste en 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 el que se aplicaron técnicas de análisis espacial (AEDE). Se identificó la presencia de autocorrelación espacial positiva y la existencia de clústeres, indicando una dicotomía entre municipios centrales metropolitanos y periféricos, así como la posición aventajada en niveles de sustentabilidad de la Ciudad de México con respecto a los municipios restantes. Se identificaron los municipios más rezagados y con necesidad de intervención.

**Palabras clave:** sustentabilidad urbana, megalópolis, indicadores, índice de sustentabilidad, análisis espacial.

## **Introducción**

El fenómeno urbano constituye una de las expresiones más evidentes y características del desarrollo de la sociedad moderna. Aunque las ciudades han funcionado como centros de innovación cultural, social y económica fundamentales para el progreso de la humanidad, también han traído consigo una serie de consecuencias negativas en términos sociales, económicos y ambientales. Las ciudades determinan retos en materia de escasez de agua y energía; contaminación y emisiones de gases invernadero; congestión del tránsito vehicular; delincuencia; eliminación de desechos; acceso a la vivienda, equipamiento e infraestructura, graves desequilibrios socioeconómicos como bolsas de marginación y pobreza, entre otros.

Las ciudades en Latinoamérica, constituyen sistemas complejos e interdependientes, en donde los desequilibrios ambientales, económicos y sociales han implicado la generación de barreras para el desarrollo sustentable de las mismas (Martínez, 2015). En el caso de México, el crecimiento urbano descontrolado y una falta de aplicación de políticas de planificación son las causas fundamentales de la aparición de desequilibrios territoriales, marginación, inequidad, y de problemas crecientes de habitabilidad en los espacios urbanos (Hernández, 2010).

Por otro lado, a pesar de una modesta desaceleración, la proporción de población urbana en México no ha dejado de incrementarse, de un 42.6% en 1950 a un 77.8% en 2010 (INEGI, 2011a), en tanto que las perspectivas son de un incremento de dichas cifras, lo cual se traduce en un crecimiento previsible de ciudades y áreas metropolitanas, así como las problemáticas a atender (Hernández Rejón, Adame Martínez y Cadena Vargas, 2017). Dentro del Sistema Urbano Nacional de México destaca la Megalópolis del Centro de México al ser el mayor conjunto urbano del país incluyendo las áreas metropolitanas colindantes con la metrópolis de la capital. Esta megalópolis supone cerca de la cuarta parte de la población total del país (24.72% en 2010) con 27' 777,019 habitantes. Su crecimiento demográfico se ha ralentizado en la primera década del siglo XXI, no siendo, no obstante, desdeñable con una tasa incremento de un 6.884% en 2000-2010 (INEGI, 2011a). Uno de los síntomas de las graves repercusiones ambientales y socioeconómicas de la Megalópolis del Centro de México es la creación en 2013 de un organismo denominado Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME), que plantea el diseño, coordinación y concierto de programas y acciones que contribuyan a la protección, restauración y preservación del equilibrio ecológico de la región de la Ciudad de México (DOF, 2013).

El crecimiento urbano, y de manera singular, la Megalópolis del Centro de México, implica un desafío de primera magnitud para el desarrollo sustentable en México. Para la consecución de esto último, se hace necesaria la evaluación diagnóstica del estado de la sustentabilidad en dichos espacios

urbanos. Se trata de un punto de partida fundamental, a fin de identificar los retos más importantes a atender. Es decir, el análisis de la sustentabilidad urbana permite la elaboración de propuestas en torno a las diversas problemáticas ambientales territoriales, facilita diagnosticar la condición urbana, el tipo de desarrollo, el impacto ambiental, económico y social igual que la posible participación de los diversos actores sociales para su resolución (Moreno, 2013).

La sustentabilidad urbana es clave para lograr una tendencia de desarrollo conveniente para generaciones presentes y futuras, partiendo del concepto más global de desarrollo sustentable, el cual se introdujo en 1987 en el Informe de la Comisión de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo, y era entendido como un proceso de progreso económico armonioso capaz de satisfacer los principios de justicia social y responsabilidad ambiental (ONU, 1987). No obstante, hasta 1992, en la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo, llamada Cumbre de la Tierra, celebrada por la Organización de las Naciones Unidas, no se reconocieron las ciudades como un área importante para la aplicación del concepto de desarrollo sustentable.

El concepto de sustentabilidad abarca diferentes componentes urbanos que trascienden lo ambiental e incluye variables culturales, políticas, institucionales, sociales y económicas. Esta visión amplia ha implicado el desarrollo de metodologías que contemplen el estudio de las ciudades como sistemas holísticos complejos, con múltiples sectores. La aproximación interdisciplinaria puede aportar una comprensión cualitativa y cuantitativa de los problemas de desarrollo y gestión urbana (Imaz, Ayala y Beristain, 2014).

En la literatura especializada en español, se emplean indistintamente los términos sostenible y sustentable; desarrollo sostenible y desarrollo sustentable; sostenibilidad y sustentabilidad (Cortés y Peña, 2015; Méndez, 2012), indica que ambos términos no presentan mayor diferenciación con respecto a su aplicación al desarrollo, la diferencia corresponde al lugar donde se utilice el término, sin modificar su objetivo principal, es decir, la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.

Se define la sustentabilidad urbana como el alcanzar cualitativamente un nivel socioeconómico, demográfico y tecnológico que permita mantener el funcionamiento de la ciudad en el largo plazo (Graizbord, 2002).

El análisis de la sustentabilidad urbana incorpora elementos ambientales, socioeconómicos y administrativos (BID 2011; Mori y Christodoulou, 2012; BID, 2013), es por tanto un concepto multidimensional. Esta concepción multidimensional de la sustentabilidad es empleada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en su Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles, ICES, (Crespo y Puerta, 2016), estructurándose en tres dimensiones: Sustentabilidad ambiental y cambio climático; desarrollo urbano integral sustentable; y sustentabilidad fiscal y de gobernanza (BID, 2013).

Estas tres dimensiones se desglosan en las siguientes temáticas (BID, 2013), la dimensión de sustentabilidad ambiental se centra en la gerencia ambiental y control de contaminación local, mitigación del cambio climático y prevención y reducción de vulnerabilidad a los desastres naturales.

La dimensión de desarrollo urbano integral sustentable se fundamenta en la pretensión de promover un desarrollo urbano justo y ordenado, en el cual la vivienda, infraestructura, servicios, equipamiento, comercio, educación, salud y esparcimiento satisfagan las necesidades de los ciudadanos de forma equilibrada y equitativa, así mismo, se pretende reducir la existencia de segregación y aparición de focos de marginación y pobreza y el ensanchamiento de las desigualdades económicas de la población. En cuanto a la dimensión de sustentabilidad fiscal y de gobernanza, se relaciona con la capacidad del gobierno local de financiar inversiones necesarias, lograr la prestación adecuada de servicios su cargo con calidad y cobertura necesarias, un control adecuado de gastos y deuda, así como la toma de decisiones de manera transparente, planificada y eficaz

El presente trabajo se centra en el análisis de la dimensión de sustentabilidad del desarrollo urbano por medio de la elaboración de un índice resumen (Índice de Sustentabilidad de Desarrollo Urbano Integral, ISDUI) a partir de 17 indicadores para cada uno de los 189 municipios y alcaldías de la Megalópolis del Centro de México, con el que aplicar técnicas Análisis Exploratorio de Datos Espaciales, AEDE, que nos permitan analizar la dinámica interna de la megalópolis y áreas prioritarias de intervención mediante la identificación de municipios con niveles altos y bajos de sustentabilidad, determinando la existencia de segregación y la tipificación y localización de clústeres.

### **I. Delimitación y caracterización de la zona de estudio**

Las megalópolis son espacios urbanos que por su complejidad y magnitud implican serios desafíos ambientales, urbanos y sociales. Se trata de ciudades con funciones globales que se han convertido en extensas regiones urbanas policéntricas (Martínez, 2015). Existen diversas definiciones de lo que se entiende por megalópolis, pero en todos los casos se trata de un espacio urbanizado de gran extensión, volumen demográfico y complejidad espacial (Gottman, 1957). Es a mediados del siglo XX cuando emerge en algunos países (Reino Unido, Japón, EEUU entre otros) este concepto urbano, ya que con la proliferación de áreas metropolitanas se hizo posible la unión o traslape espacial o funcional de dos o más de las mismas (Rivas, Carmona, Chávez, García y Maldonado, 2006)

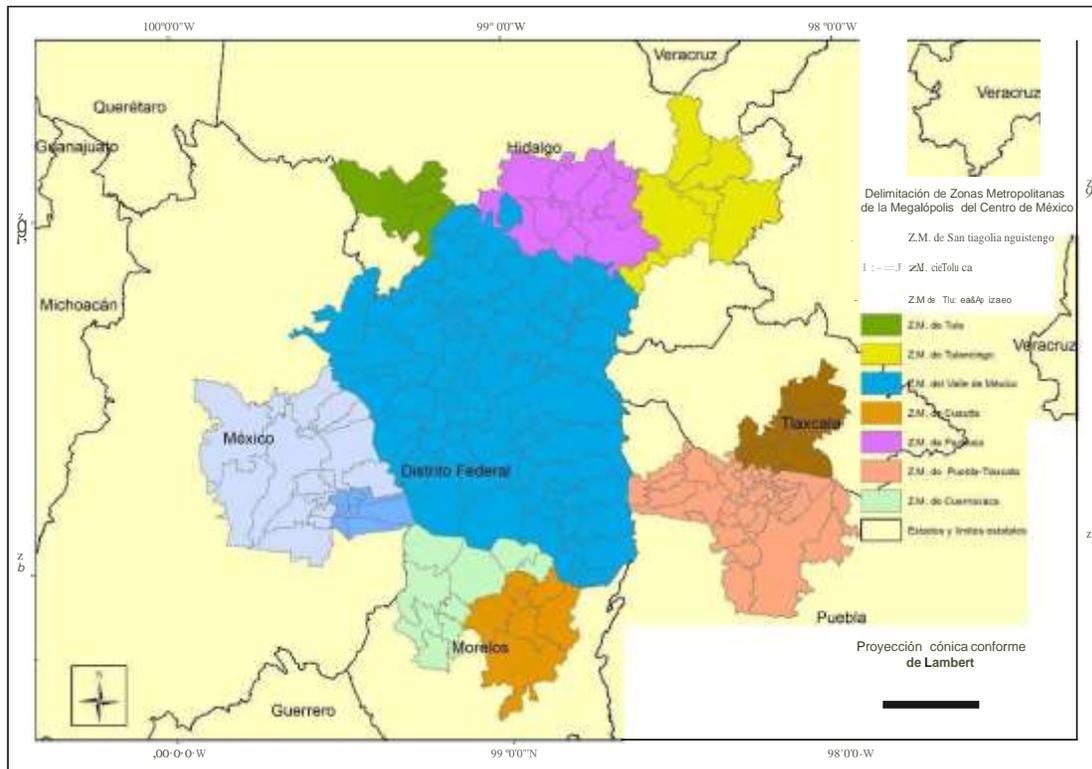
La Megalópolis del Centro de México inició su conformación en la década de los 80 del siglo pasado (Garza, 2010). La Megalópolis del Centro de México se ha delimitado y definido en el subsistema urbano del centro de México en torno a la Zona Metropolitana de la capital, recibiendo también la denominación de Corona Regional del Centro de México, que engloba un total de 189 municipios y alcaldías.

Definida legalmente por vez primera en 1996 (Diario Oficial de la Federación, 1996) como un área que comprende los municipios correspondientes a las zonas metropolitanas de las capitales de los estados limítrofes al Valle de México, así como la totalidad de los municipios que mantienen una relación funcional estrecha con la Ciudad de México y los que se ubican entre las zonas metropolitanas que integran la corona regional de ciudades y la Ciudad de México, además de las alcaldías de la misma (en el momento de definición de la Megalópolis, delegaciones del Distrito Federal). La delimitación de cada zona metropolitana se ciñe a los datos oficiales (CONAPO, 2012a).

A pesar de la preeminencia de la Ciudad de México y su zona metropolitana sobre el resto, se trata de una megalópolis polinuclear por la existencia de varios centros y subcentros (Garza, 2010), los municipios centrales de cada una de las zonas metropolitanas y una serie de núcleos urbanos independientes (DOF, 1996) como son Tepetztlán-Huehuetoca-Zumpango; Pirámides- Nopaltepec; Texcoco y Chalco-Amecameca.

En el Mapa I aparecen los límites y municipios de las siguientes zonas metropolitanas constitutivas de la megalópolis: Valle de México; Valle de Toluca y Santiago Tianguistengo; Puebla-Tlaxcala; Cuernavaca; Cautla; Pachuca-Tlaxcala y Tula-Tulancingo (DOF, 1996). Su extensión y volumen demográfico muestran gran heterogeneidad (Cuadro 1). Globalmente la población ascendió a 27'777,019 habitantes en el último censo de población (INEGI, 2011a) y ocupando una superficie de 18,841 kilómetros cuadrados. La Zona Metropolitana del Valle de México muestra una notable preeminencia sobre el resto de la megalópolis en volumen demográfico representando prácticamente tres cuartas partes del total (72.42%), seguida, a gran distancia, de las de Puebla-Tlaxcala (9.48%) y Toluca (7.25%)

Mapa I. Delimitación de Zonas Metropolitanas de la Megalópolis del Centro de México.



Fuente: Elaboración propia a partir de Marco Geoestadístico Municipal (INEGI, 2010) y de la Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010, (CONAPO, 2012a)

La Megalópolis del Centro de México mantiene un peso dominante en la dinámica económica a nivel nacional. Únicamente las nueve alcaldías de la Ciudad de México que por si mismas aportan el

17.7% del PIB nacional, seguido del Estado de México, con un 9.2%. Al considerar el total aportado por las seis entidades que la componen supone un 33.3 % del PIB nacional (INEGI, 2009).

Cuadro 1. Zonas Metropolitanas de la Megalópolis del Centro de México. Superficie y población.

Zona Metropolitana	Total de Municipios	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje de Superficie sobre total	Población Total (2010)	Porcentaje de Población sobre total.
Cuautla	6	978.84	5.2	434,147	1.56
Cuernavaca	9	1,118.36	5.92	893,508	3.22
Pachuca	9	1,403.29	7.45	205,812	1.93
Puebla-Tlaxcala	37	2,052.72	10.87	2'633,275	9.48
Santiago Tianguistengo	6	303.16	1.61	157,944	0.57
Tlaxcala-Apizaco	19	707.63	3.76	499,567	1.79
Toluca	16	2,410.05	12.79	2'014,091	7.25
Tula	5	590.92	3.13	537,078	0.74
Tulancingo	6	1,416.85	7.52	284,755	1.02
Valle de México	76	7,859.91	41.72	20'116,842	72.42
Total Megalópolis	189	18,841.73	100	27'777,019	100

Fuente: Elaboración propia a partir de Marco Geoestadístico Municipal (INEGI, 2010) y al Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2011a)

Al emplearse el concepto de ciudad-región (Delgado, 2003) para aludir a esta formación megalopolitana, este concepto no supone la continuidad física entre las distintas zonas metropolitanas que las conforman. Del mismo modo, al incorporar municipios periféricos situados entre diferentes zonas metropolitanas se evidencia la existencia de municipios no conurbados o con un carácter urbano menos consolidado (Connolly y Soledad, 2004).

La Megalópolis del Centro de México es una zona sujeta a fuertes dinámicas urbano-demográficas y económicas. Históricamente ha sido el eje estructurador del territorio y la actividad económica nacional. Si se tiene en cuenta los estados sobre los que se extiende, su nivel de participación en el producto interior bruto (PIB) nacional supone un 33.3% (INEGI, 2009), lo que refleja la importancia de la zona para el país en el ámbito económico, en tanto que la concentración de un tercio de los mexicanos en esta región, alude a un patrón altamente centralizado y concentrado. El resultado es la conformación de uno de los sistemas territoriales más complejos a nivel mundial: la Zona Metropolitana del Valle de México, a cuyo alrededor crecen bajo el mismo patrón de ocupación dispersa del territorio, y concentración económica y demográfica, otras zonas metropolitanas de importancia como Toluca, Puebla-Tlaxcala, Tlaxcala-Apizaco, Cuernavaca, Cuautla, Tula, Tulancingo, Pachuca y Tianguistenco. El conjunto de estas ciudades, a través de interacciones funcionales determinan condiciones de uso no racional de los recursos naturales y energéticos, imponen costos económicos y sociales a los sectores productivos y a la población, y determinan vacíos para la gobernabilidad de espacios y situaciones que no corresponden a los niveles de gobierno actualmente existentes (CMM, 2014).

## 2. Metodología

El apartado metodológico está estructurado en tres partes, la primera indica las fuentes para la elaboración de los indicadores constitutivos del Índice de Sustentabilidad del Desarrollo Urbano Integral, así como las características básicas de los mismos. La segunda parte explica la construcción del índice mediante el análisis de componentes principales y su validación mediante la varianza total explicada obtenida en el segundo componente, así como el establecimiento de seis niveles de sustentabilidad. Finalmente en el tercer apartado, se describen las técnicas de análisis espacial empleadas, en particular de Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE).

### 2.1. Selección de indicadores y fuentes

La sustentabilidad del desarrollo urbano consta de nueve temáticas fundamentales (Cuadro 2), acerca del uso del suelo y ordenamiento del territorio, cuantificándose la densidad constructiva y demográfica, calidad de vivienda, disponibilidad de áreas verdes y de recreo; en segundo lugar la desigualdad urbana (indicadores de segregación, marginación, inequidad de ingreso-); movilidad y transporte (indicador de seguridad vial); la competitividad de la economía (Producto interno bruto municipal); el empleo (indicadores de desempleo y empleo informal); conectividad (indicadores de acceso a internet y telefonía) y la provisión de servicios sociales de alto nivel y promoción de la cohesión social, es decir, aspectos de educación, seguridad y salud, con los indicadores de calidad educativa, asistencia escolar, educación superior, violencia y provisión de servicios de salud.

Las variables empleadas en esta investigación son de carácter socio-económico y urbano, como se aprecia en el cuadro 2. No obstante es preciso reconocer que existe una importante limitante en la disponibilidad real de datos, sobre todo al tener que tratarse en un nivel de desagregación a escala municipal. A través de bases de datos de instituciones públicas diversas pudiéndose elaborar un total de 17 indicadores para el nivel de desagregación espacial de municipio y delegación. La selección de indicadores es inspirada en las orientaciones del BID de su iniciativa ICES (BID, 2013).

El indicador 5 de segregación socio-espacial se calculó con el siguiente Índice de Segregación (Duncan y Duncan, 1955):

$$IS = (PBMi / PBT) / (PTMi / PT)$$

En donde,

PBMi= Población en Pobreza Municipio i (CONEVAL, 2011)

PBT= Población en Pobreza del Área de Estudio (CONEVAL, 2011)

PTMi= Población Total Municipio i (INEGI, 2011a)

PT= Población Total del Área de Estudio (INEGI, 2011a)

Cuadro 2. Indicadores de sustentabilidad del desarrollo urbano, elaboración y fuentes

Temas de Sustentabilidad de desarrollo urbano integral	Indicador	Unidades	Fuente
I. Uso del Suelo y Ordenamiento del territorio	1. Densidad	Habitantes por Kilómetro cuadrado	INEGI, 2011a
	2. Vivienda	Número de personas por vivienda particular habitada (Hacinamiento)	INEGI, 2011a
		Superficie de áreas verdes por habitante (metros cuadrados por habitante)	INEGI, 2011b
	3. Áreas verdes y recreación		
II. Desigualdad urbana	4. Pobreza	Porcentaje de Población en situación de pobreza	CONEVAL, 2011 Elaboración propia
	5. Segregación socio-espacial	Índice de Segregación	
III. Movilidad y Transporte	6. Desigualdad de ingresos	Coefficiente de GINI	CONEVAL, 2011
	7. Seguridad vial	Víctimas de accidentes de tráfico por 100,000 habitantes	INEGI, 2011a
IV. Competitividad de la economía	8. Producto bruto	Valor Agregado Bruto Censal/habitante	INEGI, 2011a
V. Empleo	9. Desempleo	Porcentaje de Población Desocupada sobre la PEA	INEGI, 2011a
	10. Empleo informal	Porcentaje de Población Subempleada sobre la PEA	INEGI, 2011a
VI. Conectividad	11. Internet	Porcentaje de viviendas particulares habitadas con servicio de internet	INEGI, 2011a
	12. Telefonía	Porcentaje de viviendas particulares habitadas con servicio de telefonía	INEGI, 2011a
VII. Educación	13. Calidad Educativa	Promedio académico por centros a nivel municipal	INEE, 2015
	14. Asistencia escolar	Porcentaje de población de entre 3 y 14 años que asiste a la escuela	INEGI, 2011a
		15. Educación superior	Porcentaje de población de 18 años y más con educación post-básica
VIII. Seguridad	16. Violencia	Número de delitos por cada 100,000 habitantes	INEGI, 2011a
IX. Salud	17. Provisión de servicios de salud	Porcentaje de Población Derechohabiente	INEGI, 2011a

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2011a); Cartografía geoestadística urbana, Censos Económicos 2009 (INEGI, 2011b); Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2011); Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE, 2015)

## 2.2. Construcción del Índice de Sustentabilidad de Desarrollo Urbano Integral.

Se elaboró un Índice de Sustentabilidad de Desarrollo Urbano Integral (ISDUI) para cada uno de los 189 municipios y alcaldías de la Megalópolis del Centro de México mediante la técnica del análisis de componentes principales (ACP) empleando el software SPSS 24.

Se trata de una técnica estadístico-matemática que permite explorar la estructura subyacente de los datos y re-expresar los datos originales en pocas dimensiones que captan la menor varianza posible de una combinación lineal de las variables originales. En este sentido, el Análisis de Componentes Principales permite estudiar las relaciones que existen entre las variables cuantitativas, sin considerar a priori, ninguna estructura, ni de variables, ni de individuos (Olivares, 2014).

El ACP reduce la dimensión original, facilitando una visión más simple del fenómeno, en el proceso de aplicación genera un nuevo conjunto de variables con las que se puede recuperar tanto la multidimensionalidad conceptual del fenómeno de la sustentabilidad del desarrollo urbano integral,

como contar con un índice (es decir, la primera componente) resumen del fenómeno, es decir, el ISDUI, para cada uno de los municipios y alcaldías de la zona de estudio (CONAPO, 2012b).

Previamente a la construcción del índice ISDUI, se procedió a la revisión de la base de datos, es decir, los 17 indicadores para evitar la presencia de celdas vacías. En los casos existentes de celdas vacías (en los casos presentes siempre menos del 5% de los valores para cada indicador) se empleó el método espacial, es decir, para cada celda vacía asociada a cada unidad espacial (municipio/delegación) se le otorgó valor de la media aritmética de las unidades espaciales contiguas, siguiendo el principio de la primera ley de la geografía formulada por Waldo Tobler (Tobler, 1970).

Con la finalidad de homogenizar las variables se procedió a estandarizarlas. El cálculo de los componentes principales depende de las unidades de medida empleadas en las variables. Es por tanto importante, antes de aplicar el ACP, estandarizar las variables para que tengan media 0 y desviación estándar 1, ya que, de lo contrario, las variables con mayor varianza dominarían al resto.

La validación del ISDUI se comprobó con la obtención de una varianza total explicada de 55.67 en el segundo componente, lo cual permite afirmar su plena validez a superar la varianza total explicada en el segundo componente 50 (Hinojosa, Garrocho, Campos y Campero, 2015).

Una vez aplicado el ACP el ISAUI fue re-escalado en un rango de 0 a 100, estableciéndose seis niveles de sustentabilidad según el puntaje obtenido para cada unidad espacial en el índice: Muy Baja (ISDUI=0-16.667); Baja (16.668-33.333); Media-Baja (33.334-50); Media-Alta (50.001-66.667); Alta (66.668-83.333) y Muy Alta (83.334-100). El criterio de estratificación fue el de intervalos equivalentes, consiste en dividir el rango de valores de atributo en sub-rangos de igual tamaño.

### **2.3. Técnicas de Análisis Espacial**

El Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) es un conjunto de técnicas estadísticas creadas para detectar patrones y tendencias en los datos, y poder así formular hipótesis sobre los mismos (Hernández Hernández, 2015). Estas técnicas describen y visualizan distribuciones espaciales, como el agrupamiento y dispersión de fenómenos en el territorio.

El empleo de AEDE es de interés en análisis de fenómenos con dimensión espacial cuando se carece de un marco formal o teoría previa acerca del fenómeno que se analiza, esto se plantea frecuentemente en el campo de las ciencias sociales, cuando se analizan grandes bases de datos geográficos cuya distribución no se conoce a priori, como es el caso del patrón espacial de la sustentabilidad del desarrollo urbano integral en el espacio de la complejidad de una megalópolis (Chasco, 2006). El AEDE crea una interfaz que facilita el estudio de la información geográfica, permitiendo descubrir patrones y anomalías en los datos que de otro modo no serían aparentes, así como resultados interpretables que permiten al investigador evitar conclusiones superficiales y erróneas sobre el fenómeno (Celemín, 2009).

A través del análisis espacial se indaga en el descubrimiento de la estructura ambiental urbana por medio de un análisis de autocorrelación espacial (I Global de Moran) que permite detectar zonas de configuraciones ambientales diferenciadas y un acercamiento al grado de inequidad al considerar la asociación existente entre las unidades espaciales en relación al ISAUI. Es decir, el análisis de autocorrelación espacial (Índice Global de Moran) permite descubrir si se cumple la hipótesis de que cierta variable (ISDUI) tiene una distribución aleatoria o si, por el contrario, existe asociación significativa de valores similares o no similares entre zonas vecinas (Gómez Barroso, Prieto Flores, Mellado San Gabino y Moreno Jiménez, 2015).

Por medio del Índice Global de Moran y del Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran se puede averiguar el grado de concentración espacial de la sostenibilidad ambiental, identificar clústeres de elevada y baja sustentabilidad ambiental dentro de la megalópolis, y analizar la heterogeneidad u homogeneidad según la sustentabilidad del desarrollo urbano en la Megalópolis del Centro de México. En este trabajo se emplearon los software de SIG (Sistemas de Información Geográfica) ArcMap 10 y GeoDa. El Índice Global de Moran es una medida geográfica-estadística que indica el grado de correlación entre valores de unidades territoriales. El valor de este índice oscila entre -1 y 1; su interpretación es, en cierto modo, similar a la del coeficiente de correlación de Pearson de la estadística estándar. Los valores negativos indican un conglomerado espacial de unidades territoriales con valores de análisis distintos y los valores positivos indican un conglomerado espacial de unidades territoriales con valores de análisis similares, sean altos o bajos. Los tendientes a -1 indicarían autocorrelación negativa y los tendientes a 1 nos indicarían el máximo de autocorrelación positiva. Los valores próximos a 0 indican la ausencia de correlación espacial entre los valores de análisis, es decir, la no existencia de un patrón definido. Se considera significativo cuando es mayor a 0,5 (Celemín, 2009).

El Índice Global de Moran se expresa de la siguiente manera:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\left( \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right)}$$

$y_i$  = Valor de la variable o atributo en cada unidad espacial analizada "i".

$y_j$  = Valor de la variable o atributo en cada unidad espacial vecina "j".

$w_{ij}$  = Proximidad entre las unidades espaciales "i" y "j" (llamada también "matriz de pesos espaciales").

$n$  = Número de unidades espaciales

De la relación entre la variable y su rezago espacial es posible construir el diagrama de dispersión de Moran (Gráfica 1) En este tipo de diagrama se relacionan para cada observación el valor de la variable en la misma y el valor promedio en sus correspondientes observaciones vecinas, así pues, la pendiente de la recta de regresión es el valor del denominado estadístico Índice Global de Moran,

cuanto mayor sea el valor de este estadístico, es decir, el ángulo que forme la recta de regresión con el eje de abscisas, más fuerte será el grado de autocorrelación espacial en la variable, y viceversa (Sánchez y Taddei, 2014).

El retardo espacial puede definirse como una media aritmética simple de los valores de la variable en cuestión de las unidades espaciales limítrofes (Chasco, 2006). En el diagrama de dispersión se clasifican los valores en cuatro cuadrantes: en el cuadrante I o AA se concentran las observaciones altos de variable rodeada de vecinos con similar característica, lo mismo para el III o BB, pero en este caso las observaciones corresponden a bajos valores de la variable. Por otro lado, en el cuadrante II o BA, se ubican los valores bajos de la variable en vecindario con características opuestas, y en el cuadrante IV o AB, se presenta el caso opuesto al cuadrante I; en este caso son altos valores de la variable rodeados de vecinos con bajos valores. En el diagrama de dispersión de Moran se estandariza la variable a analizar y se obtiene el retardo espacial de dicha variable estandarizada, representándose ambos valores en un eje cartesiano.

Gráfica 1. Diagrama de dispersión de Moran:

<b>WZ</b>	II (BA)	I (AA)
	III (BB)	IV (AB)
	<b>Zt</b>	

Fuente: elaboración propia

El Índice Global de Moran se calculó partir de los resultados del índice ISAUI por medio del programa GeoDa. Se tuvo en cuenta que los p-valores fuesen inferiores a 0.05 y que de este modo los resultados fuesen significativos. La significancia en Geoda se calculó por el método de permutación (Lavado, 2015).

Así mismo, una asociación significativa puede no darse en toda la ciudad, sino solo en algunas zonas. Es por ello que tiene gran importancia recurrir a indicadores locales de asociación espacial, el Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran (en inglés LISA: Local Indicators of Spatial Association) , que permiten tener una visión espacial de la sustentabilidad del desarrollo urbano, a diferencia del análisis del índice de Moran por medio de lectura de gráfica sin una plasmación espacial (Martori y Hoberg, 2008).

A El Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran tiene como objetivo que el estadístico obtenido para cada zona suministre información sobre la relevancia de valores similares alrededor de la misma (Anselin, 1995). Mediante su empleo se puede observar a simple vista la hipotética existencia de clústeres de determinadas características (por ejemplo de baja sustentabilidad ambiental).

El Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran nos permite clasificar las unidades espaciales (municipios/alcaldías) de acuerdo con la relación de su Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran respecto a los valores registrados en las unidades espaciales vecinas en cinco categorías:

1. Bajo-Bajo Esta categoría se refiere a unidades espaciales con valores bajos del atributo en estudio (en nuestro estudio, Índice de Sustentabilidad de Desarrollo Urbano Integral ) que tengan como vecinas unidades espaciales que presenten igualmente valores bajos (serían Zonas con segregación significativa de bajos niveles de Índice Sustentabilidad de Desarrollo Urbano Integral).
2. Alto-Alto En esta categoría están unidades espaciales con valores altos de los atributos bajo nuestro análisis, rodeadas de unidades espaciales que registren igualmente valores altos.
3. Bajo-Alto Se incluye en esta categoría a unidades espaciales con valores bajos del atributo en cuestión, rodeadas de unidades espaciales que registren en contraposición valores altos.
4. Alto-Bajo Son unidades espaciales con valores altos del atributo estudiado, rodeadas de unidades espaciales que registran valores bajos.
5. Estadísticamente No Significativo 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.

El Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran se calculó en el programa ArcMap 10 con el Índice de Sustentabilidad del Desarrollo Urbano Integral. Se calculó el pseudo valor P determinando la proporción de los valores del índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran generados a partir de las permutaciones (99) que mostraron más clustering que sus datos originales. La proporción obtenida (pseudovalor P) fue reducida (inferior a 0.05), pudiéndose afirmar que sus datos muestran clústeres estadísticamente significativos (Anselin, 1995)

### **3. Resultados**

#### **3.1. Distribución espacial de la Sustentabilidad del Desarrollo Urbano**

En 2010 la Megalópolis del Centro de México delimitada por 189 municipios y alcaldías contaba con 27'777,019 habitantes. De estos, un total de 8'440,974 habitantes habitaban en 153 municipios con un Índice de Sustentabilidad de Desarrollo Urbano Integral por debajo de 50 (Media-Baja, Baja y Muy Baja sustentabilidad del desarrollo urbano integral), es decir, un 30.4% de la población del área de estudio (Cuadro 3), en tanto que aquellos con menor sustentabilidad (Muy Baja y Baja) representaban un 16.33% y 4'536,227 habitantes. Así mismo los municipios y delegaciones con Muy Alto y Alto nivel de sustentabilidad eran 15, reuniendo un 26.13% de la población.

Cuadro 3. Distribución espacial de los niveles de sustentabilidad de desarrollo por municipios

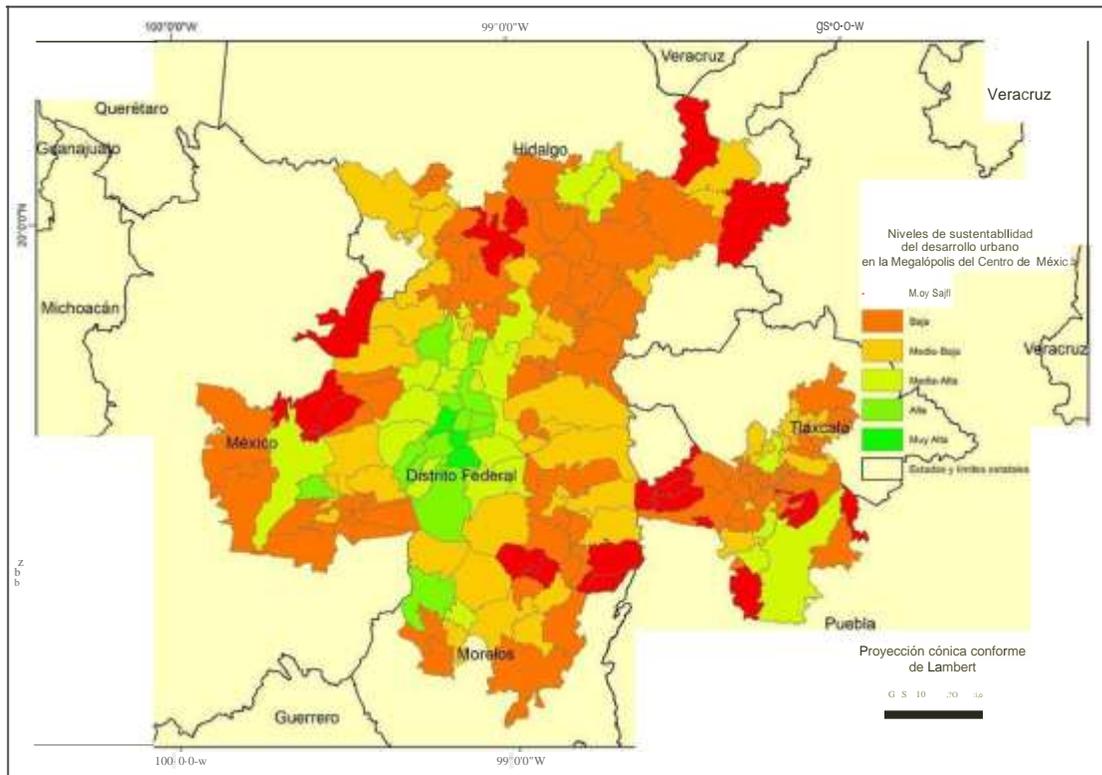
Fuente: Elaboración propia a partir del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2011a)

Nivel de Sustentabilidad de Desarrollo Urbano	Número de <u>Municipios</u>	Población 2010	Porcentaje de Población sobre el total
Muy Alto	3	1,378,744	4.96
Alto	12	5,880,679	21.17
Medio-Alto	21	12'076,622	43.47
Medio-Bajo	48	3'904,747	14.05
Bajo	85	3'951,330	14.22
Muy Bajo	20	584,897	2.11
Total Megalópolis	189	27'777,019	100

Fuente: Elaboración propia a partir de Marco Geoestadístico Municipal (INEGI, 2010).

Si bien parece existir cierto equilibrio numérico y demográfico entre municipios con Muy Alta y Alta y Muy Baja y Baja sustentabilidad, su distribución espacial es desigual (Mapa II).

Mapa 11. Niveles de Sustentabilidad del Desarrollo Urbano en la Megalópolis del Centro de México.



Fuente : Elaboración propia a partir de Marco Geoestadístico Municipal (INEGI, 2010)

Los municipios con con ISDUI superior a la media (Media-Alta, Alta y Muy Alta) se localizan fundamentalmente en torno a las cabeceras metropolitanas: Ciudad de México, Puebla, Cuernavaca, Toluca, Tlaxcala y Pachuca. Sin embargo los niveles de sustentabilidad no son idénticos para estos centros. En el extenso espacio en torno a la Ciudad de México, destacan tres delegaciones con niveles de Muy Alta sustentabilidad (Miguel Hidalgo, Benito Juárez y Coyoacán, con índices de sustentabilidad

superiores a 84.8) así como diez con Alta sustentabilidad (Tlalpan, Azcapotzalco, Cuauhtémoc, Álvaro Obregón, Gustavo A. Madero, Cuajimalpa de Morelos, Iztacalco, Venustiano Carranza, Cuautitlán Izcalli y Coacalco de Berriozábal, estos dos últimos pertenecientes al Estado de México). Cuemavaca tiene una Alta sustentabilidad (ISDUI de 72.9) y uno de sus municipios colindantes, Media-Alta (Jiutepec, ISDUI de 55.6).

Al norte de la megalópolis, Pachuca y su municipio vecino de Mineral de la Reforma presentan una sustentabilidad Media-Alta, aunque inferior a la de las cabeceras metropolitanas antes mencionadas, con índices de 61.1 y 62.4, hacia levante del área de estudio Puebla y Tlaxcala presentan unos índices similares (58.7 y 58.3 respectivamente). En la zona metropolitana de Toluca existe una particularidad, ya que el municipio central, Toluca, no cuenta con los mayores niveles de sustentabilidad (apenas supera el índice 50: 51.4) ya que esta posición la ocupa un municipio contiguo, Metepec (ISDUI de 69.04). Los municipios centrales de las cuatro restantes zonas metropolitanas presentan niveles de Media-Baja (Cuautla, índice de 49.7, Tula de Allende, índice de 45.7 y Tulancingo, con apenas 33.54) e incluso de Baja sustentabilidad (Tianguistenco, ISDUI de 26.8).

Los municipios con sustentabilidad por debajo de índice de 50 son fundamentalmente aquellos de carácter periférico y no conurbado con las cabeceras metropolitanas, aun cuando existen excepciones significativas, como los municipios al sur y sudeste de Toluca, los situados al norte de la Ciudad de México, municipios en torno a Tulancingo y sobre todo los municipios entre Puebla y Tlaxcala. Al norte y nordeste de la Ciudad de México, zona de fuerte crecimiento demográfico en 2000-2010 (INEGI, 2011a), un total de 16 municipios conurbados como son Chimalhuacán, La Paz o Texcoco, entre los más poblados, presentan niveles de Media-Baja y Baja sustentabilidad, con la particularidad de verse separados por el municipio de Tecámac, con un ISDUI de 51.6 (municipio con buena parte de su superficie urbanizada por medio de fraccionamientos de reciente construcción).

Situados entre los centros urbanos de las zonas metropolitanas del Valle de México y Pachuca hay 28 municipios con Baja y Muy Baja sustentabilidad con un promedio de 27.03, igualmente al sudeste de la metrópolis de México en dirección a Cuautla existe una aglomeración de doce municipios con Baja y Muy Baja sustentabilidad (ISDUI de 22.58). Al norte del Toluca existen seis municipios con Muy Baja y Baja sustentabilidad con una media de sustentabilidad de desarrollo urbano de 20.89, al sur de Toluca y englobando la zona metropolitana de Tianguistenco, doce municipios con ISDUI de 29.65.

En las zonas metropolitanas de Tlaxcala y Puebla existe un corredor urbanizado que atravesando ambos centros metropolitanos se extiende desde Tetla de la Solidaridad hasta Oyucan con un total de 44 municipios con índices de Muy Baja y Baja sustentabilidad, con una media de ISDUI de 26.77 (Papalotla, Santa Catarina Ayometla, Santa Cruz Quilehltla, Tepeyanco o Zacatelco, entre otros). Niveles inferiores de sustentabilidad se encontraron en los municipios próximos a la ZMVM en las estribaciones del Popocatepetl e Iztaccihuatl (San Salvador el Verde, Domingo Arenas, Huejotzingo, San Felipe Teotlancingo, Chiautzingo) con un promedio de 12.14 (Muy Baja).

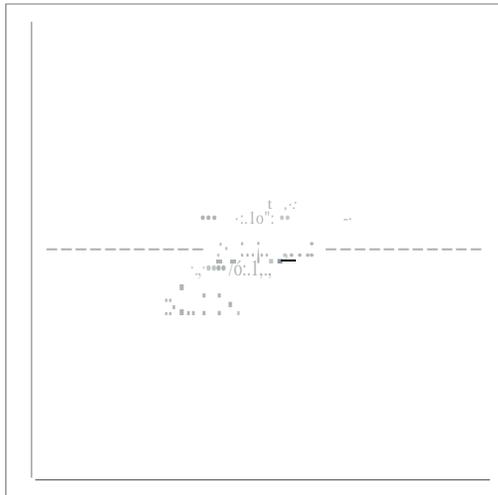
El patrón general de la sustentabilidad de desarrollo es de decrecimiento de los centros metropolitanos hacia las periferias, con algunas excepciones como en la zona metropolitana de Toluca y las de Puebla-Tlaxcala-Apizaco.

### 3.2. Asociación espacial

Para averiguar la existencia de segregación de la sustentabilidad de desarrollo urbano en la Megalópolis del Centro de México se calculó el Índice de Autocorrelación Global de Moran que fue de 0.657 (Gráfica 1), lo cual confirma la existencia de asociación espacial positiva significativa (superior a 0,5), es decir, la presencia en la zona de estudio de uno o varios conglomerados espaciales de unidades territoriales (municipios y alcaldías) con valores de sustentabilidad similares, ya sean altos o bajos.

En la gráfica 1 se observa la pendiente de la recta de regresión con un considerable ángulo con respecto al eje de abscisas, indicándonos la importancia de la autocorrelación existente. En los cuadrantes I y III aparecen las unidades espaciales (municipios y delegaciones) con un ISDUI superior e inferior a la media respectivamente y que se hallan rodeadas de municipios y delegaciones que disponen de índices de sustentabilidad superiores e inferiores a la media megalopolitana. Es decir, lo que serían clústeres de tipo Alto-Alto (Cuadrante 1) y tipo Bajo-Bajo (Cuadrante III).

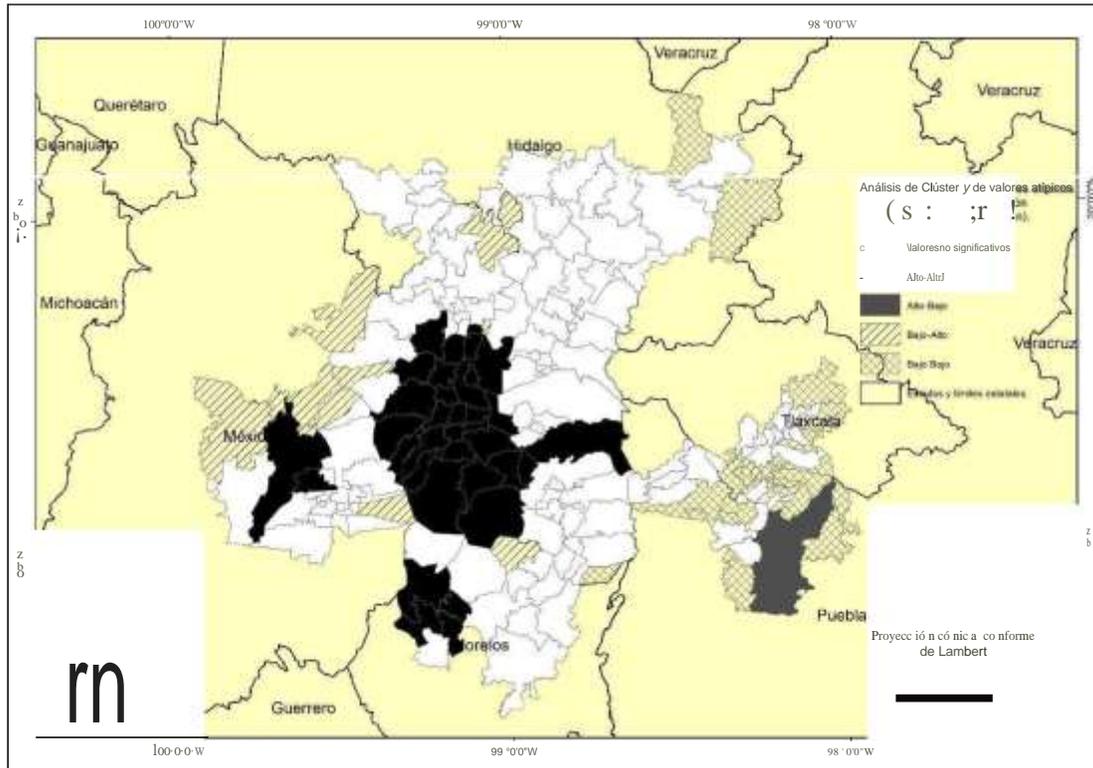
Gráfica 2. Diagrama de dispersión. Índice de Autocorrelación Global de Moran



Fuente: Elaboración propia a partir del Índice de Sustentabilidad de Desarrollo Urbano Integral.

La Megalópolis del Centro de México presenta una significativa asociación espacial de sus niveles de sustentabilidad de desarrollo urbano, pero para poder realizar un análisis espacial de la misma se dispone de la cartografía arrojada por el cálculo del Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran (Mapa III).

Mapa III. Análisis de Clúster y de valores atípicos (Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran).



Fuente: Elaboración propia a partir de Marco Geostadístico Municipal (INEGI, 2010).

En el mapa 111, en clara correspondencia con los resultados del mapa 11, observamos la existencia de zonas de concentración de municipios y delegaciones con Altos y Bajos niveles de sustentabilidad. Fundamentalmente se pueden identificar tres agrupamientos de clústeres: el primero, el más extenso y poblado, conformado por un gran clúster de tipo Alto-Alto en la Ciudad de México; un segundo conjunto en la Zona Metropolitana de Toluca con dos clústeres, uno de tipo Alto-Alto en torno a los municipios de Toluca y Metepec y otro de tipo Bajo-Alto al norte (Almoloya de Juárez, Oztolotepec, Temoaya y Xonacatlán) y un tercer agrupamiento, los clústeres de las zonas metropolitanas de Tlaxcala-Apizaco y Puebla-Tlaxcala con dos clústeres de tipo Alto-Bajo, en torno a los municipios de Tlaxcala (Tlaxcala) y Puebla (Puebla, Cuautlancingo, San Andrés Chulula y San Pedro Cholula) y cuatro de tipo Bajo-Bajo, al este de Tlaxcala en Xalostoc-Tocatlán; al suroeste de Puebla en Ocoyucán y dos extensos entre Tlaxcala y Puebla, donde se localizan municipios de cierta entidad como Amozoc, San Pablo del Monte o Huejotzingo (Cuadro 4).

En torno a la Ciudad de México existen tres clústeres de tipo Bajo-Alto (Chirnalhuacán, Ateneo y Xalatlaco) en tanto que al norte de la ZMVM existe un clúster de tipo Bajo-Bajo (Hueyoptla) y al sudeste de Tulancingo otro de tipo Bajo-Bajo (Cuautepéc de Hinojosa). En Cuernavaca se conforma otro clúster de tipo Alto-Alto junto al municipio de Jiutepec (Mapa 111).

Cuadro 4. Características de los Clústeres de la Megalópolis del Centro de México.

Tipo de Clúster	Situación	Número de municipios	Población Total (2010)
Alto-Alto	Ciudad de México	26	15,535,729
Alto-Alto	Toluca	2	1,033,723
Alto-Alto	Cuernavaca	2	562,121
Alto-Bajo	Puebla	4	1,839,870
Alto-Bajo	Tlaxcala		89,795
Alto-Bajo	Xoxtla		11,598
Bajo-Bajo	Huejotcingo	12	248,028
Bajo-Bajo	Amozoc	10	268,749
Bajo-Bajo	Ocoyucan		25,720
Bajo-Bajo	Xaloztoc		27,358
<u>Bajo-Bajo</u>	<u>Cuaubtepec Hinojosa</u>		54,500
Bajo-Alto	Norte de ZM Toluca	4	362,140
Bajo-Alto	Este de la Ciudad de México	2	670,696
Bajo-Alto	Villa del Carbón		44,881
Bajo-Alto	Hueyoxtla		39,864

Fuente: Elaboración propia a partir del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2011a)

#### 4. Discusión

En las últimas décadas se ha generalizado el diseño y empleo de indicadores e índices de sustentabilidad ambiental (Torres, 2009; IMCO, 2014; Torres, Adame y Campos, 2014). Generalmente se trata de discusiones teóricas y en los trabajos de aplicación de estudios de caso normalmente se trata de exposición descriptiva sin dimensión espacial ni geo-estadística (Andrade y Bermúdez, 2010). A pesar de que generalmente se consideran las ciudades como espacios complejos, no se emplean técnicas que permitan analizar la sustentabilidad ambiental en su dimensión de desarrollo urbano según sus patrones de distribución espacial.

Igualmente en los últimos años han aparecido multitud de trabajos con propuestas de indicadores e índices que permitan la cuantificación de la sustentabilidad en espacios urbanos. Siemens, Corporate Kinghts y General Electric (IMCO, 2014) han elaborado índices de ciudades sustentables y *verdes*, que fueron aplicados a docenas de ciudades de Latinoamérica, Reino Unido y Estados Unidos de América, respectivamente.

Incluso a un nivel de análisis como el municipal existe la dificultad en muchas ocasiones insuperable de la no disponibilidad de datos, lo cual constituye una seria limitante. En el caso del presente trabajo de investigación la propuesta ICES del BID de indicadores, desarrollada entre 2012 y 2016, fue la empleada para la selección de indicadores. En la ICES se propone para la cuantificación de la sustentabilidad del desarrollo urbano un total de 65 indicadores, muchos de los cuales, sobre todo en las temáticas de Movilidad y Transporte y Competitividad de la economía son de difícil o subjetiva elaboración para el caso de México, (Hemández Rejón et al, 2017). En este trabajo se ha probado la posibilidad de construir indicadores a nivel de escala municipal para México de la totalidad de las temáticas del desarrollo urbano integral sustentable, con una metodología reproducible para toda área metropolitana de México.

Los resultados obtenidos en este trabajo son consecuentes con los de otros trabajos de elaboración de índices de sustentabilidad en espacios urbanos y aplicación de técnicas espacial, aun cuando las escalas de las zonas de estudio no fuesen idénticas, ya que es novedoso el análisis de una megalópolis desde esta perspectiva. Así pues entre los estudios de ciudades Iberoamericanas, se puede destacar el caso de ciudad de Mar del Plata (Zulaica y Celemín, 2008; Zulaica y Ferrara, 2012; Zulaica, 2013) en que el que se elaboró un Índice de Calidad de Vida Socioambiental (ICVSA) con indicadores de educación, salud, calidad habitacional, pobreza y ambientales, empleando los radios censales como unidad de referencia espacial se demostró la existencia de una clara diferenciación entre el sector urbano y periurbano, manifestando este último una mayor heterogeneidad espacial y situaciones más críticas de calidad de vida socioambiental.

Igualmente en el caso de estudio de ciudades de Canadá (Shen y Guo, 2014) y Estados Unidos de América (Okumu y Edelman, 2015), estudios en los cuales se construyeron índices y se aplicó análisis de clúster, los patrones de sustentabilidad urbana eran de decrecimiento del centro a las periferias.

La unidad espacial de estudio, el municipio y alcaldía, es el nivel mínimo de desagregación espacial que nos permite contar con indicadores para todas las temáticas de la sustentabilidad del desarrollo urbano integral, en particular con respecto a los indicadores de seguridad, calidad de la educación, producto interno bruto y seguridad vial, para cuales no existe información a nivel de desagregación inferior como Ageb (Áreas Geoestadísticas Básicas) y secciones electorales.

Por otra parte, en referencia a los altos niveles de sustentabilidad de desarrollo urbano de la Ciudad de México detectados en la investigación, no son sorprendentes ya que hay que destacar que la Ciudad de México (antes Distrito Federal) posee una infraestructura urbana no alcanzada por otras urbes del Sistema Urbano Nacional. La inversión Pública Federal entre 1959 y 1998 realizada en la Zona Metropolitana del Valle de México fue el 93% en promedio de toda la asignada al país (Sobrino, 2000). Los niveles mediocres de sustentabilidad de los municipios capitalinos de las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala-Apizaco y Toluca (la segunda y tercera zona metropolitana por volumen demográfico de la Megalópolis del Centro de México respectivamente) tienen su correspondencia con el hecho de que ambas zonas metropolitanas en 2010 eran las que presentaban unos porcentajes de marginación más elevados de toda la nación (CONAPO, 2012b).

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. Esta concepción de territorio diferenciado, que se pudo detectar mediante el análisis espacial, es compartida por los resultados del análisis diagnóstico realizado en 2014 por el Centro Mario Malina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente (CMM, 2014) aun cuando en dicho trabajo no se aplicaron técnicas geoestadísticas ni se integraron los diferentes indicadores en un sistema o índice resumen.

Por medio de la aplicación del análisis espacial se deducen las siguientes consideraciones: en primer lugar existe una considerable aurocorrelación espacial de los niveles de sustentabilidad en la Megalópolis del Centro de México, es decir presencia de agrupamientos de unidades espaciales (municipios y alcaldías) de valores altos y bajos. Así mismo, una dicotomía centro-periferia en las diferentes zonas metropolitanas ya que la sustentabilidad de desarrollo urbano alcanza sus niveles más elevados en los municipios capitalinos de las metrópolis y municipios centrales contiguos conurbados, decreciendo hacia las periferias, o lo que es lo mismo los municipios exteriores aun cuando se detectaron algunas excepciones en las zonas metropolitanas de Apizaco-Tlaxcala-Puebla, Toluca y norte de la Ciudad de México a este patrón.

El patrón de distribución espacial de la sustentabilidad del desarrollo urbano integral en la Megalópolis del Centro de México indica las diferencias existentes entre los municipios y alcaldías de carácter urbano más consolidado y el resto, esta realidad refleja el carácter de la dimensión de la sustentabilidad ambiental urbana que mide el ISDUI, dimensión cuyo fundamento es son las características de vivienda, infraestructura, servicios, equipamiento, comercio, educación, salud y esparcimiento, así como los niveles de marginación, segregación y pobreza existentes.

Igualmente destaca la posición privilegiada en niveles de sustentabilidad de las alcaldías de la Ciudad de México, muy superiores al resto de municipios de la Megalópolis del Centro de México, únicamente algunos municipios de las zonas metropolitanas de Cuernavaca y Toluca alcanzan niveles próximos. Las zonas de la Megalópolis del Centro de México con niveles más bajos de sustentabilidad del desarrollo urbano integral se sitúan fundamentalmente al noreste de la Ciudad de México y zonas metropolitanas de Pachuca y Tulancingo, sureste de la Ciudad de México, amplias extensiones de las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco y periferias de las zonas metropolitanas de Toluca y Santiago Tianguistengo.

El análisis de clústeres proporcionan una visión más clara de estas tendencias y nos aportan un respaldo geoestadístico de esta desigualdad centro-periferias. Los clústeres de valores altos de sustentabilidad están localizados en las áreas centrales metropolitanas, en tanto que los clústeres de bajos niveles, se hallan en los municipios exteriores periféricos.

Los espacios urbanos no son únicamente centros de intercambio de bienes y servicios, tampoco simples lugares de aglutinamiento de actividades y de personas. Lograr una sustentabilidad del desarrollo urbano integral efectiva permitiría la generación de entornos amigables para el ciudadano, un desarrollo social verdadero, y un desarrollo económico armónico con el medio ambiente. Hay que tener en cuenta por otra parte que la sustentabilidad de algunas ciudades o de elementos sustentables puede implicar igualmente consecuencias ambientales negativas a otros territorios, que aportan elementos procedentes del medio ambiente natural que en las ciudades son consumidos (Lezama y Domínguez, 2006).

En México, como en otros países Latinoamericanos, el problema de la sustentabilidad está vinculado al de gobernabilidad. Una mayoría de sus ciudades presentan problemas de gobernabilidad política, social y ambiental. En particular políticas de corto plazo, ineficaz planificación, centralización de decisiones y recursos, o la competitividad enfocada exclusivamente al crecimiento económico, han impedido cristalizar un modelo sustentable, salvo excepciones (Luke, 2002).

### **Conclusiones**

Del presente trabajo de investigación se pueden extraer varias conclusiones, en primer lugar con los datos de acceso libre de organismos públicos mexicanos (INEGI, CONAPO, CONEVAL, SEP) es factible la construcción de indicadores de sustentabilidad con los que elaborar índices que posibilitan su cuantificación. Por otra parte, propuestas como la de ICES de indicadores, a pesar de su intención de aplicación internacional no tiene en cuenta las posibilidades existentes en cada país, de modo que solo una parte de los indicadores propuestos pudieron ser elaborados ante la inexistencia de datos. El índice construido fue validado, englobando los elementos fundamentales de la sustentabilidad de desarrollo urbano, una de las dimensiones fundamentales de la sustentabilidad ambiental urbana. Este índice de sustentabilidad de desarrollo urbano integral es susceptible de ser replicado para el análisis de otras zonas metropolitanas de México.

Igualmente, las herramientas de análisis espacial como el análisis exploratorio de datos espaciales, han demostrado que pueden ser empleadas para la detección de patrones espaciales de sustentabilidad de desarrollo urbano, cuyos resultados pueden ser de gran utilidad para actores públicos, administración y para uso en futuros planeamientos y políticas de carácter público, en particular para la delimitación de aquellas áreas (municipios y alcaldías) en espacios megalopolitanos (o metropolitanos) en situación de baja sustentabilidad del desarrollo urbano integral.

Se hace patente la desigualdad espacial de los niveles de sustentabilidad de desarrollo urbano en un espacio urbano megalopolitano, fenómeno que hasta el presente no había sido analizado desde la perspectiva espacial, lo cual indica la necesidad de aplicación de políticas públicas en materia urbanística, educativa, de salud, seguridad y transporte en aquellos municipios más rezagados.

Para una mayor comprensión y profundización del fenómeno del desarrollo urbano sustentable en la Megalópolis del Centro de México, sería pertinente un análisis de los 17 indicadores según su porcentaje de varianza explicada, es decir, identificar aquellos que determinan en mayor medida la sustentabilidad del desarrollo urbano y averiguar su impacto en las diferentes áreas de la zona de estudio mediante técnicas de análisis espacial como la Regresión Geográficamente Ponderada (GWR) que permite analizar la no estacionariedad de los datos. Esta técnica nos permitiría averiguar si la relación entre el ISDUI y sus 17 indicadores constitutivos es constante en todo el espacio urbano, o si podemos identificar variaciones por zonas (Sánchez, 2012).

Así mismo se propone en futuras investigaciones continuar profundizando en el estudio de la sustentabilidad ambiental de la Megalópolis del Centro de México con la elaboración de un índice que contemple las tres dimensiones, sustentabilidad ambiental, sustentabilidad de desarrollo urbano y sustentabilidad fiscal, así como la aplicación de técnicas de análisis exploratorio de datos espaciales como la heterogeneidad espacial que permita el estudio de las relaciones espaciales de la sustentabilidad con indicadores de carácter socioeconómico o la incidencia de la misma sobre la población en cuestiones de salud.

### **Bibliografía**

Andrade Medina, Pilar. y Bermúdez Cárdenas, Diana Carolina, (2010), "La sostenibilidad ambiental urbana en Colombia" en *Bitácora* 17, 2, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, pp.73-93, doi: 10.15446/bitacora

Anselin, Luc, (1995), "Local indicators of spatial association LISA", en *Geographical Analysis*, 27 (2), The Ohio State University, Columbus, Ohio, pp. 93-115. <[https://dces.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/128/2013/08/W4\\_Anselin1995.pdf](https://dces.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/128/2013/08/W4_Anselin1995.pdf)>, 10 de junio de 2019.

BID (Banco Interamericano de Desarrollo) (2011), "Sostenibilidad Urbana en América Latina y el Caribe", Oficina de Relaciones Externas del BID, Washington D.C. <<https://publications.iadb.org/es/publicacion/16383/sostenibilidad-urbana-en-america-latina-y-el-caribe>>, 24 de abril de 2019.

BID (Banco Interamericano de Desarrollo) (2013), "Indicadores de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles. Guía metodológica", Banco Interamericano de Desarrollo, segunda edición del Anexo 2, 2013, Oficina de Relaciones Externas del BID, Washington D.C. <<https://publications.iadb.org/en/publication/13933/guia-metodologica-programa-de-ciudades-emergentes-y-sostenibles-tercera-edicion>>, 24 de abril de 2019.

elemín, Juan Pablo, (2009), "Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial. Importancia, estructura y aplicación" en *Revista Universitaria de Geografía*, 18, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, pp. 11-31.

Chasco, Coro, (2006), "Análisis estadístico de datos geográficos en geomarketing: el programa GeoDa" en *Distribución y Consumo*, 2, Mercasa, Madrid, pp. 34-45.

CMM (Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente) (2014), " Actualización al diagnós

tico de la Megalópolis del Centro de México". Ciudad de México, México, USAID-México, <<http://www.plataformaleds.org/images/images/0891470001471877373.pdf>>, 24 de abril de 2019.

CONAPO (Consejo Nacional de Población) (2012a), "Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010", Consejo Nacional de Población, Ciudad de México. <[http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Zonas\\_metropolitanas\\_2010](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Zonas_metropolitanas_2010)>, 24 de abril de 2019.

CONAPO (Consejo Nacional de Población) (2012b), "Índice de marginación urbana", Consejo Nacional de Población, Ciudad de México.

<[http://conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice\\_de\\_marginacion\\_urbana\\_2010](http://conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_marginacion_urbana_2010)>, 24 de abril de 2019.

CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social) (2011), "Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México" en *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 2 (1), Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, pp.36-64.

Connolly, Priscila y Cruz, María Soledad (2004), "Nuevos y viejos procesos en la periferia de la Ciudad de México", en Adrián Guillermo Aguilar (coord.), *Procesos metropolitanos y grandes ciudades. Dinámicas recientes en México y otros países*, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, pp. 455-475.

Cortés Mura, Hernán Gustavo y Peña Reyes, José Ismael, (2015), "De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos" en *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 78, Universidad EAN, Bogotá, pp. 40-54, <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20640430004>>, 11 de junio de 2019.

respo, Anna Risi Vianna y Puerta, Juan Manuel (2016), "Evaluación de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles del BID", Oficina de Evaluación y Supervisión del Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D.C.

<<file:///C:/Users/lenin/Downloads/Evaluaci%C3%B3n-de-la-Iniciativa-Ciudades-Emergentes-y-Sostenibles-del-BID.pdf>>, 24 de abril de 2019.

Delgado, Javier, (2003), "La urbanización difusa, arquetipo territorial de la ciudad región" *Revista Sociológica*, 18, núm. 51, Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (1996) Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, DOF, 15/07/1996, Secretaría de Gobernación, Ciudad de México.

<<https://www.dof.gob.mx/index.php?year=1996&month=07&day=15>>, 24 de abril de 2019.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (2013) Convenio de Coordinación por el que se crea la Comisión Ambiental de la Megalópolis, que celebran la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el Gobierno del Distrito Federal y los estados de Hidalgo, México, Morelos, Puebla y Tlaxcala, DOF, 3/10/2013, Secretaría de Gobernación, Ciudad de México.

<[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5316255&fecha=03/10/2013](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5316255&fecha=03/10/2013)>, 24 de abril de 2019.

Duncan, Otis Dudley y Duncan, Beverly (1955), "A methodological analysis of segregation indexes" en *American Sociological Review*, 41, American Sociological Association, Washington D.C., pp. 210-217.

Garza, Gustavo (2010), "La transformación urbana de México, 1970-2020" en Gustavo Garza y Martha Scheingart (coords.). *Los grandes problemas de México. Desarrollo urbano y regional*, El Colegio de México, Ciudad de México, pp. 31-87.

Gómez Barroso, Diana., Prieto Flores, María Eugenia, Mellado San Gabino, Ana. y Moreno Jiménez, Antonio (2015), " Análisis espacial de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares en la ciudad de Madrid, España" en *Revista Española de Salud Pública*, 89 (1), Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar social, Madrid, pp 30-31.

Gottmann, Jean (1957), "Megalopolis or the urbanization of the Northeastern seaboard", *Economic Geography*, 33 (3), Taylor & Francis, Abingdon-Oxfordshire, pp. 189-200.

Graizbord, Boris (2002), "Elementos para el reordenamiento territorial: Usos del suelo y recursos" en *Estudios Geográficos y Urbanos*, 17, El Colegio de México, Ciudad de México.

Hemández, Elda Margarita, (2010), "El problema de la vivienda marginal en México. El caso de los asentamientos humanos periféricos en el Sur de Tamaulipas, México", tesis doctoral, Universitat de Barcelona, Barcelona.

Hemández, Vladimir (2015) "Análisis geoespacial de las elecciones presidenciales en México, 2012" en *EURE*, 41 (122), Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, doi: 10.4067/S0250-71612015000100009

Hemández Rejón, Elda Margarita, Adame Martínez, Salvador y Cadena Vargas, Edel (2017) "Los retos de la sustentabilidad urbana en México. Reflexiones sobre su evaluación a través de la Metodología ICES del BID" en *Quivera*, 19 (1), enero-junio, 2017, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, pp. 85-97.

Hinojosa, Raquel, Garrocho, Carlos Félix, Campos, Juan y Campero, Araceli Consuelo (2015), "Pronóstico de accidentes viales en el espacio intrametropolitano de Toluca: un enfoque Bayesiano" en *Transportes*, 23 (2), (2015), Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, p. 43-55.

maz Gispert, Mireya, Ayala Islas, Dalia, y Beristain Aguirre, Ana (2014), "Sustentabilidad, territorios urbanos y enfoques emergentes interdisciplinarios" en *Interdisciplina* 2, 2, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, pp.39-49, doi: 10.22201/ceiich.24485705e.2014.2.46523

IMCO (Instituto Mexicano para la Competitividad) (2014), "Índice de Ciudades Competitivas y Sustentables 2014", Instituto Mexicano para la Competitividad, Ciudad de México.

INEE, (Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación) (2015) "Resultados Nacionales de Planea Educación Básica 2015", Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación, Ciudad de México, <<https://www.inee.edu.mx/index.php/planea>>, 24 de abril de 2019.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2009), "Censos Económicos 2009" Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Ciudad de México, < <https://www.inegi.org.mx/app/saic/>>, consultado 6 de junio de 2019.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2010), "Marco Geoestadístico", Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Ciudad de México.

<<http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/mg/>>, 24 de abril de 2019.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2011a), "Censo de población y vivienda 2010", Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Ciudad de México.

<<https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>>, 24 de abril de 2019.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2011b), "Cartografía geoestadística urbana, Censos Económicos 2009, DENEUE marzo 2011". Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Ciudad de México. <[www.beta.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=denuue#tabMCcollapse-Indicadores](http://www.beta.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=denuue#tabMCcollapse-Indicadores)>, 24 de abril de 2019.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2012), "Sistema de cuentas nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa 2007-2011", Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Ciudad de México, <[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bviniegi/productos/derivada/regionales/pib/2007-2011/702825003971.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bviniegi/productos/derivada/regionales/pib/2007-2011/702825003971.pdf)>, 24 de abril de 2019.

Lavado, Julio César (2015), "Evaluación de autocorrelación espacial global y local para zonas de tránsito" ponencia presentada en el XIII Rio de Transportes 19 e 20 de agosto, Río de Janeiro, Brasil.

Lezama, José Luis y Domínguez, Judith, (2006), "Medio ambiente y sustentabilidad urbana", en *Papeles de Población*, vol. 12 (49), Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, pp. 153-176

Uke, Timothy, (2002), "The people, politics, and the planet: who knows, protects, and serves nature best?", en Mynter y Taylor, *Democracy and the claims of nature. Critical perspectives for a new century*, Rowman & Littlefield Publishers Inc, Lanham.

Martínez, Pedro Martín (2015), "La producción del espacio en la ciudad latinoamericana. El modelo del impacto del capitalismo global en la metropolización" en *Hallazgos*, vol.12 (23), Universidad Santo Tomás, Bogotá, p. 221.

Martori Cañas, Joan Carles y Hoberg, Karen, (2008), "Nuevas técnicas de estadística espacial para la detección de clusters residenciales de población inmigrante" en *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 12 (256-280), Universitat de Barcelona, Barcelona.

Méndez Chiriboga, Mayra Alejandra, (2012), "*La sostenibilidad y sustentabilidad en los museos, dos enfoques principales: La museología tradicional y la nueva museología. Estudio de caso en dos museos de la provincia de pichincha*". Tesis previa a la obtención del título de licenciada en restauración y museología, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.

Oroño Sánchez, Enrique (2013), "Indicadores para el estudio de la sustentabilidad urbana en Chimalhuacán, Estado de México" en *Estudios Sociales*, 43, Universidad Autónoma del Estado de México, Texcoco, doi: 10.24836/es.v22i43.51

Ori, Koichiro y Christodoulou, Aris (2012), "Review of Sustainability Indices and Indicators: Towards a New City Sustainability Index (CSI)", en *Environmental Impact Assessment Review*, 32, University of East Anglia, Norwich, pp. 94-106.

Okumu, Gok9er y Edelman, David (2015), "An indicator modelo fthe spatial quantification and pattern analysis ofurban sustainability: A case ofstudy ofCincinatti, Ohio" en *Current Urban Studies*, 03(03), Scientific Research Publishing, Wuhan, República Popular China, pp. 231-240, doi: 10.4236/cus.2015.33019

(2014), "Aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP) en el diagnóstico socioambiental. Caso: sector Campo Alegre, municipio Simón Rodríguez de Anzoátegui" en *Multiciencias*, 14(4), Universidad de Zulia, Punto Fijo, pp.366-368.

NU (Organización de las Naciones Unidas) (1987), Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo "Nuestro Futuro Común", Organización de las Naciones Unidas, Washington.

<[http://www.ecominga.uqa m.ca/PDF/BI BLIOGRAPH IE/GU IDE\\_LLECTU RE\\_I/CM MAD-Informe-Com ision-Bru ndtland-sobre-Medio-Ambiente-Desa rrollo.pdf](http://www.ecominga.uqa m.ca/PDF/BI BLIOGRAPH IE/GU IDE_LLECTU RE_I/CM MAD-Informe-Com ision-Bru ndtland-sobre-Medio-Ambiente-Desa rrollo.pdf)>, 24 de abril de 2019.

Rivas Tovar, Luís Arturo, Carmona Tapia, Salvador, Chávez Espejel, José Antonio, García Márquez, Mario, Maldonado Hernández, Berenice, (2006), "Mapas políticos metropolitanos en las megalópolis mexicanas" en *Universidad & Empresa*, 5 (10), pp. 7-23. Universidad del Rosario, Bogotá.

ánchez Peña, Landy Lizbeth, (2012) "Alcances y límites de los métodos de análisis espacial para el estudio de la pobreza urbana" en *Papeles de Población*, 18 (72), Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, pp.147-179,<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11223536007>>, 12 de junio de 2019.

Sánchez, José Manuel y Taddei, Cristina (2014), "Regiones y distribución espacial de las actividades económicas en Sonora" en *Estudios Sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 22 (43), Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C, Hermosillo. <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41729386008>>, 24 de abril de 2019.

Shen, Li y Guo, Xulin (2014), " Spatial quantification and pattern analysis of urban sustainability based on a subjectively weigh indicator model: A case study in the city of Saskatoon, SK, Canada" en *Applied Geography* 53, Kennesaw State University, Kennesaw, pp. 117-127, doi: 10.1016/j.apgeog.2014.06.001

Sobrino, Jaime (2000), "Inversión Pública Federal", en Gustavo Garza (coord.), *La Ciudad de México en el fin del segundo milenio*, El Colegio de México, Ciudad de México, <<http://www.cervantesvirtual.com/obra/la-ciudad-de-mexico-en-el-fin-del-segundo-milenio-877011/>>, 13 de junio de 2019.

Tobler, Waldo Rudolph (1970), "A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region" en *Economic Geography*, 46, Clark University, Worcester, pp. 234-240,

<[https://dds.cepal.org/infancia/guia-para-estimar-la-pobreza-infantil/bibliografia/capitulo-IV/Tobler%20Waldo%20\(1970\)%20A%20computer%20movie%20simulation%20urban%20growth%20in%20the%20Detroit%20region.pdf](https://dds.cepal.org/infancia/guia-para-estimar-la-pobreza-infantil/bibliografia/capitulo-IV/Tobler%20Waldo%20(1970)%20A%20computer%20movie%20simulation%20urban%20growth%20in%20the%20Detroit%20region.pdf)>, 7 de junio de 2019.

Torre Jofré, Mario, (2009) "Índice de Sostenibilidad Urbana: una propuesta para la ciudad compleja" en *Revista Digital Universitaria*, 10(7), Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, <<http://www.revista.unam.mx/vol.10/num7/art44/int44.htm>>, 11 de julio de 2019.

Torres Tovar, Rigoberto, Adame Martínez, Salvador y Campos Medina, Eduardo, (2014). "Propuesta de indicadores para medir la sustentabilidad en la zona metropolitana de Toluca" en *Debate Económico*, 3(9), Laboratorio de Análisis Económico y Social, Ciudad de México, pp. 121-147, <<https://issuu.corn/laesmx/docs/debateno9complf>>, 11 de julio de 2019

Zulaica, Laura y Celemín, Juan Pablo (2008), "Estudio de las condiciones de calidad de vida en los espacios urbanos y periurbanos del sur de la ciudad de Mar del Plata (Argentina) a partir de la elaboración y análisis espacial de un índice sintético socioambiental" en *Papeles de Geografía*, 47-48, Universidad de Murcia, Murcia, <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40712217013>>, 13 de junio de 2019.

Zulaica, Laura y Ferraro, Rosana (2012), "Procesos de crecimiento, indicadores de sustentabilidad urbana y lineamientos de intervención en el periurbano marplatense" en *Arquisur Revista*, 2, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe., doi: <https://doi.org/10.14409/ar.v1i2.936>

Zulaica, Laura (2013) "Sustentabilidad social en el periurbano de la ciudad de Mar del Plata: análisis de su evolución a partir de la construcción y aplicación de un Índice de Habitabilidad" en *Revista Georaguaia*, 3, Campus Universitário do Araguaia, Mato Grosso, <<https://core.ac.uk/download/pdf/52476966.pdf>>, 13 de junio de 2019.

Recibido: 5 de febrero de 2019

Reenviado: 3 de julio de 2019

Aceptado: 5 de agosto de 2019

**Daniel de las Heras Gutiérrez.** Maestro en Análisis espacial y Geoinformática, por la Universidad Autónoma del Estado de México. Ha realizado estudios de Licenciatura en Geografía, Licenciatura en Historia, Certificado de Actitud Pedagógica, Diplomado en Estudios Avanzados en Análisis Territorial y Organización del Espacio en Galicia, por la Universidad de Santiago de Compostela, España. Actualmente se encuentra realizando el Doctorado en Ciencias Ambientales en la Universidad Autónoma del Estado de México. Ha realizado los siguientes títulos de tesis: "Dinámica da poboación na ría de Ferro/ no século XX" y "Análisis Espacial de la Marginación y Segregación Socioeconómica en la Zona Metropolitana de Toluca, 1990-2010". Línea de investigación actual: Desigualdad Social y Análisis Espacial. Dirección Postal: 50090. Teléfono: 01 (722) 671026. Correo electrónico: [leninakan-1@hotmail.com](mailto:leninakan-1@hotmail.com).

**Salvador Adame Martínez.** Doctor en Ciencias en el Colegio de Postgraduados. Actualmente es profesor-investigador en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Planeación Territorial-FaPUR-UAEM, Universidad Autónoma del Estado de México. Línea de investigación actual: Riesgo y vulnerabilidad; Sistemas de Información geográfica y Percepción Remota; Ordenamiento Territorial. Entre sus últimas publicaciones destacan: "García B., M. y S. Adame M. 2017. Propuesta metodológica para evaluar la vulnerabilidad por ciclones tropicales en ciudades expuestas. Revista Quivera. Año 19, 2017-2. Julio- diciembre (pp. 35-58). ISSN: 1405-8626". "Mancino, Mariana; Adame M., S.; Cadena V., E.; e Hinojosa R., R. 2018. Marginación y costos de inundación en el Estado de México, México. Investigaciones Geográficas. No. 69, enero-junio de 2018, pp. 91-106". "Reyes Anistro, G.; S. Adame M. S.; y Cadena V., E. 2018. Vulnerabilidad ante la variabilidad climática en los cultivos de maíz *Zea mays*. Sociedad y Ambiente. Año 6. Número 17 julio-octubre 2018 (93-113p.) ISSN: 2007-6576". Dirección postal institucional: 50180. Teléfono: 722 2 12 19 38. Correo electrónico: [adame\\_ms@yahoo.com](mailto:adame_ms@yahoo.com).

**Edel Gilberto Cadena Vargas.** Licenciado, Maestro y Doctor en Sociología por la Universidad Nacional Autónoma de México y Especialista en Sistemas de Información Geográfica. Actualmente es profesor-investigador en la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Línea de investigación actual: Desigualdad Social y Análisis Espacial. Entre sus últimas publicaciones destacan: "*La distribución del ingreso en los estados y municipios de México 2000-2010*, 2016: México: Universidad Autónoma del Estado de México. ISBN (libro digital) 978-607-437-384-4 e ISBN (libro impreso) 978-607-437-383-7 pp.309." Hernández-Rejón, E.M., Adame-Martínez, S., Cadena-Vargas, E. "Los retos de la sustentabilidad urbana en México. Reflexiones sobre su evaluación a través de la Metodología ICES del BID" en *Quivera*, vol. 19, núm. 1, enero-junio, 2017, pp. 85-97, México: Universidad Autónoma del Estado de México, ISSN: 1405-8626. En coautoría con Hernández-Rejón, Elda M.; y Adame-Martínez, Salvador. "Crecimiento económico y desigualdad social en las metrópolis de México" en Santana-Juárez, Marcela Virginia, Guadalupe Hoyos-Castillo y Giovanna Santana-Castañeda, 2016: *Desafíos de las metrópolis: efectos ambientales y sociales tendencias geográficas 11*, México: Universidad Autónoma del Estado de México. En coautoría Edel Cadena-Vargas, Juan Campos-Alanis y Brisa Carrasco-Gallegos. ISBN: 978-607-422-705-5, pp 137-180. ". "Mancino, Mariana; Adame M., S.; Cadena V., E.; e Hinojosa R., R. 2018. Marginación y costos de inundación en el Estado de México, México. Investigaciones Geográficas. No. 69, enero-junio de 2018, pp. 91-106". Dirección postal institucional: Vicente Guerrero s/n, Ciudad Universitaria, Toluca, 50100. Teléfono: (722) 214 3182 y 215 0255. Correo electrónico: [edelcadena@yahoo.com.mx](mailto:edelcadena@yahoo.com.mx) y [cadenav@uaemex](mailto:cadenav@uaemex).

Juan Campos Alanís. Doctor en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente se encuentra adscrito a la Facultad de Geografía, en la Universidad Autónoma del Estado de México. Su línea de investigación actual es: Geografía del Envejecimiento, análisis espacial de las condiciones relativas de vida. Entre sus últimas publicaciones destacan: "Jim Simmons, Carlos Garrocho, Shizue Kamikihara & Juan Campos (2018). The evolving retail structure ofmexico city, Papers in Applied Geography, 4:3, 305-325", DOI:10.1080/23754931.2018.1486731. "Garrocho C, Campos-Alanís J, Chávez-Soto T. Análisis espacial de los inmuebles dañados por el sismo. 19S-2017 en la Ciudad de México. En Salud Publica Mex 2018;60 (supl 1):S31-S40". "Garrocho, Campos-Alanís J (2018). Segregación socioespacial de la población mayor. La dimensión desconocida del envejecimiento. Zinacantepec, México. El Colegio Mexiquense A.C." Dirección postal: Cerro Coatepec s/n Ciudad Universitaria, Toluca Estado de México C.P. 50110. Teléfono: (722) 21 50 255 Fax: (722) 21 43 182. Correo electrónico: [juan\\_campos70@hotmail.com](mailto:juan_campos70@hotmail.com) [ccam-osa](http://www.ccam-osa.uaemex.mx) [uaemex.mx](http://www.uaemex.mx)

## 4.1.2. Artículo científico aceptado *Análisis espacial del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en la Megalópolis de México*. Revista Investigaciones Geográficas

ISSN: 0213-4691. E-ISSN: 1989-9890.  
DOI: 10.14198/INIGE01010.HGAMCVCA

[Investigaciones Geográficas](#)  
[Instituto Interuniversitario de Geografía](#)  
[Universidad de Alicante](#)

Cita bibliográfica: De Las Heras Guirre, D., Adame Martínez, S., Cadena Vargas, E.G., & Campos Alanís, J. (2020). Análisis espacial del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en la Megalópolis de México. *Investigaciones Geográficas*, in press. <https://doi.org/10.14198/INIGE02020.HGAMCVCA>

# Análisis espacial del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en la Megalópolis de México

## *Spatial Analysis of the Urban Environmental Sustainability Index in the Megalopolis of Mexico City*

Daniel De Las Heras Guirre<sup>1</sup>  
Salvador Adame Martínez<sup>2</sup>  
Edel Gilberto Cadena Vargas<sup>3</sup>  
Juan Campos Alanís<sup>4</sup>

### Resumen

La sustentabilidad ambiental urbana implica alcanzar cualitativamente un nivel medioambiental, socioeconómico, e institucional que permita el funcionamiento equilibrado de la ciudad a largo plazo. Es por ello, que su análisis es relevante en las ciudades, que concentran la mayoría de la población mundial y donde se desarrollan actividades económicas y sociales fundamentales, y que presentan, así mismo, problemáticas ambientales. La detección del patrón espacial y distribución de la sustentabilidad es de interés para investigadores y agentes políticos y sociales para la comprensión del fenómeno y para su posible solución al facilitar la delimitación y caracterización de aquellas áreas de la ciudad menos sustentables. Se elaboró el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana con 35 indicadores que comprenden las tres dimensiones de sustentabilidad, aplicando técnicas de análisis espacial (autocorrelación espacial, análisis de cluster) en la Megalópolis de México. Se validó el índice, detectando una desigual distribución de los niveles de sustentabilidad, decreciente de municipios centrales a exteriores en cada zona metropolitana, una asociación espacial positiva significativa y existencia de clústeres, de elevada sustentabilidad en los centros metropolitanos conurbados y de baja sustentabilidad en zonas periféricas. Se plantea la aplicación de técnicas de análisis de correlación espacial de tipo bivariado para detección de posibles factores explicativos de sustentabilidad en posteriores estudios.

Palabras clave: Análisis espacial; sustentabilidad urbana; Megalópolis; Índice de sustentabilidad Ambiental Urbana; Indicadores; Clúster.

### Abstract

Urban environmental sustainability implies qualitatively reaching an environmental, socioeconomic, and institutional level that enables the balanced long-term operation of a city. This analysis is relevant given that cities concentrate the majority of the world's population and are the home of fundamental economic and social activities - and that cities also suffer environmental problems. The detection of a spatial pattern and distribution of sustainability is of interest to researchers and political and social agents for understanding the phenomenon and its possible solution by facilitating the delimitation and

- 1 Universidad Autónoma del Estado de México, México. [jeni.nakan\\_1@hotmail.com](mailto:jeni.nakan_1@hotmail.com), Autor para correspondencia.
- 2 Colegio de Postgraduados, y Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Planeación Territorial - Facultad de Urbanismo, Universidad Autónoma del Estado de México, [salame\\_ms@yahoo.com](mailto:salame_ms@yahoo.com).
- 3 Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México. [ede.cadena@yahoo.com.mx](mailto:ede.cadena@yahoo.com.mx)
- 4 Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México. [jcaruposa@uaemex.mx](mailto:jcaruposa@uaemex.mx)

Recpción: 09/09/2019.

Aceptación: 13/03/2020.

Publicación impresa: 18/05/2020.

Este trabajo se publica bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional](#).

Dentro de las problemáticas ambientales, el desarrollo urbano sustentable busca aminorar los efectos perjudiciales de la urbanización acelerada y del modo de producción predominante sobre el medio y las sociedades que habitan el mismo. En los últimos años, más de la mitad de la humanidad habita en espacios urbanos (51,46% en 2010), de ahí la importancia de las implicaciones medioambientales del fenómeno urbano en la actualidad, además de que es un proceso que se ha incrementado las últimas décadas: 33,56% en 1960; 39,28% en 1980; 46,53% en 2000 y 53,84% en 2015 (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2018). Por otra parte no presenta un comportamiento idéntico en todo el mundo, ya que, en particular, en Iberoamérica la tasa de urbanización ascendió de un 49,28% en 1960 a un 79,82% en 2015, por comparación en Europa y la Comunidad de Estados Independientes (CEI) la tasa se incrementó de un 55,39% en 1960 un 70,87% en 2015, en tanto que en América Anglosajona de un 69,92% a un 81,64%, respectivamente (ONU, 2018).

El crecimiento de la población urbana en Iberoamérica no se ha traducido en una mejora de las condiciones de vida de sus moradores (Sánchez González, 2012). Las ciudades en Iberoamérica, en general, constituyen sistemas complejos e interdependientes, en donde los desequilibrios ambientales, económicos y sociales han implicado la generación de barreras para el desarrollo sustentable de las mismas (Martínez Peralta, 2016).

Así pues, actualmente las ciudades concentran un elevado porcentaje de la población y de la actividad económica. Es por ello que la sustentabilidad urbana es fundamental para lograr una tendencia de desarrollo conveniente para generaciones presentes y futuras.

El concepto de sustentabilidad abarca diferentes componentes urbanos que trascienden lo ambiental e incluyen variables culturales, políticas, institucionales, sociales y económicas. Esta visión ha implicado el desarrollo de metodologías que contemplen el estudio de las ciudades como sistemas holísticos complejos.. La aproximación interdisciplinaria puede aportar una comprensión cualitativa y cuantitativa de los problemas de desarrollo y gestión urbana (Imaz, Ayala y Beristain, 2014).

En la literatura especializada en español, se emplean indistintamente los términos sostenible y sustentable; desarrollo sostenible y desarrollo sustentable; sostenibilidad y sustentabilidad (Cortés y Peña, 2015). Méndez (2012), indica que ambos términos no presentan mayor diferenciación con respecto a su aplicación al desarrollo, sin embargo, la diferencia concierne al lugar donde se utilice el término, siempre y cuando no se modifique su objetivo principal: satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer las de las generaciones futuras.

La sustentabilidad urbana puede definirse como el alcanzar cualitativamente un nivel socioeconómico, demográfico y tecnológico que permita mantener el funcionamiento de la ciudad en el largo plazo (Graizbord, 2002). Es en este sentido que una nueva perspectiva de la ciudad debe cambiar su modelo tradicional para mantener una calidad ambiental urbana con una visión de futuro, misma que se puede considerar que está en proceso de construcción. El estudio de la sustentabilidad urbana permite elaborar propuestas en tomo a diversas problemáticas ambientales territoriales, facilita diagnosticar la condición urbana, sus recursos naturales, el tipo de desarrollo, el impacto ambiental, económico y social igual que la posible participación de los diversos actores sociales (Moreno Sánchez, 2013).

La ciudad ambientalmente sustentable se caracteriza por configurarse como un sistema holístico en el cual los diferentes aspectos sociales, económicos, ambientales e institucionales se encuentran armonizados integralmente. Se parte de la idea que una ciudad está compuesta por subsistemas interrelacionados e interdependientes (Ruiz, 2012).

Si bien existen diversas propuestas metodológicas para medir la sustentabilidad a través de indicadores urbanos e índices resumen de los mismos, sin embargo, los trabajos de

investigación desde un punto de vista espacial son escasos en la temática. Aunque el número de indicadores empleados en los estudios ambientales de carácter urbano es variable, existen dimensiones a las cuales se adscriben todos ellos, características sociales, económicas, ambientales y gubernativas.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) establece tres desafíos a tener en cuenta en la cuantificación de la sustentabilidad urbana: Riesgo de desastres y cambio climático (gestión del medio ambiente y consumo de recursos naturales); mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes; reducción de la vulnerabilidad ante amenazas naturales); Sustentabilidad Urbana (Uso del suelo; Ordenamiento territorial; desigualdad urbana; movilidad y transporte; competitividad económica, empleo y conectividad; educación; seguridad y salud); gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia evalúa los mecanismos adecuados de gobierno, la gestión adecuada de los ingresos, gastos y deuda pública. Las tres dimensiones propuestas por el BID son de carácter Ambiental, Socio-económico y Gubernativo-Financiero, respectivamente (BID, 2011).

Existen trabajos en los que el análisis del desarrollo sustentable urbano incorpora elementos ecológicos, económicos y sociales (BID 2011; BID, 2013; Morí y Christodoulou, 2012; Shen y Guo, 2014). Estos tres elementos se traducen en tres dimensiones que fueron utilizados en la propuesta de Torres Tovar, Adame Martínez y Campos Alanís, (2014) para la medición de la sustentabilidad en la Zona Metropolitana de Toluca, con un total de 54 indicadores.

En cambio otros autores como Torre Jofré (2009) establecen cuatro dimensiones: Habitabilidad, Equidad, Competitividad y Gobernanza. Sin embargo, en la práctica engloban idénticos aspectos: la dimensión de Habitabilidad se correspondería con las dimensiones Ambiental y Socio-económica del BID, la dimensión de Equidad con la Socio-económica y en tanto que las dos últimas, Competitividad y Gobernanza quedarían englobadas en la dimensión de Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia propuesta por el BID.

En la actualidad ya existe una experiencia internacional en elaborar índices de sustentabilidad urbana. Siemens, Corporate Knights y General Electric (Instituto Mexicano para la Competitividad [IMCO], 2014) han elaborado índices de ciudades sustentables y *verdes*. El Índice Verde de Siemens, aplicado a 17 ciudades de Iberoamérica, evalúa y mide el desempeño ambiental de las ciudades a través de las siguientes variables: energía; emisiones de CO<sub>2</sub>, uso de tierra y edificios, transporte, residuos urbanos, agua, saneamiento, calidad de aire y Gobernanza Ambiental.

El Índice de Ciudades Sustentables de General Electric (*Forum for the Future*) promueve un panorama sustentable, alentando una competencia sana de discusión y sugerencias. Se aplicó en las 20 mayores ciudades del Reino Unido a tenor de las siguientes variables: calidad del aire, biodiversidad, residuos domésticos, huella ecológica, empleo, acceso al transporte, educación, salud, espacios verdes, cambio climático, economía y reciclaje.

Un tercer caso es el de Corporate Knights cuyo índice pretende determinar cómo se desempeña una ciudad comparada con otra en cuanto a sustentabilidad. Se aplicó en 20 ciudades de Estados Unidos de América con los siguientes sub-índices: calidad del medio ambiente, seguridad económica, gobernabilidad y empoderamiento, infraestructura y energía y finalmente, bienestar social.

En Iberoamérica también se han elaborado indicadores de sustentabilidad ambiental urbana, como es el caso de Colombia (Andrade Medina y Bermúdez Cárdenas, 2010) con la finalidad de realizar un diagnóstico de los 10 principales centros urbanos del país. Estos indicadores (un total de 20) fueron englobados en tres factores: sociales y económicos, territoriales y urbanísticos y en tercer lugar, ambientales.

Más concretamente, en México se ha creado un índice de ciudades competitivas y sustentables, aunque con una finalidad descriptiva y generalizada. Se trata de un trabajo conjunto del Banco Nacional de México S.A. (BANAMEX), el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C. (BANOBRAS), el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores, (INFONAVIT) el Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C. (CMM), y el Instituto Mexicano para la Competitividad, A.C. (IMCO). Este índice se traduce en un listado de las principales ciudades de México -un total de 79 para el año 2014--- con un puntaje calculado para cada una de ellas en una serie de sub-indicadores de competitividad y sustentabilidad, en particular, en lo tocante a la sustentabilidad se tienen en cuenta los siguientes sub-índices: uso del agua, calidad del aire, disponibilidad de áreas verdes, manejo de residuos sólidos urbanos y uso de energía. (BANAMEX, BANOBRAS, INFONAVIT, 2014).

En Argentina se ha aplicado el análisis espacial en estudios ambientales urbanos (Zulaica y Celemín, 2008; Zulaica y Ferraro, 2012; Zulaica, 2013) mediante la elaboración de un Índice de Calidad de Vida Socioambiental (ICVSA), en la ciudad de Mar del Plata. En este estudio se emplean los Radios Censales como unidad de referencia espacial, y el índice es una integración de indicadores tanto sociales como ambientales. El análisis de los mismos se agruparon en cinco dimensiones: educación, salud, condición habitacional, pobreza y ambiente, y se aplica la Autocorrelación como técnica de análisis espacial.

En Chile existen estudios ambientales de carácter urbano igualmente con enfoque espacial (Escobar, 2006), que contemplan índices ambientales -en este caso Índice de Calidad Ambiental, ICA- como una variable latente explicada por un conjunto de indicadores ambientales simples que lo determinan.

Shen y Guo (2014) aplicaron técnicas geomáticas y análisis de patrones espaciales de sustentabilidad ambiental urbana por medio de la generación de un índice a partir de una jerarquización de indicadores ambientales que pudiese ser empleado como herramienta de medición, utilizado su metodología en un estudio de caso para la ciudad canadiense de Saskatoon.

Okumu y Edelman (2015) realizaron un análisis de sustentabilidad urbana en la ciudad estadounidense de Cincinnati dividiendo el espacio de la ciudad en anillos y aplicando técnicas de análisis de Clúster buscando detectar los patrones espaciales intraurbanos del fenómeno.

El presente trabajo tiene por objeto 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). Estos subíndices son producto a su vez de la elaboración de 35 indicadores, seleccionados en razón de su disponibilidad a nivel infraestatal y siguiendo las orientaciones del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2011). El nivel de desagregación del estudio son los municipios y alcaldías<sup>4</sup> de la megalópolis, ya que el objetivo principal del estudio es indagar en la existencia de desigualdades en niveles de sustentabilidad ambiental dentro de la misma, además de delimitar y definir las áreas más desfavorecidas al respecto.

Entre la tipología de espacios urbanos por su complejidad y magnitud destacan las megalópolis, se trata de ciudades con funciones globales que se han convertido en enormes regiones urbanas

---

<sup>4</sup> La alcaldía es el órgano político administrativo de cada demarcación territorial de la Ciudad de México, que han sustituido a las antiguas delegaciones en 2018 (Gaceta Oficial de Ciudad de México de 4 de mayo de 2018)

policéntricas (Martínez, 2015). El término fue empleado por primera vez en 1957 (Gottman, 1957), y aunque su definición viene determinada por múltiples factores (volumen demográfico, extensión o densidad, entre otros), en México se han especificado características adicionales, las cuales se ajustan al modelo de la megalópolis mexicana: un complejo urbano y policéntrico, resultado de un proceso histórico determinado por su contexto geográfico y articulado a partir de la concentración de distintas áreas urbanas, producto de una absorción geográfica de territorios. Así mismo, que cuenta con características simbólicas basadas en su arquitectura singular y cuya complejidad urbana constituye un referente de centralidad cultural (Rivas et al, 2006). Los índices resumen como el ISAU se configuran como instrumentos que, sumados al uso del análisis espacial cuantitativo facilitan el acceso a la complejidad del territorio y al manejo de un número creciente de datos estadísticos; son herramientas esenciales para la identificación de áreas de homogeneidad relativa, con similitud de factores positivos o adversos en sustentabilidad ambiental.

Los subíndices e ISAU, se crearon a través del Método de Componentes Principales (MCP) a partir de 35 indicadores cuantitativos especializados, con la finalidad de detectar diferencias territoriales y el grado de relación existente entre las unidades espaciales analizadas en especial, las zonas con menor sustentabilidad ambiental y que, por tanto, puedan requerir acciones correctivas más urgentes.

Se aportaron en este trabajo varios aspectos innovadores; en primer lugar el análisis espacial de la sustentabilidad ambiental urbana en una megalópolis, representando una primera perspectiva de las dinámicas espaciales internas del fenómeno de la sustentabilidad en este tipo de estructuras urbanas. Así mismo, a partir de fuentes de datos públicas y abiertas, se construyeron indicadores significativos a partir de los propuestos por el BID, lo cual permite afirmar la posibilidad de realizar ulteriores estudios de áreas metropolitanas de México y dando la posibilidad de establecer estudios comparativos entre las mismas. Del mismo modo, se ha podido demostrar la existencia de diferencias internas significativas en niveles de sustentabilidad ambiental urbana en la Megalópolis del Centro de México y determinar claramente aquellos espacios más desfavorecidos y necesitados de intervención.

## **2. Metodología**

### **2.1. Delimitación y caracterización de la zona de estudio**

La Megalópolis del Centro de México se definió legalmente por vez primera en 1996 (Diario Oficial de la Federación [DOF], 1996) como un área que comprende los municipios correspondientes a las zonas metropolitanas de las capitales de los estados limítrofes al Valle de México, así como la totalidad de los municipios que mantienen una relación funcional estrecha con la Ciudad de México y los que se ubican entre las zonas metropolitanas que integran la corona regional de ciudades y el Distrito Federal (en la actualidad, Ciudad de México), además de las alcaldías de la Ciudad de México (en el momento de definición de la Megalópolis, delegaciones del Distrito Federal).

La megalópolis de México inició su conformación en la década de los 80 del siglo pasado (Garza, 2010). La Megalópolis del Centro de México se delimitó y definió en el subsistema urbano del centro de México en tomo a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, recibiendo también la denominación de Corona Regional del Centro de México, que engloba un total de 189 municipios.

Esta megalópolis es de tipo polinuclear por la existencia de varios centros y subcentros (Garza, 2010), los municipios centrales de cada una de las zonas metropolitanas y una serie de núcleos

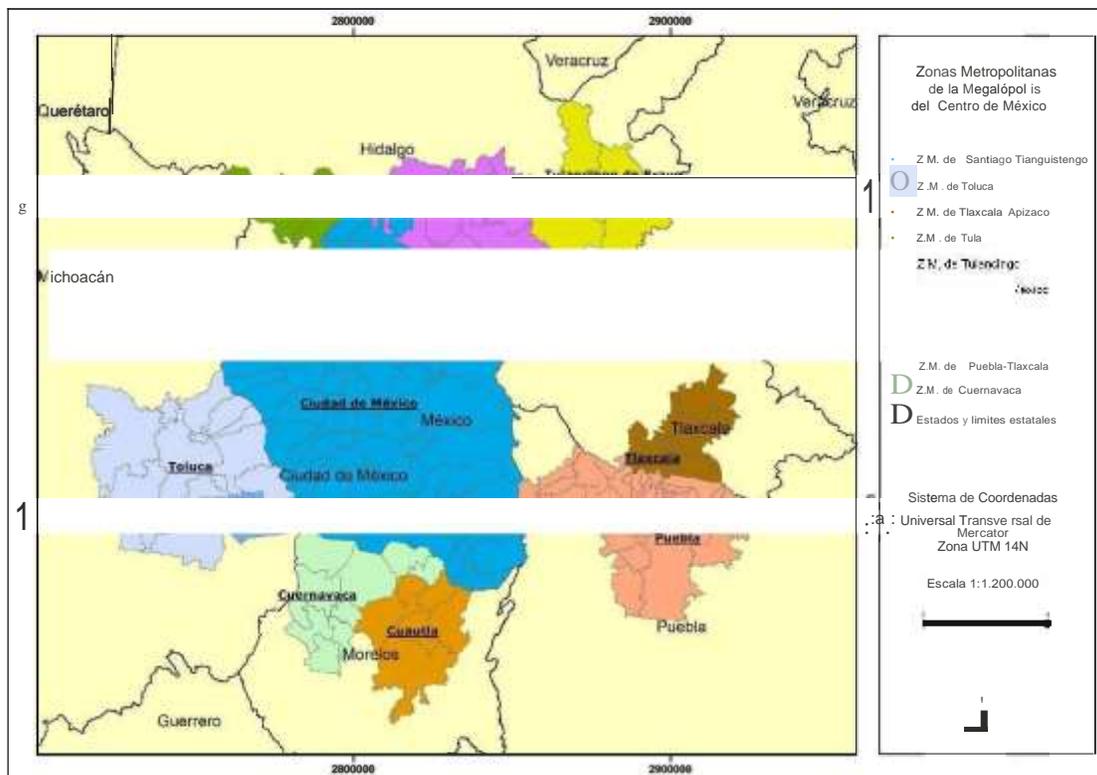
---

<sup>5</sup> Los municipios centrales son aquellos donde se localiza la ciudad principal que da origen a la zona metropolitana y que pueden hallarse conurbados con uno o más municipios vecinos, o integrada física o funcionalmente. Los

urbanos independientes (DOF, 1996) como son Tepetzotlán - Huehuetoca - Zumpango; Pirámides-Nopaltepec y Texcoco y Chalco - Amecameca.

En la figura 1 se observan los límites y municipios de las siguientes zonas metropolitanas constitutivas de la megalópolis: Valle de México; Valle de Toluca y Santiago Tianguistengo; Puebla-Tlaxcala; Cuernavaca; Cuautla; Pachuca-Tlaxcala y Tula-Tulancingo (DOF, 1996). Su extensión y volumen demográfico exponen gran heterogeneidad (Tabla 1). Globalmente la población ascendió a 27.777.019 habitantes en el último Censo de Población y Vivienda (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2011a) y ocupando una superficie de 18.841 kilómetros cuadrados. Esta megalópolis se ajusta al concepto de ciudad-región, ello implica la no continuidad física entre las distintas zonas metropolitanas que las conforman. Del mismo modo, al incorporar municipios periféricos situados entre diferentes zonas metropolitanas se evidencia la existencia de municipios no conurbados o con un carácter urbano menos consolidado (Connolly y Cruz, 2004).

Figura 1. Delimitación de Zonas Metropolitanas de la Megalópolis del Centro de México.



Fuente: Marco Geoestadístico de INEGI (2010a) y de Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010 (Consejo Nacional de Población [CONAPO], 2012a). Elaboración propia.

Este espacio megalopolitano mantiene un peso desproporcionado sobre la dinámica económica a nivel nacional. Según datos del Censo Económico de 2009, nueve alcaldías de la Ciudad de México aportan por sí mismas el 17,7% del PIB nacional, seguido del Estado de México, con un 9,2%. Al considerar el total aportado por las seis entidades que la componen supone un 33,3 % del PIB nacional.

municipios exteriores son contiguos a los anteriores pero no conurbados a pesar de que manifiesten un carácter predominantemente urbano (Secretaría de Desarrollo Social [SEDESOL,] Consejo Nacional de Población [CONAPO] e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2012)

Tabla 1. Zonas Metropolitanas de la Megalópolis del Centro de México. Superficie y población

Zona Metropolitana	Total de Municipios	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje de Superficie sobre total	Población Total (2010)	Porcentaje de Población sobre total.
Cuautla	6	978,84	5,2	434.147	1,56
Cuernavaca	9	1118,36	5,92	893.508	3,22
Pachuca	9	1403,29	7,45	205.812	1,93
Puebla-Tlaxcala	37	2052,72	10,87	2.633.275	9,48
Santiago Tianguistenco	6	303,16	1,61	157.944	0,57
Tlaxcala-Apizaco	19	707,63	3,76	499.567	1,79
Toluca	16	2410,05	12,79	2.014.091	7,25
Tula	5	590,92	3,13	537.078	0,74
Tulancingo	6	1416,85	7,52	284.755	1,02
Valle de México	76	7859,91	41,72	20.116.842	72,42
Total Megalópolis	189	18.841,73	100	27.777.019	100

Fuente: Marco Geoestadístico Municipal (AGEM) (INEGI, 2010a) y Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2011a). Elaboración propia.

Históricamente la Megalópolis del Centro de México se ha configurado como eje estructurador del territorio y la actividad económica nacional. El nivel de participación en el Producto Interior Bruto Nacional (PIB) supone un 33,3% (INEGI, 2009), además de la concentración de un tercio de la población del país, lo cual alude a un patrón altamente centralizado y concentrado.

Esta megalópolis se presenta como uno de los sistemas territoriales más complejos a nivel mundial: la Zona Metropolitana del Valle de México, a cuyo alrededor crecen bajo el mismo patrón de ocupación dispersa del territorio, y concentración económica y demográfica, otras zonas metropolitanas de importancia como Toluca , Puebla-Tlaxcala, Tlaxcala-Apizaco, Cuernavaca, Cuautla, Tula, Tulancingo, Pachuca y Tianguistenco.

El conjunto de estas ciudades, a través de interacciones funcionales determinan condiciones de uso no racional de los recursos naturales y energéticos, imponen costos económicos y sociales a los sectores productivos y a la población, y determinan vacíos para la gobernabilidad de espacios y situaciones que no corresponden a los niveles de gobierno actualmente existentes.

## 2.2. Procesamiento de datos.

Los indicadores que se emplean en este trabajo contemplan una serie de temáticas de sustentabilidad (Tablas 2, 3 y 4) agrupadas en las tres dimensiones de las que se compone (Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental; desarrollo urbano integral y una tercera de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia). En base a estas tres dimensiones se agruparon los indicadores en subíndices con los que calcular el ISAU. No obstante es preciso reconocer que existe una importante limitante en la disponibilidad real de datos, sobre todo al tener que tratarse en un nivel de desagregación a escala municipal. A través de bases de datos de instituciones públicas mexicanas diversas como el INEGI, la Comisión Nacional del Agua, CONAGUA, el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, CONEVAL, el Sistema Nacional de Información del Agua, SINA y el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, SINAICA, se han recopilado datos adecuados para elaborar 35 indicadores. De la Dimensión I ambiental 15 indicadores; de la Dimensión 11 socioeconómica 17 indicadores; en tanto que de la Dimensión 111 financiero-gubernativa, tres (Tablas 2, 3 y 4).

Tabla 2. Indicadores de la Dimensión I: Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental

Temáticas de sustentabilidad ambiental y cambio climático	Indicador	Unidades	Fuente
I. Agua	1. Cobertura de Agua	Porcentaje de Viviendas con agua potable	INEGI,2011a
	2. Disponibilidad de recursos hídricos	Volumen concesionado de agua (metros cúbicos) por habitante	CONAGUA, 2012
	3. Concentración de contaminantes en las aguas superficiales	Nivel de Demanda Bioquímica de Oxígeno DB05	CONAGUA, 2012
	4. Cobertura de Alcantarillado	Porcentaje de Viviendas con sistema de drenaje	INEGI, 2011a
11. Saneamiento y Alcantarillado	5. Tratamiento de aguas residuales	Existencia de Instalación de Tratamiento de aguas residuales en el término municipal	CONAGUA, 2012
	5. Efectividad del alcantarillado	Capacidad de tratamiento de aguas residuales (metros cúbicos) respecto al volumen concesionado	CONAGUA, 2012
111. Gestión de residuos sólidos	6. Cobertura de recolección de residuos sólidos	Existencia de Servicio de recolección de residuos sólidos urbanos	INEGI, 2011a
	7. Eliminación final adecuada de residuos sólidos	Existencia de Servicio de Tratamiento de residuos sólidos urbanos	INEGI, 2011a
IV. Energía	8. Cobertura energética	Porcentaje de Viviendas con suministro de energía eléctrica	INEGI, 2011a
V. Calidad del Aire	9. Control de la calidad del aire	Existencia de estaciones de monitoreo en el municipio	SEMARNAT-SINAICA
	10. Concentración de contaminantes en el aire	Porcentaje de días anuales con niveles de contaminantes superiores a los valores recomendados	SEMARNAT-SINAICA
VI. Mitigación del cambio climático	11. Sistemas de medición de emisiones de gases de efecto invernadero	Existencia de estaciones de monitoreo en el municipio	SEMARNAT-SINAICA
	12. Emisiones de gases de efecto invernadero totales	Porcentaje de días anuales con niveles de emisiones superiores a los valores recomendados	SEMARNAT-SINAICA
	13. Planes y objetivos de mitigación	Existencia de Planes y objetivos de mitigación	INE,2012
VII. Vulnerabilidad ante desastres naturales	14. Sensibilidad ante desastres naturales	Riesgo de Inundación a nivel municipal	CENAPRED, 2010

Fuente: Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2011a); Índice de peligro por inundaciones a nivel municipal (CENAPRED, 2010); Atlas Digital del Agua. México 2012 (CONAGUA, 2012); El medio ambiente en México, 2013-2014 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT, 2014]; Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (SINAICA, 2010); Instituto Nacional de Ecología (INE, 2012). Elaboración propia.

Tabla 3. Indicadores de la Dimensión II: Desarrollo Urbano Integral

Temáticas de Sustentabilidad de desarrollo urbano integral	Indicador	Unidades	Fuente
I. Uso del Suelo/Ordenamiento del territorio	1. Densidad	Habitantes por kilómetro cuadrado	INEGI, 2011a
	2. Vivienda	Número de personas por vivienda particular habitada (Hacinamiento)	INEGI, 2011a
	3. Áreas verdes v de recreación	Superficie de áreas verdes por habitante ( metros cuadrados/habitante)	INEGI, 2011b
II. Desigualdad urbana	4. Pobreza	Porcentaje de población en situación de pobreza	CONEVAL, 2011
	5. Segregación socioespacial	Índice de segregación	Elaboración propia
	6. Desigualdad de ingresos	Coeficiente de GINI	CONEVAL, 2011
III. Movilidad/Transporte	7. Seguridad vial	Víctimas de accidentes de tráfico por 100000 habitantes	INEGI, 2011a
IV. Competitividad de la economía	8. Producto bruto	Valor Agregado Bruto Censal/habitante	INEGI, 2011a
V. Empleo	9. Desempleo	Porcentaje de Desocupada sobre la PEA	INEGI, 2011a
	10. Empleo informal	Porcentaje de Población Subempleada sobre la PEA	INEGI, 2011a
VI. Conectividad	11. Internet	Porcentaje de Viviendas particulares habitadas con servicio de internet	INEGI, 2011a
	12. Telefonía	Porcentaje de Viviendas particulares habitadas con servicio de telefonía	INEGI, 2011a
VII. Educación	13. Calidad Educativa	Promedio académico por centros a nivel municipal	INEE, 2015
	14. Asistencia escolar	Porcentaje de población de entre 3 y 14 años que asiste a la escuela	INEGI, 2011a
	15. Educación superior	Porcentaje de población de 18 años y más con educación post-básica	INEGI, 2011a
VIII. Seguridad	16. Violencia	Número de delitos por cada 100000 habitantes	INEGI, 2011a
IX. Salud	17. Provisión de servicios de salud	Porcentaje de Población Derechohabiente	INEGI, 2011a

Fuente: Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2011a); Cartografía geoestadística urbana, Censos Económicos 2009 (INEGI, 2011b); Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2011); Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE, 2015). Elaboración propia.

Esta selección de variables, inspirada por las propuestas del BID, establece que las urbes iberoamericanas padecen de un crecimiento acelerado que implica una serie de desafíos para su sustentabilidad futura:

a) Dimensión I: Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental.

Abarca la gestión del medio ambiente y consumo de recursos naturales (calidad y contaminación de las aguas, consumo de agua, eficiencia de uso, tratamiento de aguas residuales, gestión de residuos sólidos, eficiencia energética) así como mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI) y otras formas de contaminación (control de calidad y contaminación del aire, emisiones de gases efecto invernadero).

b) Dimensión II: Desarrollo Urbano Integral.

Incluye el control del crecimiento y mejora del hábitat humano (densidad constructiva y demográfica, calidad de vivienda, disponibilidad de áreas verdes y de recreo, así como desigualdad urbana -segregación, marginación, inequidad de ingreso-); la Promoción del transporte urbano sustentable (seguridad vial); la Promoción del desarrollo económico local competitivo y sustentable (PIB, desempleo, empleo informal, además cuestiones de conectividad -acceso a internet y telefonía-) y la provisión de servicios sociales de alto nivel y promoción de la cohesión social (aspectos de educación y seguridad).

c) Dimensión 111: Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia

Dimensión de sustentabilidad fiscal y gobernabilidad, existen datos a nivel municipal de únicamente dos aspectos, impuestos y deuda pública.

Tabla 4. Indicadores de la Dimensión III: Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia

Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia	Indicador	Unidades	Fuente
I. Impuestos y autonomía	1. Ingresos e impuestos municipales	Indicador calculado mediante el índice de Autonomía Financiera	INEGI, 2010b, 2011a y Barcelata Chávez, 2015
11. Gestión del gasto	2. Calidad del gasto público	Indicador calculado mediante el índice de gasto público municipal	INEGI, 2010a y Barcelata Chávez, 2015
111. Deuda	3. Sustentabilidad de la deuda municipal	Servicio de la Deuda respecto al Balance Primario	INEGI 2010b, 2011b y ASF 2012

Fuente: Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2011a); Estadística de finanzas públicas estatales y municipales de 2010 (INEGI, 2010b); Auditoría Superior de la Federación (ASF, 2012); Barcelata Chávez (2015). Elaboración propia.

Las fuentes identificadas son de carácter público en su totalidad. En el caso de la Dimensión I, los datos proceden del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Calidad del aire, contaminación atmosférica y emisión de gases de efecto invernadero); de CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) para la calidad y contaminación de las aguas, consumo municipal, eficiencia de uso, tratamiento de aguas residuales, cobertura de drenaje, calidad del servicio, así como cartografía base de agua (Subgerencia de Información Geográfica del Agua, dependiente de CONAGUA).

El periodo de análisis comprende 2010 a 2015 debido a la disponibilidad de datos con los que elaborar los indicadores. En su mayoría de los indicadores (23) fueron construidos total o parcialmente (dos de la dimensión 111, Tabla 4) a partir de datos del Marco Geoestadístico Básico, de la Estadística de Finanzas Públicas estatales y municipales, del Censo de Población y Vivienda de 2010, Cartografía Geoestadística Urbana y del Índice de peligro por inundaciones a nivel municipal (CENAPRED, 2010; INEGI 2010a; INEGI 2010 b; INEGI, 2011a e INEGI, 2011b), todos ellos construidos con datos de 2010.

No obstante, para la elaboración completa de 10 indicadores y parcial de otros dos (Tabla 4) se recurrió a datos comprendidos al periodo 2010-2015, como en el caso de 4 indicadores de temáticas de agua y saneamiento de la dimensión de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental, que se crearon con datos del Atlas Digital del Agua de México de 2012 (CONAGUA, 2012) o cuatro de los indicadores de calidad del aire y mitigación del cambio climático, producto del registro de la emisión de los gases de efecto invernadero entre 2010 y 2015 en un total de 75 estaciones repartidas a lo largo de la zona de estudio. Los indicadores *Planes y objetivos de mitigación* (Dimensión I, Tabla 2) y *Calidad Educativa*

(Dimensión 11, Tabla 3) del Instituto Nacional de Ecología (INE, 2012) y del Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE, 2015) respectivamente, solo pudieron calcularse con datos de 2012 y 2015. Del año 2015 proceden insumos parciales con los que calcular los indicadores *Ingresos e Impuestos Municipales* y *Calidad del Gasto público* (Tabla 4).

### 2.3. Elaboración de Subíndices e Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana

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).

El ACP se trata de una técnica matemática que permite explorar la estructura subyacente de los datos y re-expresar los datos originales en pocas dimensiones que captan la mayor varianza posible de una combinación lineal de las variables originales. En este sentido, el Método de Componentes Principales permite estudiar las relaciones que existen entre las variables cuantitativas, sin considerar a priori, ninguna estructura, ni de variables, ni de individuos (Olivares, 2014). El ACP reduce la dimensión original, permitiendo una visión más sencilla del fenómeno, en su aplicación genera un nuevo conjunto de variables con las que se puede recuperar tanto la multidimensionalidad conceptual del fenómeno de la sustentabilidad ambiental urbana, como contar con un índice (primera componente) resumen del fenómeno, es decir, el ISAU, para cada uno de los municipios y alcaldías de la zona de estudio (CONAPO, 2012b).

Se decidió no otorgar una ponderación diferenciada a los 35 indicadores, a fin de evitar la arbitrariedad que en cierto modo existe en el otorgamiento de pesos diferentes con ciertas metodologías.

El cálculo de los componentes principales depende de las unidades de medida empleadas en las variables. Es por tanto importante, antes de aplicar el ACP, estandarizar las variables para que tengan media 0 y desviación estándar 1, ya que, de lo contrario, las variables con mayor varianza dominarían al resto. Seguidamente los indicadores fueron agrupados según su Dimensión para el cálculo inicial de Subíndices, con la siguiente disposición:

#### -Subíndice Dimensión I

Este subíndice es el único que cuenta con dos tipos de indicadores, 8 de tipo numérico y 7 de tipo binario (Ausencia=0 y Presencia=1). Con los indicadores de tipo numérico se llevó a cabo su estandarización y ACP. En cambio con los siete indicadores de ausencia/presencia, se calculó su subíndice de forma diferente, en el software **IBM SPSS 24** con la siguiente fórmula:

Subíndice Dimensión Ib= [(Tratamiento de aguas residuales + Cobertura de recolección de residuos sólidos + Eliminación final adecuada de residuos sólidos + Control de la calidad del aire + Sistemas de medición de emisiones de gases de efecto invernadero + Planes y objetivos de mitigación + Sensibilidad ante desastres naturales)/7]\*100

Seguidamente se procedió a re-escalar el primer subíndice (obtenido de los indicadores numéricos) en un rango de 0 a 100 y mediante el ACP se obtuvo el Subíndice de la Dimensión I. A su vez este último fue igualmente re-escalado.

#### -Subíndice Dimensión 11

Esta dimensión (Desarrollo Urbano Integral) consta de 17 indicadores, los cuales fueron estandarizados y se aplicó el ACP. Una vez aplicado el ACP fue re-escalado de 0 a 100.

#### -Subíndice Dimensión III

Esta dimensión (Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia) consta de 3 indicadores, al igual que en los subíndices anteriores fueron estandarizados y se aplicó el MCP. Una vez aplicado el MCP será re-escalado de 0 a 100.

La validación de los subíndices y del ISAU se comprobó con la obtención de una Varianza Total Explicada superior a 50 en el segundo componente en todos ellos.

La validación del ISAU y de los tres subíndices se comprobó con la obtención de una Varianza Total Explicada superior a 50 en el segundo componente (Hinojosa, Garrocho, Campos y Campero, 2015) en todos ellos: Varianza Total Explicada en segundo componente del Subíndice Dimensión I: Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental-50,18%; Varianza Total Explicada en segundo componente del Subíndice Dimensión II: Desarrollo Urbano Integral-55,67%; Varianza Total Explicada en segundo componente del Subíndice Dimensión III: Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia-71,45%. La Varianza Total Explicada obtenida en el segundo componente en el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU) fue de 89,04%.

Finalmente el ISAU fue re-escalado en un rango de 0 a 100, estableciéndose seis niveles de sustentabilidad según el puntaje obtenido para cada unidad espacial en el índice: Muy Baja (ISAU= 0-16,667); Baja (16,668-33,333); Media-Baja (33,334-50); Media-Alta (50,001-66,667); Alta (66,668-83,333) y Muy Alta (83,334-100). Se estratificó por criterio de intervalos equivalentes, consistente en dividir el rango de valores de atributo en sub-rangos de igual tamaño.

## **2.4. Técnicas de análisis espacial**

El Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) es un conjunto de técnicas estadísticas creadas para detectar patrones y tendencias en los datos, y poder así formular hipótesis sobre los mismos (Hernández, 2015). Estas técnicas describen y visualizan distribuciones espaciales, como el agrupamiento y dispersión de fenómenos en el territorio.

El AEDE ofrece grandes posibilidades en el análisis de fenómenos con dimensión espacial sobre todo en ausencia de un marco formal o teoría previa acerca del fenómeno analizado, ello ocurre con frecuencia en ciencias sociales, cuando se analizan grandes bases de datos geográficos cuya distribución no se conoce a priori, como es el caso del patrón espacial de la sustentabilidad ambiental urbana en un espacio tan complejo como el de una megalópolis (Chasco, 2006). El AEDE crea una interfaz que facilita el estudio de la información geográfica, permitiendo descubrir patrones y anomalías en los datos que de otro modo no serían aparentes, así como resultados interpretables que permiten al investigador evitar conclusiones superficiales y erróneas sobre el fenómeno (Celemín, 2009).

A través del análisis espacial se indaga en el descubrimiento de la estructura ambiental urbana por medio de un análisis de autocorrelación espacial denominado Índice Global de Moran, que permite detectar zonas de configuraciones ambientales diferenciadas y un acercamiento al grado de inequidad al considerar la asociación existente entre las unidades espaciales en relación al ISAU. Es decir, el análisis del Índice Global de Moran permite descubrir si se cumple la hipótesis de que cierta variable (ISAU) tiene una distribución aleatoria o si, por el contrario, existe asociación significativa de valores similares o no similares entre zonas vecinas (Gómez, Prieto, Mellado y Moreno, 2015).

Por medio del Índice Global de Moran y del Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran se puede estimar el grado de concentración espacial de la sustentabilidad ambiental urbana, identificar clústeres de elevada y baja sustentabilidad ambiental dentro de la megalópolis, y analizar la heterogeneidad u homogeneidad según el ISAU en la Megalópolis del Centro de México. En este trabajo se empleó el Sistema de Información Geográfica ArcMap 10.2 y la herramienta de software gratuita GeoDa.

Mediante el análisis de datos, se pretende registrar la correlación que una misma variable tiene en diferentes unidades espaciales vecinas, existiendo alguna de las siguientes posibilidades (Zulaica y Celemín, 2009):

-Autocorrelación espacial positiva: las unidades espaciales contiguas muestran valores similares. Indica una tendencia al agrupamiento de las unidades espaciales.

-Autocorrelación espacial negativa: las unidades espaciales vecinas presentan valores muy dispares. Indica una tendencia a la dispersión de las unidades espaciales

-Sin Autocorrelación: no se presenta ninguno de los casos anteriores. Los valores de las unidades espaciales vecinas tienen valores producidos aleatoriamente

El Índice Global de Moran es una medida geográfica-estadística que indica el grado de correlación entre valores de unidades territoriales. El valor de este índice oscila entre -1 y 1; los valores negativos indican un conglomerado espacial de unidades territoriales con valores de análisis distintos y los valores positivos indican un conglomerado espacial de unidades territoriales con valores de análisis similares, sean altos o bajos. Los tendientes a -1 indicarían autocorrelación negativa y los tendientes a 1 nos indicarían el máximo de autocorrelación positiva. Los valores próximos a 0 indican la ausencia de correlación espacial entre los valores de análisis, es decir, la no existencia de un patrón definido. Se considera significativo cuando es mayor a 0,5 (Celemín, 2009).

El índice Global de Moran se expresa de la siguiente manera:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\left( \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right)}$$

Donde:

$y_i$  = Valor de la variable o atributo en cada unidad espacial analizada "i".

$y_j$  = Valor de la variable o atributo en cada unidad espacial vecina "j".

$w_{ij}$  = Proximidad entre las unidades espaciales "i" y "j"(llamada también "matriz de pesos espaciales").

n = Número de unidades espaciales

De la relación entre la variable y su rezago espacial es posible construir el diagrama de dispersión de Moran (Figura 2) que clasifica los valores en cuatro cuadrantes: en el cuadrante I o AA se concentran las observaciones altas de la variable rodeadas de vecinos con similar

característica, lo mismo para el III o BB, pero en este caso las observaciones corresponden a bajos valores de la variable. Por otro lado, en el cuadrante II o BA, se ubican los valores bajos de la variable en vecindario con características opuestas, y en el cuadrante IV o AB, se presenta el caso opuesto al cuadrante I; en este caso son altos valores de la variable rodeados de vecinos con bajos valores. En el diagrama de dispersión de Moran se estandariza la variable a analizar y se obtiene el retardo espacial de dicha variable estandarizada, representándose ambos valores en un eje cartesiano. El retardo espacial puede definirse como una media aritmética simple de los valores de la variable en cuestión de las unidades espaciales limítrofes

La pendiente de la recta de regresión es el valor del estadístico Índice de Moran de autocorrelación espacial global, de forma que cuanto mayor sea el ángulo que forma esta con el eje de abscisas, más fuerte será el grado de autocorrelación espacial y viceversa (Sánchez Gamboa y Taddei Bringas, 2014).

Figura 2. Diagrama de dispersión de Moran

	II	I
WZ	(BA)	(AA)
	III	IV
	(BB)	(AB)
	Zt	

Elaboración propia

El Índice Global de Moran se calculó partir de los resultados del Índice ISAU por medio del programa GeoDa. Se tuvo en cuenta que los *p-valores* fuesen inferiores a 0.05 y que de este modo los resultados fuesen significativos. La significancia en Geoda se calculó por el método de permutación (Lavado, 2015).

Así mismo, una asociación significativa puede no darse en toda la ciudad, sino solo en algunas zonas. Es por ello que tiene gran importancia recurrir a indicadores locales de asociación espacial, el Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran (en inglés LISA: Local Indicators of Spatial Association), que permiten tener una visión espacial de la sustentabilidad ambiental urbana, a diferencia del análisis del Índice Global de Moran por medio de lectura de gráfica sin una plasmación espacial (Martori y Hoberg, 2008).

Además de ello LISA tiene como objetivo que el estadístico obtenido para cada zona suministre información sobre la relevancia de valores similares alrededor de la misma (Anselin, 1995). Mediante su empleo se puede observar a simple vista la hipotética existencia de clústeres de determinadas características.

El Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran permite clasificar las unidades espaciales (municipios/alcaldías) de acuerdo con la relación de su Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran respecto a los valores registrados en las unidades espaciales vecinas en cinco categorías:

1. Bajo-Bajo Esta categoría se refiere a unidades espaciales con valores bajos del atributo en estudio (en nuestro estudio, Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana) que tengan como vecinas unidades espaciales que presenten igualmente valores bajos (serían zonas con segregación significativa de bajos niveles de Índice Sustentabilidad Ambiental Urbana).

2. Alto-Alto En esta categoría están unidades espaciales con valores altos de los atributos (Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana) bajo nuestro análisis, rodeadas de unidades espaciales que registren igualmente valores altos.

3. Bajo-Alto Se incluye en esta categoría a unidades espaciales con valores bajos del atributo en cuestión, rodeadas de unidades espaciales que registren en contraposición valores altos.

4. Alto-Bajo Son unidades espaciales con valores altos del atributo estudiado, rodeadas de unidades espaciales que registran valores bajos.

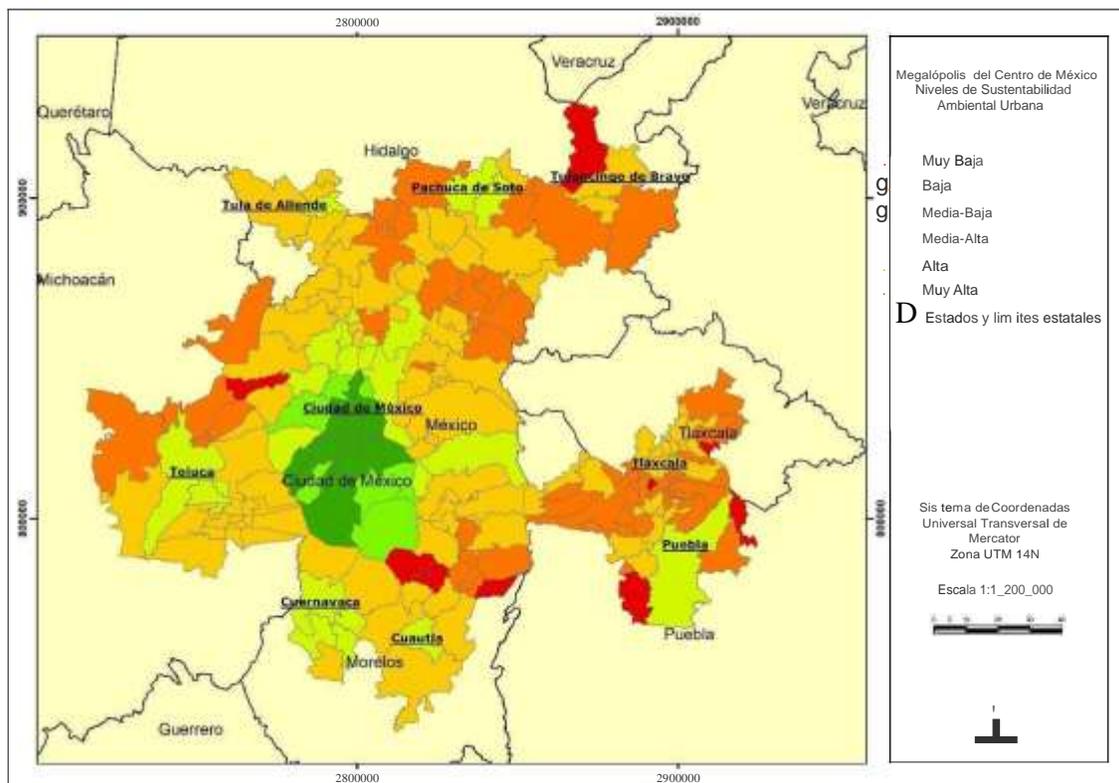
5. Estadísticamente No Significativo Esta categoría se refiere a unidades espaciales con valores estadísticamente no significativos y cuyos valores de segregación no se pueden determinar de manera confiable en términos estadísticos.

El Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran se calculó en el programa ArcMap 10.2 con el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana.

### 3. Resultados

La Megalópolis del centro de México presenta unos niveles de sustentabilidad ambiental urbana muy desiguales en su interior (Figura 3), lo cual es comprensible dada su estructura polinuclear y su gran extensión territorial y volumen demográfico.

Figura 3. Niveles del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en la Megalópolis del Centro de México



Fuente: Marco Geoestadístico de INEGI (2010a). Elaboración propia.

En 2010 la Megalópolis contaba con 27.777.019 habitantes, de los cuales 7.278.796 habitaban en municipios y alcaldías con niveles de sustentabilidad por debajo de 50, es decir, un 26,2%

del total (Tabla 5). Así mismo, aquellas unidades con niveles de Muy Baja y Baja sustentabilidad sumaban un 5,48% del total demográfico, la nada despreciable cifra de 1.520.957 habitantes sobre prácticamente un 30% de la superficie total de la zona de estudio.

En contraposición, las unidades espaciales con Muy Alta y Alta sustentabilidad eran escasas en número (18 de un total de 189) pero su peso demográfico era muy importante, 10.349.054 habitantes, es decir, el 39,27% de la población de la megalópolis.

Tabla 5. Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana por municipios y alcaldías

Nivel de Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana	Número de Municipios	Superficie total (kilómetros cuadrados)	Porcentaje de superficie sobre el total	Población Total (2010)	Porcentaje de Población sobre el total
Muy Alto	12	932,24	4,95	7.706.140	27,74
Alto	6	799,28	4,24	2.642.914	9,52
Medio-Alto	24	3163,18	16,79	10.149.139	36,54
Medio-Bajo	85	8330,53	44,21	5.757.839	20,73
Bajo	53	4869,14	25,84	1.413.136	5,09
Muy Bajo	9	747,37	3,97	107.821	0,39
Total Megalópolis	189	18841,74	100	27.776.989	100

Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2011a). Elaboración propia.

El desequilibrio de peso numérico y demográfico entre municipios con Muy Alta-Alta y Muy Baja-Baja sustentabilidad (Figura 3) es evidente y viene determinado por el desigual tamaño demográfico de los mismos.

Las unidades espaciales (municipios y alcaldías) con niveles de Muy Alta y Alta Sustentabilidad se concentran en su totalidad en la Ciudad de México y sus inmediaciones (alcaldías de Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuauhtemoc, Venustiano Carranza, Iztacalco, Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón, Benito Juárez, Coyoacán, Iztapalapa y Tlalpan con Muy Alta sustentabilidad). Existe una notable diferencia entre la Ciudad de México y los núcleos de las zona metropolitanas de su corona en niveles de sustentabilidad, ya que estos son inferiores, con Media-Alta sustentabilidad, como ocurre en Puebla (ISAU de 59,85), Toluca-Metepec-Chapultepec (ISAU de 62,8 en el primer caso y 65,71y 50,98 respectivamente), Pachuca-Mineral de la Reforma (ISAU de 60,85 y 60,77), Cuemavaca-Temixco-Emiliano Zapata-Jiutepec (ISAU de 63,7, 51,49, 55,23 y 64,89 respectivamente) y Cuatla (ISAU de 52,12). Por otro lado, el caso de Tula de Allende, el municipio con sustentabilidad más elevada es el contiguo de Atitalaquia, con un ISAU de 53,65.

En cambio los municipios con Muy Baja y Baja sustentabilidad son aquellos periféricos de los núcleos metropolitanos de la corona de la Ciudad de México e intermedios entre los mismos, generalmente no conurbados, como se puede observar en la figura 3 por los límites de las Ageb, así se comprueba al norte de Toluca con tres municipios con Baja sustentabilidad y un promedio de ISAU de 24,53 (Almoloya de Juárez, Temoaya y Otzolotepec), siete al nordeste (ISAU de 28,1) y siete al sudeste (ISAU de 16,9) de la Ciudad de México (entre otros, Textlalpan, Temascalapa, Axapusco, Otumba, Tezoyuca al nordeste y Ayapango, Ozumba y Tepetlixpa al sudeste), oeste y este de Pachuca de Soto (San Agustín Tlaxcala y Epazoyucan con un ISAU promedio de 31,6).

Excepciones significativas a este patrón, son los casos de los municipios centrales de Tulancingo de Bravo al nordeste de la megalópolis (Acatlán, Cuauhtepic de Hinojosa y Singuilucan) y un gran número de pequeños municipios situados en el este de la megalópolis, que forman un corredor conurbado entre Tlaxcala y Puebla como pueden ser Santa Isabel Xiloxotla, Santra Cruz Quilehtla, Santa Catarina Ayometla, San Lorenzo Axocomanitla, San

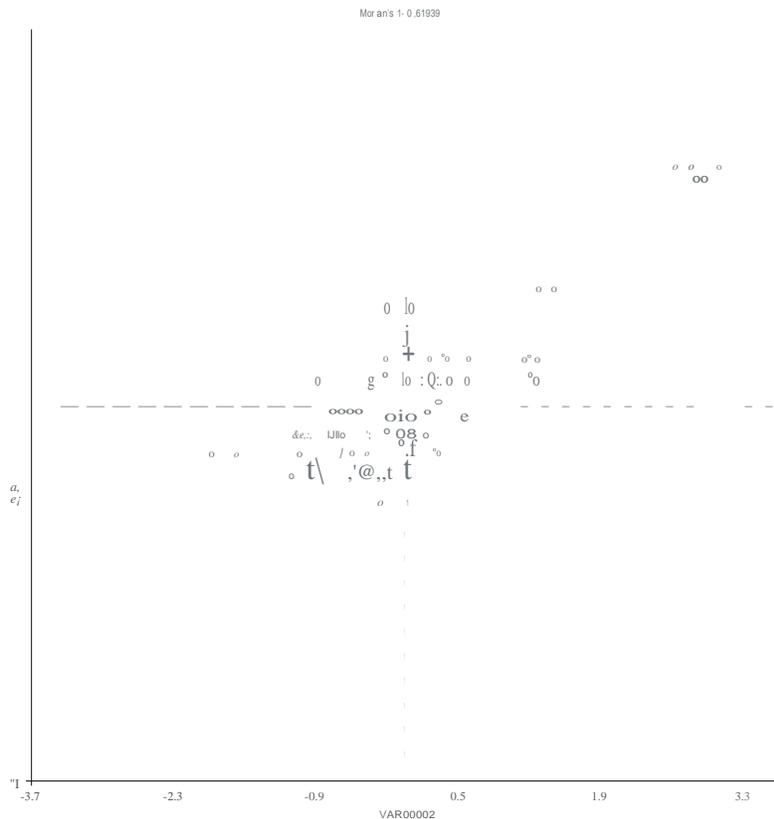
Juan Huactzinco, San Jerónimo Zacualpan, La Magdalena Tlatelulco, Tetlatlahuca, Tepeyanco, Acuamanala de Miguel Hidalgo y Coronango con Muy Baja y Baja sustentabilidad en todos ellos y en las periferias conurbadas al norte, este y sur de los dos grandes núcleos de Tlaxcala y Puebla igualmente: Tetla de la Solidaridad, Xaloztoc, Tzompantepec, Huejotzingo, Teolochoholco, Amozoc, Ocoyucan, entre otros.

El patrón general de la sustentabilidad ambiental urbana en la megalópolis del centro de México es de decrecimiento de la misma de los centros metropolitanos hacia las periferias no conurbadas, con algunas excepciones como en la zona metropolitana de Tula y en las de Puebla-Tlaxcala-Apizaco. Asociación espacial

Una vez determinado el patrón espacial de la sustentabilidad ambiental urbana y la presencia de una importante heterogeneidad interna en niveles de la misma y una primera aproximación de áreas favorecidas y más desfavorecidas, es de interés comprobar si en la megalópolis existe asociación espacial estadísticamente significativa de la sustentabilidad.

Un primera aproximación al respecto la aporta el cálculo del Índice de Autocorrelación Global de Moran, que arrojó un valor de 0,619 (Figura 4), lo cual confirma la existencia de asociación espacial positiva significativa, es decir, la presencia en la zona de estudio de uno o varios conglomerados espaciales de unidades territoriales (municipios y alcaldías) con valores de sustentabilidad similares, ya sean altos o bajos. Un valor del índice como el obtenido y superior a 0,6 nos indica por una parte, que los niveles de sustentabilidad tienen una distribución en la megalópolis con un patrón no aleatorio (ello ocurriría con valores próximos a cero) y que los niveles de sustentabilidad de cada unidad espacial están relacionados con los niveles de sustentabilidad de las unidades (municipios y alcaldías) vecinos.

Figura 4. Diagrama de Dispersión de Moran. Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana.



Elaboración propia.

En el diagrama de Moran (Figura 4) se puede apreciar como la pendiente de la recta de regresión tiene un notable ángulo en relación al eje de abscisas, lo cual es evidencia junto al valor del índice, de lo significativo de la autocorrelación existente. En el I y III cuadrantes aparecen los municipios y alcaldías con Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana superior e inferior a la media respectivamente y que están rodeadas de unidades espaciales con de índices de sustentabilidad superiores e inferiores a la media de la megalópolis. Se corresponderían con clústeres de tipo Alto-Alto (Cuadrante I) y tipo Bajo-Bajo (Cuadrante III).

La megalópolis muestra una asociación espacial positiva y significativa en niveles de sustentabilidad ambiental urbana, para un análisis más profundo se dispone de la cartografía producto del Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran (Figura 5).

En la Tabla 6 se puede ver los cinco clústeres fundamentales existentes en la Megalópolis. En primer lugar destacar los dos clústeres de tipo Alto-Alto, uno preeminente de superficie, número de municipios y alcaldías y peso demográfico, que se extiende en torno a la Ciudad de México y de Toluca y en segundo lugar el conformado en torno a Cuernavaca y su vecino municipio conurbado de Jiutepec. En el primer caso el clúster incluye las 16 alcaldías de la Ciudad de México y una serie de municipios conurbados de su periferia, ya administrativamente pertenecientes al estado de México: Valle de Chalco, Ixtapaluca, Nezahualcoyotl (municipio de gran volumen de población: 1.110.565 habitantes) al este; Ecatepec (igualmente muy poblado: 1.656.107 habitantes), Tlanepantla, Tecámac, Coacalco de Berriozábal, Tultitlán, Cuatitlán, Cuatitlán Izcalli al norte y Atizapán de Zaragoza, Naucalpan de Juárez, Huixquilucan y Cuajimalpa de Morelos al oeste. Al oeste de la Ciudad de México, en torno a Toluca (capital del estado de México: 819.561 habitantes) en dirección este, los municipios de Metepec, San Mateo Ateneo y Chapultepec).

Tabla 6. Caracterización de los Clústeres de la Megalópolis del Centro de México

Tipo de Clúster	Situación	Número de municipios	Población Total (2010)
Alto-Alto	Ciudad de México-Toluca	34	17.742.094
Alto-Alto	Cuernavaca	2	562.121
Alto-Bajo	Pachuca	2	395.266
Bajo-Alto	Periferia Ciudad de México	15	485.418
Bajo-Bajo	Clústeres en la periferia de Puebla y Tlaxcala	39	738.085

Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2011a). Elaboración propia

Existen igualmente dos clústeres de tipo Alto-Bajo, uno al este de la megalópolis, conformado por el municipio de Puebla (capital estatal y cuarta ciudad mexicana más poblada con 1.434.052 habitantes) y otro al norte de la megalópolis, de Pachuca (capital estatal) y su vecino municipio conurbado de Mineral de la Reforma. Se trata pues, de grandes núcleos urbanos rodeados de espacios suburbanos, sobre todo en el caso de Puebla, con niveles de sustentabilidad Bajos y Muy Bajos.

Los clústeres de tipo Bajo-Alto se localizan fundamentalmente en torno al gran clúster de tipo Bajo-Bajo de Ciudad de México-Toluca, sobre todo al nordeste (Temascalapa, Nextlalpan, Otumba y Ateneo), sudeste (Temamatla, Ayapango, Tepetlixpa, Totolapan y Tlanepantla) y al noroeste: Villa del Carbón, Isidro Fabela, Temoaya y Oztolotepec (estos dos últimos al norte de Toluca y con la particularidad prácticamente excepcional de que los dos primeros son municipios con población no urbana superior ligeramente al 50%).



Existe en la megalópolis una significativa heterogeneidad interna entre sus municipios y alcaldías según sus niveles de sustentabilidad, dándose sus niveles más elevados en las alcaldías de la Ciudad de México, municipios conurbados vecinos y en menor medida en los centros metropolitanos de Cuernavaca, Toluca, Puebla y Pachuca. En contrapartida los niveles bajos de sustentabilidad se encuentran en municipios no conurbados (con excepciones).

Se detectó la existencia de asociación espacial positiva significativa (superior a 0,6) de los municipios y alcaldías según sus niveles de sustentabilidad, lo cual aporta respaldo geoestadístico para afirmar la existencia de agrupamientos de unidades espaciales según sus niveles de sustentabilidad, es decir, de clústeres. Se han podido delimitar cinco clústeres principales en la megalópolis según sus niveles de sustentabilidad (Tabla 6) que confirman el patrón espacial de centros (clústeres de tipo Alto-Alto y Alto Bajo) metropolitanos con valores altos de sustentabilidad y periferias con valores de sustentabilidad bajos (clústeres de tipo Bajo-Bajo y Bajo-Alto), en particular en la periferia de la Ciudad de México y en las periferias de las zona metropolitanas de Puebla y Tlaxcala (Figura 5).

Así pues, se puede afirmar que en cuestión de sustentabilidad ambiental urbana dentro de la megalópolis el patrón espacial fundamental es de disminución de los niveles de sustentabilidad de los núcleos metropolitanos (Ciudad de México, Puebla, Toluca, Cuernavaca, Pachuca fundamentalmente) y municipios vecinos conurbados hacia las periferias, fundamentalmente municipios no conurbados (sí bien se trata de municipios en su inmensa mayoría con población eminentemente urbana, ya que únicamente 15 municipios del total de 189 de la zona de estudio tenían menos de un 50% de población urbana).

Si bien apenas algo más de un 26% (más de siete millones de habitantes) de la población de la megalópolis viven en espacios con niveles de sustentabilidad ambiental urbana por debajo de 50, no debe de llevar a engaño, ya que al tratarse los municipios y alcaldías con sustentabilidad superior a 50 de carácter más urbano y en general, con mayor volumen demográfico, suponen una escasa proporción de la superficie de la megalópolis, es decir, los municipios con niveles de sustentabilidad inferiores a 50 suponen casi tres cuartas partes del espacio megalopolitano (74,02%).

#### **4. Discusión de resultados**

Desde los años noventa del pasado siglo han aparecido numerosas propuestas de indicadores, sistemas de indicadores e índices para la medición y cuantificación de la sustentabilidad ambiental en espacios urbanos (IMCO, 2014; Torres, Adame y Campos, 2014). Mayoritariamente se trata de discusiones teóricas y en el caso de trabajos con finalidad de estudio de caso, son análisis sin preocupación espacial ni geo-estadística (Andrade Medina y Bermúdez Cárdenas, 2010). Entre otras propuestas, Siemens, Corporate Kinghts y General Electric (IMCO, 2014) presentaron índices de ciudades sustentables y verdes, aplicándolos a ciudades de Iberoamérica, Reino Unido y Estados Unidos de América.

En este trabajo, aplicado en un país Latinoamericano como es México, se siguió orientativamente para la elaboración de indicadores la propuesta ICES del BID, desarrollada entre 2012 y 2016 y aun cuando en la práctica de los 65 propuestos únicamente se pudieron construir 35 ante la inexistencia de datos, se ha demostrado la posibilidad de abarcar las tres dimensiones de la sustentabilidad ambiental urbana y la gran mayoría de las temáticas, con excepción de las temáticas de *gestión pública participativa*, *gestión pública moderna* y *transparencia*, todas ellas pertenecientes a la dimensión de Sustentabilidad fiscal y gobernabilidad. La propuesta aplicada aquí a la Megalópolis del Centro de México es susceptible de ser reproducida en cualquier área metropolitana mexicana o municipio de carácter urbano.

Es de interés comentar que propuestas como la de ICES de indicadores, a pesar de su intención de aplicación internacional no tiene en cuenta las posibilidades existentes en cada país, de modo que solo una parte de los indicadores propuestos pudieron ser elaborados ante la inexistencia de datos, algunos de los propuestos, sobre todo en las temáticas de Movilidad y Transporte y Competitividad de la economía son de difícil o subjetiva elaboración para el caso de México, (Hernández et al, 2017)

En comparación con otras investigaciones, como el Índice de ciudades competitivas y sustentables (BANAMEX, BANOBRAS, INFONAVIT, 2014), en este trabajo se rehusó a incluir indicadores de tipo subjetivo, en el mencionado índice de ciudades competitivas y sustentables elaborado para urbes mexicanas, a pesar de afirmarse de que el referido índice pudo ser calculado gracias a mejores fuentes de información y a nuevas tecnologías que permitieron el uso de fuentes no convencionales, en ningún momento se presenta adecuadamente la metodología de elaboración de subíndices de carácter tan subjetivos como sistema de derecho confiable y objetivo; sociedad preparada, incluyente y sana; sistema político estable y funcional o gobiernos eficientes y eficaces. Se rechazó el empleo de indicadores subjetivos ya que estos presentan un cierto carácter inestable (ya que percepciones y opiniones personales se originan más en consideraciones personales que en fenómenos concretos comprobables) y a que se dificulta la comparación entre diferentes casos de estudio dadas las diferentes conceptualizaciones que producen diferentes colectivos en relación a la percepción de una misma situación, como por ejemplo, con respecto a la inseguridad (Tonon, 2010; Veenhoven, 2000).

Los resultados obtenidos en esta investigación son coherentes con los de otros trabajos de elaboración de índices de sustentabilidad en espacios urbanos y aplicación de técnicas espacial, aun cuando las escalas de las zonas de estudio no fuesen idénticas, ya que es novedoso el análisis de una megalópolis desde esta perspectiva.

Entre los escasos trabajos de análisis espacial de sustentabilidad urbana, cabe destacar los trabajos sobre Mar del Plata en Argentina, Saskatoon en Canadá y Cincinnati en EEUU (Zulaica y Celemín, 2008; Shen y Guo, 2014; Okumu y Edelman, 2015). Si bien se trata de ciudades de menor tamaño y población que la megalópolis de México (564.056, 246.376 y 296.945 habitantes respectivamente), en todos estos trabajos se realizó análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE) como autocorrelación espacial y de clúster y apuntaron oportunamente lo idóneo de investigar los patrones espaciales de la sustentabilidad dentro del tejido urbano. En estos estudios se detectó la tendencia de decrecimiento de los niveles de sustentabilidad ambiental de los centros urbanos a las periferias -si bien al tratarse de ciudades de países muy diferentes, la terminología varía, como radios censales en Argentina y Anillos en el caso de Cincinnati-. Como en el caso de la megalópolis la dicotomía es la mencionada de centro-periferia, siendo aquellas áreas suburbanas las que presentan menor sustentabilidad.

En la Megalópolis del Centro de México existe una mayor complejidad en la distribución de los niveles de sustentabilidad, en parte se explica por su estructura polinuclear jerárquica y por su gran extensión (cerca de 19.000 kilómetros cuadrados)

La posibilidad de realizar el análisis espacial a un nivel de desagregación inferior al municipio y alcaldía se ve imposibilitado por la ausencia de variables con los que calcular indicadores de las dimensiones de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia (no existen variables de ningún tipo a nivel de ageb o sección electoral con los que elaborar indicador alguno) y gran número de la dimensión de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental (únicamente sería posible calcular tres indicadores de esta dimensión: cobertura de agua;

cobertura de alcantarillado y cobertura energética), todo a pesar de la idoneidad de la escala de ageb y sección electoral para el análisis espacial a escala urbana.

## 5. Conclusiones

El estudio de la sustentabilidad ambiental urbana tiene importancia creciente ya que las ciudades son espacios en los que vive la mayor parte de la población y donde se desarrollan predominantemente las actividades económicas y sociales, y a consecuencia de lo anterior surgen problemas de tipo socioambiental. Del mismo modo determinar el patrón espacial y distribución de la sustentabilidad es aspecto fundamental para la comprensión del fenómeno y en la propuesta de posibles medidas correctivas para su solución al determinar y delimitar las áreas más desfavorecidas con un respaldo geoestadístico.

Teniendo presente esta realidad, en este trabajo se construyó un índice resumen de sustentabilidad ambiental urbana que fue convenientemente validado, contemplando las tres bases de la sustentabilidad: Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental; desarrollo urbano integral; y gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia; incluyendo la mayoría de las temáticas propuestas por el BID en su ICES gracias a la creación de un total de 35 indicadores. Con el referido índice se pudo cuantificar eficazmente la sustentabilidad desde una perspectiva espacial en un territorio urbano de gran extensión, complejidad y excepcional volumen demográfico como es la Megalópolis del Centro de México, a un nivel de desagregación conveniente y máximo, dados los requerimientos de disponibilidad de variables para la elaboración de los indicadores. Se elaboraron por vez primera un significativo número de indicadores para el caso de México a nivel de municipalde los propuestos por el BID para Latinoamérica, incorporando la gran mayoría de las 23 temáticas de sustentabilidad. Únicamente no se pudieron incluir tres, las temáticas de gestión pública participativa, gestión pública moderna y transparencia, todas ellas de la dimensión de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia, ante la ausencia de datos.

En el estudio de la sustentabilidad urbana, este trabajo aporta primordialmente la novedad de su enfoque espacial con la aplicación de técnicas de análisis espacial con el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana. Se determinó su patrón espacial en la megalópolis, delimitando de forma precisa aquellas áreas con mayor y menor sustentabilidad. Se averiguó que los niveles de sustentabilidad no presentan una distribución aleatoria en la megalópolis y se demostró con respaldo geoestadístico la existencia de asociación espacial, y por medio de cartografía, de clústeres según tipología y su exacta localización. Si bien existen contados estudios de la sustentabilidad ambiental urbana, como se ha indicado en la discusión, no se han realizado hasta el presente trabajo en México ni en un espacio urbano de tipo megalopolitano.

Del análisis espacial de la sustentabilidad se extrane las siguientes conclusiones: en la Megalópolis del Centro de México existe una significativa aurocorrelación espacial de niveles de sustentabilidad ambiental urbana, o lo que es lo mismo, presencia de agrupamientos de unidades espaciales (municipios y alcaldías) de valores altos y bajos de sustentabilidad. Como se ha mencionado anteriormente, existe una dualidad centro-periferia en las diferentes zonas metropolitanas de la megalópolis, ya que los niveles de sustentabilidad ambiental urbana son más elevados en los municipios centrales metropolitanos (incluyendo las capitales y municipios contiguos de carácter conurbado) que en los municipios exteriores periféricos (con algunas excepciones en Puebla y Tlaxcala - Apizaco). Dentro de los municipios y alcaldías con niveles de sustentabilidad ambiental urbana más elevados, es de destacar la diferencia existente

entre aquellas pertenecientes a la Ciudad de México y los restantes municipios centrales de las demás zonas metropolitanas. La desigualdad de niveles de sustentabilidad viene respaldada con el análisis de clúster, los clústeres de valores altos de sustentabilidad están localizados en los municipios y alcaldías centrales metropolitanas, mientras que los clústeres de bajos niveles, aparecen fundamentalmente en municipios exteriores periféricos. Paradójicamente son aquellas zonas de la megalópolis con un carácter urbano menos marcado las que presentan una sustentabilidad más baja.

Estas conclusiones tienen interés y valía al tratarse de la primera aproximación al fenómeno de la sustentabilidad ambiental urbana en sus tres dimensiones desde una perspectiva espacial en un espacio urbano de tipo megalopolitano. Se ha demostrado lo factible de poder realizar posteriores estudios de sustentabilidad ambiental urbana en México con enfoque espacial.

La delimitación precisa de la megalópolis según sus niveles de sustentabilidad ambiental urbana abre nuevas posibilidades para posteriores trabajos, como la caracterización del comportamiento de los tres subíndices de sustentabilidad en áreas con baja y alta sustentabilidad ambiental urbana y averiguar si existe una dicotomía de comportamiento de los mismos y cuales afectan más a la sustentabilidad según en que zonas de la megalópolis.

El manifiesto desequilibrio existente en la Megalópolis mexicana en sus niveles de sustentabilidad ambiental urbana, y la existencia de espacios concretos con niveles bajos y muy bajos, muestran la necesidad de intervención de políticas públicas en temas de agua, alcantarillado y saneamiento, gestión de residuos, control de la contaminación del aire y aguas, consideración ante desastres naturales (como el riesgo de inundación en el caso megalopolitano), uso del suelo y ordenamiento del territorio, desigualdad urbana (pobreza, marginación), movilidad y transporte público, informalidad económica, educación, servicios de salud o incluso aspectos de gobierno local en aquellos espacios (municipios y alcaldías) más rezagados.

El estudio de la distribución geográfica y asociación espacial de los eventos de salud es denominada epidemiología espacial (Pérez Abad, 2014). Uno de sus principales objetivos es mostrar qué parte de la variación espacial de la distribución de la frecuencia de una enfermedad pueda estar explicada por factores de riesgo (baja sustentabilidad ambiental) y no atribuidas al azar. En diversos estudios, se ha demostrado la relación causa efecto de la contaminación atmosférica y de las aguas sobre la morbilidad, especialmente en enfermedades cardiorrespiratorias (Franco Piedrahita, 2012), neoplásicas, digestivas e infecciosas (Riojas Rodríguez, Schilman, López y Finkelman, 2013).

Así pues, una futura línea de trabajo será el estudio de la epidemiología espacial en la Megalópolis del Centro de México en relación con la sustentabilidad ambiental urbana. Se pretende aplicar técnicas de análisis espacial de tipo bivariado, como el Índice Bivariado de Moran (Wartenberg, 1985) que permitan el análisis de posibles relaciones de causa y consecuencia del ISAU con la incidencia espacial de mortalidad por enfermedades respiratorias y digestivas o neoplasias.

## Referencias

- Andrade Medina, P. y Bermúdez Cárdenas, D.C. (2010). La sostenibilidad ambiental urbana en Colombia. *Bitácora* 17, 2 (17), 73-93. <http://dx.doi.org/10.15446/bitacora>
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association LISA. *Geographical Analysis*, 27 (2). pp.93-115. Recuperado en [https://dces.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/128/2013/08/W4\\_Anselin1995.pdf](https://dces.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/128/2013/08/W4_Anselin1995.pdf)

- Auditoría Superior de la Federación, ASF (2012). *Análisis de la Deuda Pública de las Entidades Federativas y Municipios*. Agosto de 2012. Ciudad de México. Cámara de Diputados
- Banco Nacional de México S.A., BANAMEX, Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS), Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), Centro Mario Malina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente (CNM), Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) (2014). *Índice de Ciudades Competitivas y Sustentables 2014*. México.
- Barcelata Chávez, H. (2015). Círculos de pobreza y finanzas municipales en México. *Economía, Teoría y práctica*, (42), 69-103. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281139894004>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2011). *Sostenibilidad Urbana en América Latina y el Caribe*, Oficina de Relaciones Externas del BID.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2013). *Indicadores de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles. Guía metodológica*, Banco Interamericano de Desarrollo, segunda edición del Anexo 2.
- Celemín, J. P. (2009). Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial. Importancia, estructura y aplicación. *Revista Universitaria de Geografía*, 18, 11-31. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/3832/383239099001.pdf>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) (2010). *Índice de peligro por inundaciones a nivel municipal*. Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos.
- Chasco, C. (2006). Análisis estadístico de datos geográficos en geomarketing: el programa GeoDa. *Distribución y Consumo*, 2, 34-45. Recuperado en [https://www.researchgate.net/publication/28281725\\_Analisis\\_estadistico\\_de\\_datos\\_geograficos\\_en\\_geomarketing\\_el\\_programa\\_GeoDa](https://www.researchgate.net/publication/28281725_Analisis_estadistico_de_datos_geograficos_en_geomarketing_el_programa_GeoDa)
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2012). *Atlas Digital del Agua. México 2012*. Sistema Nacional de Información del Agua.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2012a). *Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010*. México: Consejo Nacional de Población.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2012b). *Índice de marginación urbana*. México: Consejo Nacional de Población.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) (2011). Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México, *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 2(1), 36-64. Recuperado en <https://www.inegi.org.mx/rde/2011/01/10/metodologia-para-la-medicion-multidimensional-de-la-pobreza-en-mexico/>
- Connolly, P. y Cruz, M.S. (2004). Nuevos y viejos procesos en la periferia de la Ciudad de México. En Guillermo Aguilar, A. (coord.), *Procesos metropolitanos y grandes ciudades. Dinámicas recientes en México y otros países* (pp. 455-475). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cortés, H.G. y Peña, J.I., (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.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (15/07/1996). *Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal*, México.
- Escobar, L., (2006). Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas. *EURE*, 32 (96), 73-98.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612006000200005>

- Franco Piedrahita, M.C., (2012). *Análisis espacio-temporal de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica en el municipio de Itagüí*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín, Colombia.
- Gómez, D., Prieto, M.E., Mellado, A. y Moreno, A. (2015). Análisis espacial de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares en la ciudad de Madrid, España. *Revista Española de Salud Pública*, 89 (1), 30-31.  
<http://dx.doi.org/10.4321/S1135-57272015000100004>
- Gottmann, J. (1957). Megalopolis or the urbanization of the Northeastern seaboard. *Economic Geography*, 3 (33), Abingdon-Oxfordshire, Taylor & Francis, pp. 189-200.
- Graizbord, B. (2002). Elementos para el reordenamiento territorial: Usos del suelo y recursos. *Estudios Geográficos y Urbanos*, (50), 411-423.  
<http://dx.doi.org/10.24201/edu.v17i2.1146>
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 04/05/2018: *Ley Orgánica de Alcaldías de la Ciudad de México*, México.
- Garza, G. (2010). La transformación urbana de México, 1970-2020 en Garza, G. y Schteingart, M. (coords.). *Los grandes problemas de México. Desarrollo urbano y regional* (pp. 31-87). Ciudad de México: El Colegio de México.
- Hernández, V. (2015). Análisis geoespacial de las elecciones presidenciales en México, 2012. *EURE*, 41 (122), 185-207.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612015000100009>
- Hernández, E.M., Adame, S. y Cadena, E., (2017), Los retos de la sustentabilidad urbana en México. Reflexiones sobre su evaluación a través de la Metodología ICES del BID, Quivera, 19 (1), enero-junio, 2017, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México, Universidad Autónoma del Estado de México, p. 85-97.
- Hinojosa, R., Garrocho, C. F., Campos, J. y Campero, A. C. (2015). Pronóstico de accidentes viales en el espacio intrametropolitano de Toluca: un enfoque Bayesiano. *Transportes*, 23 (2), (2015), Sao Paulo, Brasil, Universidade de Sao Paulo, p. 43-55.
- Imaz, M., Ayala, D., y Beristain, A.G. (2014). Sustentabilidad, territorios urbanos y enfoques emergentes interdisciplinarios, *Interdisciplina* 2 (2), 33-49.
- Instituto Nacional de Ecología (INE) (2012). Iniciativa de ICLEI-Gobiernos Locales por la Sustentabilidad. Plan de Acción Climática Municipal (PACMUN).
- Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE) (2015). *Resultados Nacionales de Planeación Educativa Básica 2015*.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2009). *Censos Económicos 2009*. Ciudad de México, México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2010a). *Marco Geoestadístico*, Ciudad de México, México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2010b). *Estadística de finanzas públicas estatales y municipales*.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2011a). *Censo de población y vivienda 2010*, Ciudad de México, México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2011b). *Cartografía geoestadística urbana, Censos Económicos 2009, DENU marzo 2011*.
- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) (2014). *Índice de Ciudades Competitivas y Sustentables 2014*, México
- Lavado, J.C. (2015). *Evaluación de autocorrelación espacial global y local para zonas de tránsito*. XIII Rio de Transportes 19 e 20 de agosto, Río de Janeiro, Brasil.

- Martínez, P.M. (2015). La producción del espacio en la ciudad latinoamericana. El modelo del impacto del capitalismo global en la metropolización. *Hallazgos*, 12 (23), 211-229. <https://doi.org/10.15332/2422409X>
- Martínez Peralta, C.M. (2016) Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina. *Estudios Sociales*, 25 (47), 353-358. Recuperado en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41744004014>
- Martori, J.C. y Hoberg, K. (2008). Nuevas técnicas de estadística espacial para la detección de clusters residenciales de población inmigrante. *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 12 (256-280). <https://doi.org/10.1344/sn2008.12.1409>
- Méndez, M. A., (2012) *La sostenibilidad y sustentabilidad en los museos, dos enfoques principales: La museología tradicional y la nueva museología. Estudio de caso en dos museos de la provincia de pichincha*. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Moreno Sánchez, E. (2013). Indicadores para el estudio de la sustentabilidad urbana en Chimalhuacán, Estado de México. *Estudios Sociales*, (43), 161-186. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=SO188-45572014000100007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=SO188-45572014000100007)
- Morí, K. y Christodoulou, A. (2012). Review of Sustainability Indices and Indicators: Towards a New City Sustainability Index (CSI). *Environmental Impact Assessment Review*, (32), 94-106. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2011.06.001>
- Olivares, Barlín (2014). Aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP) en el diagnóstico socioambiental. Caso: sector Campo Alegre, municipio Simón Rodríguez de Anzoátegui. *Multiciencias*, 14(4), pp.366-368. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=904/90433839011>
- Okumu , G. y Edelman, D. (2015). An indicador modelo fthe spatial quantification and patten analysis of urban sustaínabilíty: A case of study of Cincinatí, Ohio. *Current Urban Studies*, (3), 231-240. <http://dx.doi.org/10.4236/cus.2015.33019>
- Pérez Abad, N. (2014). *Minería de datos espaciales: detección de agregaciones espaciales de riesgo de morir por cáncer de mama y próstata en España y su asociación con la contaminación industrial*. Trabajo de Fin de Máster. Facultad de estudios estadísticos. Universidad Complutense de Madrid.
- Riojas Rodríguez, H., Schilman, A., López Carrillo, L., y Finkelman, J. (2013). La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futuras. *Salud Pública de México*, 55 (6), 638-649. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10628941011>
- Rivas Tovar, L. A., Carmona Tapia, S., Chávez Espejel, J.A., García Márquez, M., Maldonado Hernández, B. (2006). Mapas políticos metropolitanos en las megalópolis mexicanas. *Universidad & Empresa*, 5, (10)
- Ruiz Sánchez, J. (2012), Ciudad, complejidad y energía, *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 171, Ministerio de Fomento de España. Madrid, 73-86. Recuperado de <https://www.eukn.eu/fileadmin/Lib/files/ES/2013/04-CyTET%20171.pdf>
- Sánchez González, D. (2012). Aproximaciones a los conflictos sociales y propuestas sostenibles de urbanismo y ordenación del territorio en México. *Revista de Estudios Sociales*, (42), 40-56. <http://dx.doi.org/10.7440/res42.2012.05>
- Sánchez Gamboa, J.M. y Taddeí Bringas, C. (2014). Regiones y distribución espacial de las actividades económicas en Sonora. *Estudios Sociales*, 22 (43),189-215. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=SO188-45572014000100008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=SO188-45572014000100008)
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Consejo Nacional de Población (CONAPO) e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2012). *Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010*. México.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2014). *El medio ambiente en México, 2013-2014*, México.
- Shen, L. y Guo, X. (2014). Spatial quantification and pattern analysis of urban sustainability based on a subjectively weigh indicator model: A case study in the city of Saskatoon, SK, Canada. *Applied Geography* 53, pp. 117-127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.06.001>
- Sistema Nacional de Información de Calidad del Aire (SINAICA) (2010). Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental. México.
- Tonon, G. (2010). La utilización de indicadores de calidad de vida para la decisión de políticas públicas. *Polis, Revista de la Universidad Bolivariana*, 9 (26), 361-370. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-65682010000200017>
- Torre Jofré, M., (2009). Índice de Sostenibilidad Urbana: una propuesta para la ciudad compleja. *Revista Digital Universitaria*, 10(7), Ciudad de México, México, Universidad Nacional Autónoma de México, <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num7/art44/int44.htm>
- Torres Tovar, R., Adame Martínez, S. y Campos Medina, E. (2014). Propuesta de indicadores para medir la sustentabilidad en la zona metropolitana de Toluca. *Debate Económico*, 3 (9), 119-143. Recuperado de <http://132.248.9.34/hevila/DebateeconomicoMexicoDF/2014/vol3/no9/5.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2018), DESA/Population Division. World Urbanization Prospects. <https://population.un.org/wup/Country-Profiles/>
- Veenhoven, R. (2000). Why social policy needs subjective indicators ?. En Casas, F y Saurina, C. (edits). *Proceedings of the Third Conference of the ISQOLS* (pp. 807-817). Universidad de Girona.
- Wartenberg, D. (1985). Multivariate spatial correlation: a method for exploratory geographical analysis. *Geographical Analysis*, 17 (4), 263-283.
- Zulaica, L. y Celemín, J.P. (2008). Estudio de las condiciones de calidad de vida en los espacios urbanos y periurbanos del sur de la ciudad de Mar del Plata (Argentina) a partir de la elaboración y análisis espacial de un índice sintético socioambiental. *Papeles de Geografía*, (47-48), 215-233. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40712217013>
- Zulaica, L. y Ferraro, R. (2012). Procesos de crecimiento, indicadores de sustentabilidad urbana y lineamientos de intervención en el periurbano marplatense. *Arquisur Revista*, (2), 124-142. <https://doi.org/10.14409/ar.v1i2.936>
- Zulaica, L. (2013). Sustentabilidad social en el periurbano de la ciudad de Mar del Plata: análisis de su evolución a partir de la construcción y aplicación de un Índice de Habitabilidad. *Revista Electrónica Geoaraguaia*, (3), 1-25. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/52476966.pdf>

## **4.2. Otros resultados.**

En este apartado se presentan los restantes resultados obtenidos en la investigación, no comprendidos en los artículos publicados. En primer lugar la validación de los subíndices y del ISAU, seguidamente el análisis espacial realizado con los Subíndices I y III, seguidamente el análisis bivariado entre Subíndices, ISAU y ciertas variables demográficas y finalmente una propuesta de zonificación de la zona de estudio delimitando zonas de atención prioritaria en razón de sus sustentabilidad.

### **4.2.1. Elaboración y validación de Subíndices e Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU)**

#### **4.2.1.1. Subíndice Dimensión I**

Este subíndice es el único que cuenta con dos tipos de indicadores, 8 de tipo numérico y 7 de tipo binario (Ausencia=0 y Presencia=1). Se elaboraron con los dos tipos dos subíndices que se emplearon para crear el subíndice de Riesgo de Desastres, cambio climático y calidad medioambiental.

Con los indicadores de tipo numérico se aplicó estandarización y MCP, obteniéndose una Varianza Total Explicada en el segundo componente de 50.18%, lo cual permite afirmar su validez (Tabla 4).

En cambio con los siete indicadores de ausencia/presencia, se hubo de elaborar su subíndice de forma diferente, en el software IBM SPSS 24 con la siguiente fórmula:

Subíndice Dimensión Ib= [(Indicador Tratamiento de aguas residuales+ Indicador Cobertura de recolección de residuos sólidos + Indicador Eliminación final adecuada de residuos sólidos + Indicador Control de la calidad del aire + Indicador Sistemas de medición de emisiones de GEI + Indicador Planes y objetivos de mitigación +Indicador Sensibilidad de desastres naturales)/7]\*100

Seguidamente se procedió a re-escalar el primer subíndice (obtenido de los indicadores numéricos) en un rango de 0 a 100 y mediante el MCP se obtuvo finalmente el Subíndice de la Dimensión I.

Indicadores Numéricos del Subíndice de Dimensión I:

1. Cobertura de agua

- 2. Disponibilidad de recursos hídricos
- 3. Concentración de contaminantes en las aguas superficiales
- 4. Cobertura de saneamiento
- 6. Efectividad del drenaje
- 9. Cobertura energética
- 11. Concentración de contaminantes en el aire
- 13. Emisiones de GEI totales

**Indicadores Ausencia/Presencia del Subíndice de Dimensión I:**

- 5. Tratamiento de aguas residuales
- 7. Cobertura de recolección de residuos sólidos
- 8. Eliminación final adecuada de residuos sólidos
- 10. Control de la calidad del aire
- 12. Sistemas de medición de emisiones de GEI
- 14. Planes y objetivos de mitigación
- 15. Sensibilidad de desastres naturales

**Tabla 6. Varianza Total Explicada Dimensión I (Indicadores numéricos)**

Compo nente	Varianza tot al explicada			Sumas de extracc i ón de cargas al cuadrado		
	Total	% de varia nza	% acumulado	Total	% de varia nza	% acumulado
Puro	2.484	31.056	31.05 6	2.484	31.056	31 .056
2	1 .530	1 9.128	50.184			
3	1 .32 1	1 6.509	66.693			
4	.865	10 .815	77.508			
5	.640	8.006	85.514			
6	.573	7.156	92.671			
	.333	4.165	96.836			
	.253	3.164	1 00.000			
Reesca lado	2.484	31.056	31.05 6	2.484	31.056	31 .056
2	1 .530	1 9.128	50.184			
3	1 .32 1	1 6.509	66.693			
4	.865	10 .815	77.508			
5	.640	8.006	85.514			
6	.573	7.156	92.671			
	.333	4.165	96.836			
	.253	3.164	1 00.000			

Método de extra cc i ón: aná lisis de componentes principales.

a. Al analizar una matriz de covarianzas, los autovalores inic iales son los mismos entre la so luc i ón re-escalad a y pura.

#### 4.2.1.2. Subíndice Dimensión 11

Esta dimensión (Desarrollo Urbano Integral) consta de 17 indicadores, los cuales fueron estandarizados y se aplicó el MCP, obteniéndose una Varianza Total Explicada en el segundo componente de 55.67%, lo cual permite afirmar su pertinencia (Tabla 7).

**Tabla 7. Varianza Total Explicada Dimensión 11**

Compo nente	Varianza total e xplicada					
	Autovalores iniciales <sup>a</sup>			Sumas de extracción de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
Puro	7.868	46.284	46.284	7.868	46.284	46.284
2	1.597	9.393	55.676			
3	1.137	6.688	62.364			
	1.041	6.125	68.489			
5	.941	5.538	74.027			
6	.844	4.962	78.989			
7	.720	4.236	83.225			
	.670	3.940	87.165			
	.542	3.191	90.356			
10	.473	2.782	93.137			
11	.361	2.122	95.260			
12	.277	1.628	96.888			
13	.219	1.287	98.175			
14	.171	1.004	99.179			
15	.096	.565	99.744			
16	.044	.256	100.000			
17	-1.113 E-15	-6.545 E-15	100.000			
Reesca lado	7.868	46.284	46.284	7.868	46.284	46.284
2	1.597	9.393	55.676			
3	1.137	6.688	62.364			
4	1.041	6.125	68.489			
5	.941	5.538	74.027			
6	.844	4.962	78.989			
7	.720	4.236	83.225			
8	.670	3.940	87.165			
	.542	3.191	90.356			
10	.473	2.782	93.137			
11	.361	2.122	95.260			
12	.277	1.628	96.888			
13	.219	1.287	98.175			
14	.171	1.004	99.179			
15	.096	.565	99.744			
16	.044	.256	100.000			
17	-1.113 E-15	-6.545 E-15	100.000			

Método de extracción: análisis de componentes principales.

a. Al analizar una matriz de covarianzas, los autovalores iniciales son los mismos entre la solución re-esca lada y pura.

#### Indicadores Numéricos del Subíndice de Dimensión 11:

16 . Densidad

17. Vivienda

18. Áreas verdes y de recreación

- 19. Pobreza
- 20. Segregación socioespacial
- 21. Desigualdad de ingresos
- 22. Seguridad vial
- 23. Producto bruto
- 24. Desempleo
- 25. Empleo informal
- 26. Internet
- 27. Telefonía
- 28. Calidad Educativa
- 29. Asistencia escolar
- 30. Educación superior
- 31. Violencia
- 32. Provisión de servicios de salud

#### 4.2.1.3. Subíndice Dimensión 111

Esta dimensión (Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia) consta de tres indicadores, al igual que en los subíndices anteriores fueron estandarizados y se aplicó el MCP, obteniéndose una Varianza Total Explicada en el segundo componente de 71.45%, lo cual permite afirmar su pertinencia (Tabla 8).

Tabla 8. Varianza Total Explicada Dimensión III

Varianza total explicada							
	Componente	Autovalores iniciales <sup>a</sup>			Sumas de extracción de cargas al cuadrado		
		Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
Puro		1180	39.328	39.328	1180	39.328	39.328
	2	.964	32.129	71.456			
	3	.856	28.544	100.000			
Reescalado	1	1180	39.328	39.328	1180	39.328	39.328
	2	.964	32.129	71.456			
	3	.856	28.544	100.000			

Método de extracción: análisis de componentes principales.

a. Al analizar una matriz de covarianzas, los autovalores iniciales son los mismos entre la solución re-escalada y pura.

Indicadores Numéricos del Subíndice de Dimensión III:

- 33. Ingresos e impuestos municipales
- 34. Calidad del gasto público
- 35. Sostenibilidad de la deuda municipal

#### 4.2.1.4. Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana (ISAU)

Una vez construidos y re-escalados los tres subíndices de cada una de las dimensiones de la sustentabilidad ambiental urbana, se aplicó el Método de Componentes Principales, obteniéndose una Varianza Total Explicada en el segundo componente de 89.04% mostrando la robustez del modelo (Tabla 9)

Tabla 9. Varianza Total Explicada ISU

		Varianza total explicada					
		Autovalores iniciales <sup>a</sup>			Sumas de explicación de cargas al cuadrado		
	Componente	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
Puro		1.998	66.584	66.584	1.998	66.584	66.584
	2	.674	22.455	89.040			
	3	.329	10.960	100.000			
Reescalado	1	1.998	66.584	66.584	1.998	66.584	66.584
	2	.674	22.455	89.040			
	3	.329	10.960	100.000			

Método de explicación: análisis de componentes principales.

a. Al analizar Lina matriz de covarianzas, los autovalores iniciales son los mismos entre la solución re-escalada y pura.

#### Subíndices del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana:

Subíndice Dimensión 1- Riesgo de Desastres, cambio climático y calidad medioambiental

Subíndice Dimensión 11- Desarrollo Urbano Integral

Subíndice Dimensión III- Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia

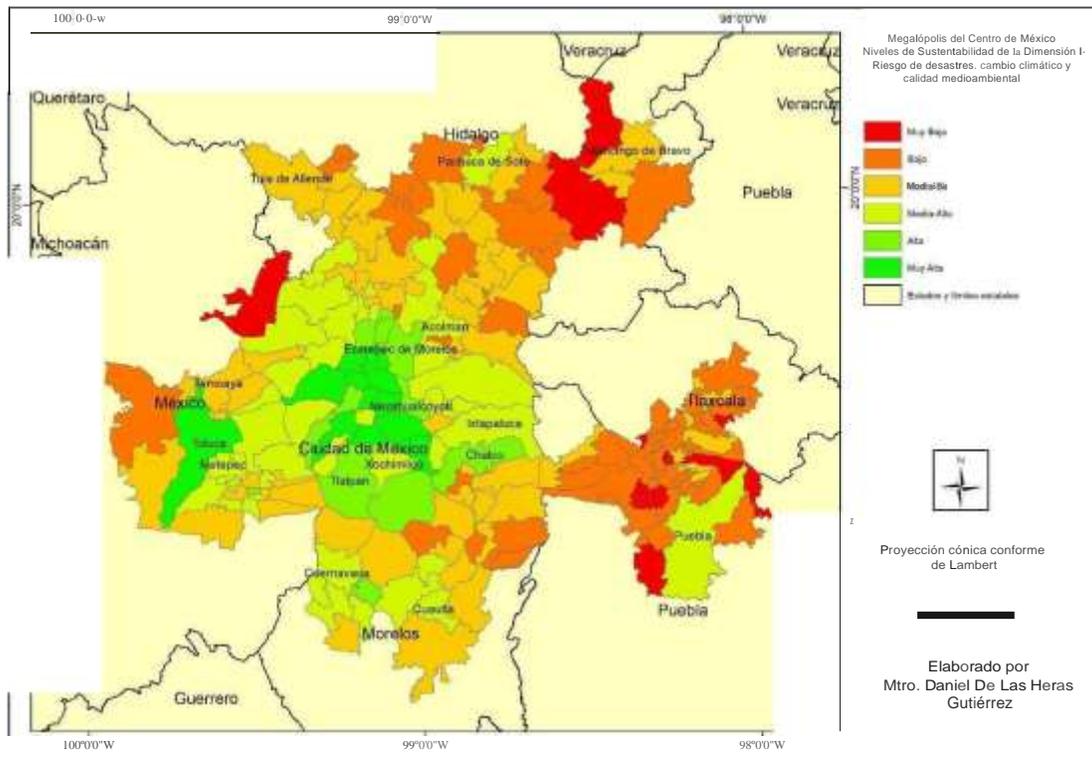
Los tres subíndices e ISAU fueron re-escalados en un rango de 0 a 100, estableciéndose seis niveles de sustentabilidad según el puntaje obtenido para cada unidad espacial en el índice: Muy Baja (ISAU= 0-16.667); Baja (16.668-33.333); Media-Baja (33.334-50); Media-Alta (50.001-66.667); Alta (66.668-83.333) y Muy Alta (83.334-100). Se estratificó por criterio de intervalos equivalentes, consistente en dividir el rango de valores de atributo en sub-rangos de igual tamaño.

#### 4.2.2. Análisis espacial de la Sustentabilidad de la dimensión de riesgos de desastres, cambio climático y calidad medioambiental.

Las áreas con niveles más elevados de sustentabilidad en la dimensión de riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental se localizan en algunas partes de la Ciudad de México y Toluca, así como en torno a las ciudades de Cuemavaca, Cuautla, Puebla y Pachuca

(Figura 3). En general, las zonas más desfavorecidas son aquellas al norte y noreste de la Megalópolis y al sudeste de la Ciudad de México y amplias zonas de las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco al este de la Megalópolis.

Figura 3. Niveles de sustentabilidad de la dimensión de riesgos de desastres, cambio climático y calidad medioambiental.



Al norte de la Megalópolis, los municipios con niveles de Muy Baja sustentabilidad eran los de Acatlán y Singuilucan (Hidalgo), en tanto que los que contaban con niveles de Baja sustentabilidad eran los siguientes: Cuauhtepc de Hinojosa, Epazoyucan, Hueypoxtla, Otumba, San Agustín Tlaxcala, Temascalapa, Tezoyuca, Tlahuelilpan, Tlanalapa, Tlaxcoapan, Tonanitla y Zempoala. Al noroeste de la Ciudad de México el municipio de Villa del Carbón presentaba Muy Baja sustentabilidad (14.35) e igualmente al noroeste, pero la zona metropolitana de Toluca, otro municipio, Almoloya de Juárez, alcanzaba un nivel de sustentabilidad bajo (25.5).

Entre la Ciudad de México y la zona metropolitana de Cuautla, al sudeste de la Megalópolis, cinco municipios tenían Baja sustentabilidad: Atlautla, Ecatzingo, Temamatla, Tepetlixpa y Tlanepantla (excepto este último, de Morelos, todos ellos pertenecientes al Estado de México).

En el este de la zona de estudio, en las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco, se hallan los niveles más desfavorables: diez municipios con Muy Baja sustentabilidad (Coronango - el más poblado con 34,596 habitantes en 2010), Cuaxomulco, Juan C. Bonilla, Ocoyucan, San Jerónimo Zacualpan, San Juan Huactzinco, Santa Ana Nopalucan, Teolochocho, Tepatlaxco de Hidalgo y Tlaltenango) y nada menos que 36 municipios con Baja sustentabilidad, entre estos últimos, destacando por su importancia demográfica San Martín Texmelucan, San Pedro Cholula, Amozoc y San Andrés Cholula, todos ellos con más de 100,000 habitantes.

Los niveles más altos de sustentabilidad se alcanzan en las alcaldías de la Ciudad de México (11 de ellas) y Toluca (Figura 3). Al margen del centro de la Megalópolis y del caso de Toluca (nivel de sustentabilidad de 84.28), solo destaca Jiutepec (69.19), en tanto que en las zonas metropolitanas de Tula, Pachuca, Tulancingo, Puebla-Tlaxcala, Tlaxcala-Apizaco y Cuautla únicamente algunos municipios alcanzaron un nivel de sustentabilidad Medio-Alto: en Cuautla tres, Cuatla, Tlayacapan y Yautepec. En la de Puebla-Tlaxcala únicamente la propia Puebla (60.91) y finalmente, en la zona metropolitana de Pachuca, la misma Pachuca, con un nivel de 55.91.

Del anterior comentario de la distribución espacial de los niveles de sustentabilidad y de la lectura de la tabla 10, es evidente que la sustentabilidad decrece de los centros metropolitanos (con intensidad variable según de cual se trate) y sus municipios vecinos interiores conurbados, hacia las periferias, norma que se repite en las otras dos dimensiones y con la sustentabilidad ambiental urbana en conjunto.

Tabla 10. Distribución espacial de los niveles de sustentabilidad de la dimensión riesgos de desastres, cambio climático y calidad medioambiental

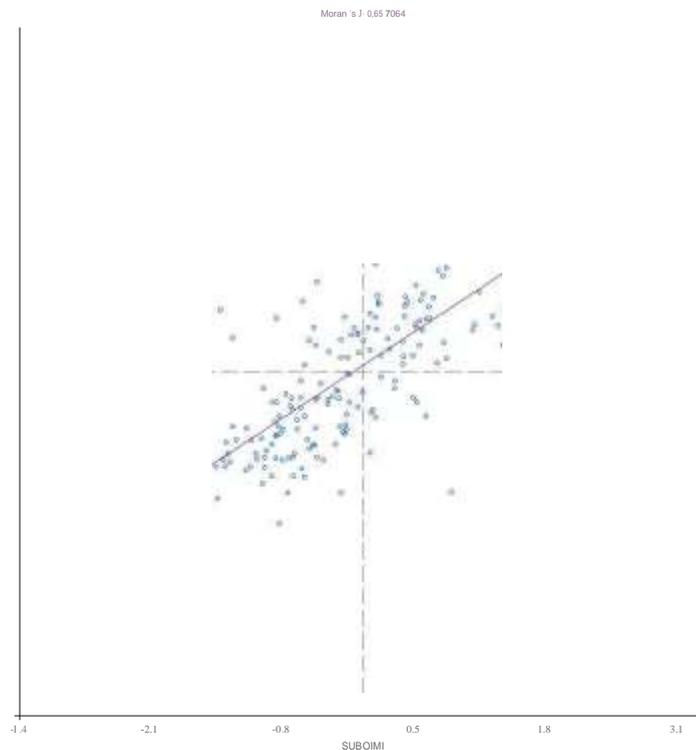
Nivel de Sustentabilidad	Número de Municipios	Población 2010	Porcentaje de Población sobre el total
Muy Alto	12	8,788,684	31.64
Alto	11	5,426,621	19.54
Medio-Alto	41	8,907,816	32.7
Medio-Bajo	58	2,648,866	9.54
Bajo	54	1,779,827	6.41
Muy Bajo	13	225,205	0.81
Total Megalópolis	189	27,777,019	100

Dado que los municipios con menores niveles de sustentabilidad son aquellos exteriores, en general su importancia demográfica es inferior a aquellos con niveles medios y elevados, en el cuadro 3 podemos ver si bien el volumen demográfico de los municipios con sustentabilidad por debajo de 50 representan menos del 17% del total megalopolitano, en número son mayoría aplastante (125 municipios sobre el total de 189) así como en superficie (11,559 km<sup>2</sup>). A pesar de todo ello, es de destacar, como se hará en las demás dimensiones, que más de 4.5 millones de habitantes de la megalópolis habitaban zonas con baja sustentabilidad en riesgos de desastres, cambio climático y calidad medioambiental.

#### Asociación espacial

Para averiguar la existencia de segregación de la sustentabilidad en riesgos de desastres, cambio climático y calidad medioambiental en la Megalópolis del Centro de México se calculó el Índice de Autocorrelación Global de Moran que fue de 0.657 (Gráfico 1), lo cual confirma la existencia de asociación espacial positiva significativa, es decir, la presencia en la zona de estudio de uno o varios conglomerados espaciales de unidades territoriales (municipios y alcaldías) con valores de sustentabilidad similares, ya sean altos o bajos.

Gráfico 1. Índice de Autocorrelación Global de Moran



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 1 se observa la pendiente de la recta de regresión con un considerable ángulo con respecto al eje de abscisas, indicándonos la importancia de la autocorrelación existente. En los cuadrantes I y III aparecen las unidades espaciales (municipios y alcaldías) con una sustentabilidad de la dimensión III superior e inferior a la media respectivamente y que se hallan rodeadas de municipios y delegaciones que disponen de índices de sustentabilidad superiores e inferiores a la media megalopolitana. Es decir, lo que serían clústeres de tipo Alto-Alto (Cuadrante I) y tipo Bajo-Bajo (Cuadrante III).

La Megalópolis del Centro de México presenta una significativa asociación espacial de sus niveles de sustentabilidad en la dimensión de riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental, y con la figura del Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran (Figura 4), podemos visualizar los clústeres existentes y su tipología, así como su situación y extensión.

En la Figura 4 observamos la existencia de cinco clústeres, uno de tipo Alto-Alto, otro de tipo Alto-Bajo y tres de tipo Bajo-Bajo. Sus volúmenes demográficos podemos consultarlos en la Tabla 11.

Figura 4. Análisis de clúster y de valores atípicos (Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran)

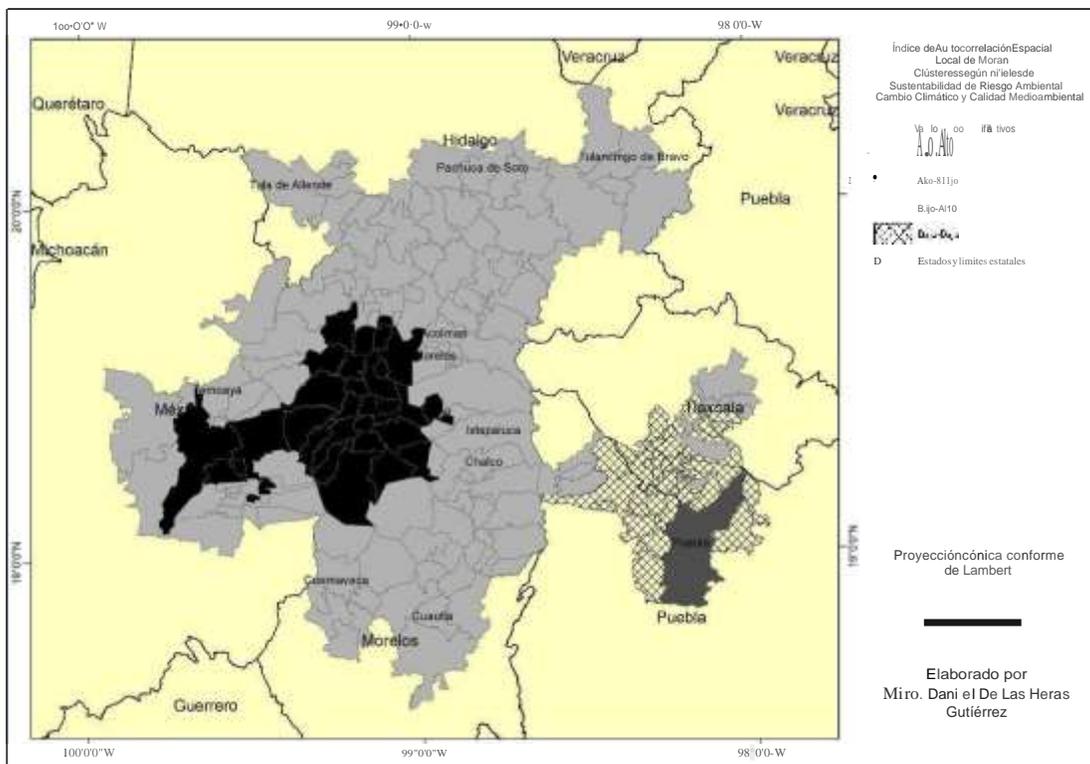


Tabla 11. Características de los Clústeres de la Megalópolis del Centro de México.

<u>Tipo</u> de Clúster	Situación	Número de <u>municipios</u>	Población Total (2010)
Alto-Alto	Ciudad de México-Toluca	31	16,931,045
Alto-Bajo	Puebla	1	1,539,819
Bajo-Bajo	Puebla-Tlaxcala	38	1,192,575
Bajo-Bajo	Tlaxcala-Apizaco	1	33,081
Bajo-Bajo	Tlaxcala-Apizaco	4	72,729

Fuente: Elaboración propia a partir del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010)

El clúster de tipo Alto-Alto tiene una gran extensión, abarcando la Ciudad de México, municipios vecinos conurbados como Atizapán de Zaragoza, Chimalhuacán, Coacalco de Berriozábal, Cuautitlán Izcalli, Ecatepec de Morelos, Huixquilucan, Naucalpan, Nezahualcóyotl, Tlanepantla de Baz y Tultitlán; y extendiéndose hacia el oeste incluyendo Toluca, Atizapan, Capulhuac, Lerma, Metepec y San Mateo Ateneo.

El municipio de Puebla, al este de la Megalópolis, conforma el clúster de tipo Alto-Bajo, al estar rodeado de municipios con baja y muy baja sustentabilidad. La práctica totalidad de las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco conforman los tres clústeres de tipo Bajo-Bajo (Figura 4 y Tabla 11), estos clústeres reunían más de 1.2 millones de habitantes, lo cual nos da una idea de su importancia dentro del conjunto megalopolitano.

#### **4.2.3. Análisis espacial de la Sustentabilidad de la dimensión de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia.**

En 23 de los 189 municipios y alcaldías de la zona de estudio los niveles de sustentabilidad de esta dimensión eran inferiores a 50, aunque únicamente sumaban 436 mil 138 habitantes, o lo que es lo mismo, menos del 2% de la población megalopolitana. En contrapartida es destacable que prácticamente una tercera parte de la población habitaba en municipios y alcaldías con Muy Alta sustentabilidad (Tabla 12). Estos últimos se concentraban fundamentalmente en la Ciudad de México e Ixtapaluca, Cuemavaca (Emiliano Zapata, Jiutepec, Temixco), Pachuca de Soto y sur (Mineral del Monte, Mineral de la Reforma, Pachuca de Soto, Tolcayuca, Villa de Tezomtepec y Zempoala) y Tula de Allende, así como al oeste y centro de la zona metropolitana de Puebla-Tlaxcala (Chiautzingo, San Felipe Teotlacingo, San Martín

Texmelucan, San Salvador el Verde y Tepetitla de Lardizábal y Papalotla de Xicohtencatl respectivamente).

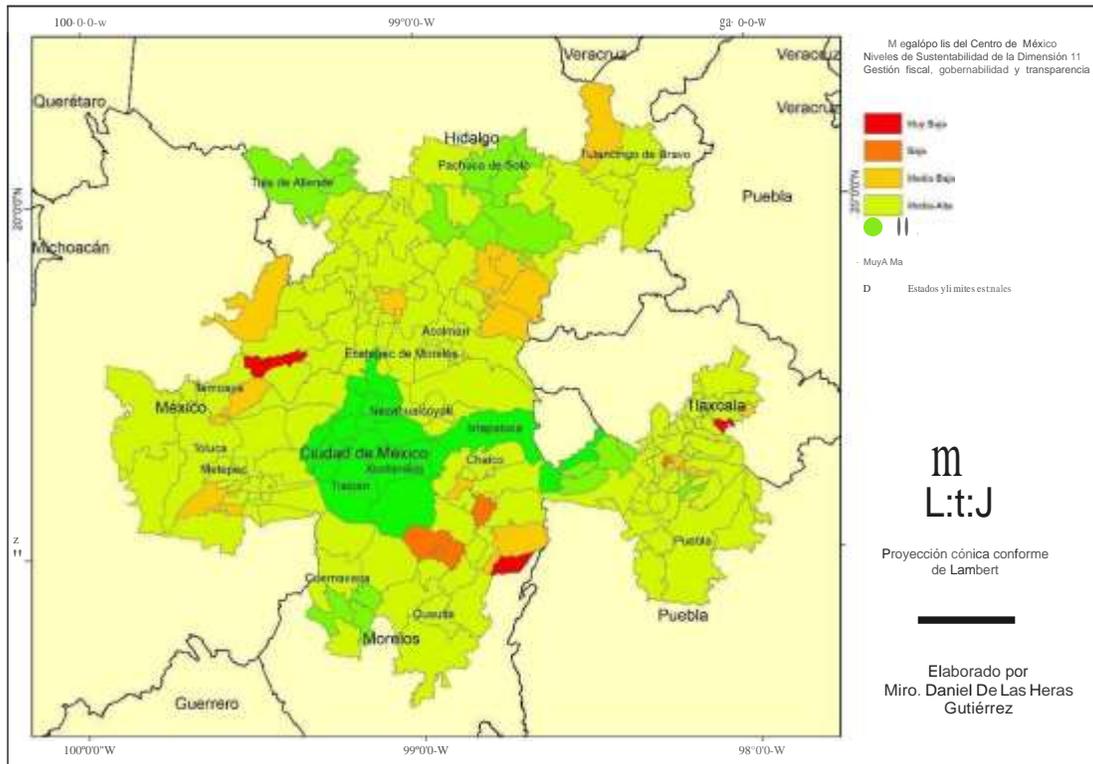
En cambio los municipios con niveles de sustentabilidad por debajo de 50 se agrupaban al noroeste (Villa del Carbón e Isidro Fabela con 49.4 y el valor mínimo de toda la megalópolis respectivamente), norte (Nextlalpan y Tonanitla con índices de 46.9 y 42), noreste (Ax.apuso, Nopaltepec, Otumba y Papalotla con valores entre 43.5 y 49) y en particular al sudeste (Atlauta, Ayapango, Ecatingo, Temamatla, Tlanepantla y Totolapan con niveles de entre 48.8 y 1.9 - Ecatingo-) de la zona metropolitana del valle de México (Figura 5); al norte (Otzolotepec) y sur (Calimaya y Rayón con índices de 48.1 y 43.3 respectivamente) de la zona metropolitana de Toluca; municipios entre Tlaxcala y Puebla (Acuamanala, Cuaxomulco, San Jerónimo Zacualpan, Tepeyanco y Tocatlán) y Acatlán en Tulancingo de Bravo (índice de 47.2) (Figura 5).

Al igual que con los otros subíndices de sustentabilidad, las zonas con mejores niveles son las de los municipios centrales y conurbados, aunque tal patrón espacial es mucho menos marcado, y con las importantes excepciones de Toluca, Cuatla, Puebla, Tlaxcala y Tulancingo de Bravo, cuyos niveles de sustentabilidad de la dimensión de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia no eran excepcionalmente elevados: 57.8, 57.9, 64.3, 64.7 y 58.9 respectivamente.

Tabla 12. Distribución espacial de los niveles de sustentabilidad de la dimensión de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia

Nivel de Sustentabilidad	Número de Municipios	Población 2010	Porcentaje de Población sobre el total
Muy Alto	19	9,704,505	34.93
Alto	18	1,251,475	4.51
Medio-Alto	129	16'384,901	58.99
Medio-Bajo	16	381,525	1.37
Bajo	4	29,870	0.11
Muy Bajo	3	24,743	0.09
Total Megalópolis	189	27'777,019	100

Figura 5. Niveles de sustentabilidad de la dimensión de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia.

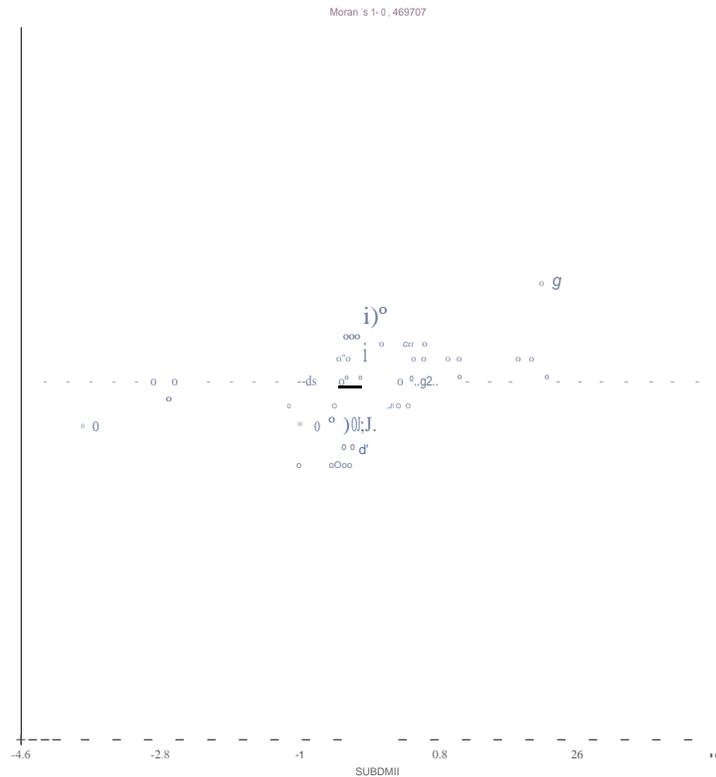


### Asociación espacial

Para averiguar la existencia de segregación de la sustentabilidad de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia en la Megalópolis del Centro de México se calculó el Índice de Autocorrelación Global de Moran que fue de 0.469 (Gráfico 2), lo cual confirma la existencia de asociación espacial positiva significativa, es decir, la presencia en la zona de estudio de uno o varios conglomerados espaciales de unidades territoriales (municipios y alcaldías) con valores de sustentabilidad similares, ya sean altos o bajos.

En la gráfica 2 se observa la pendiente de la recta de regresión con un considerable ángulo con respecto al eje de abscisas, indicándonos la importancia de la autocorrelación existente. En los cuadrantes I y III aparecen las unidades espaciales (municipios y alcaldías) con una sustentabilidad de la dimensión III superior e inferior a la media respectivamente y que se hallan rodeadas de municipios y delegaciones que disponen de índices de sustentabilidad superiores e inferiores a la media megalopolitana. Es decir, lo que serían clústeres de tipo Alto-Alto (Cuadrante I) y tipo Bajo-Bajo (Cuadrante III).

Gráfico 2. Índice de Autocorrelación Global de Moran



Fuente: Elaboración propia.

La Megalópolis del Centro de México presenta una significativa asociación espacial de sus niveles de sustentabilidad de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia, pero para poder realizar un análisis espacial de la misma se analiza la cartografía producto del cálculo del Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran (Figura 6), en la cual podemos visualizar los clústeres existentes y su tipología, así como su situación y extensión.

En la Figura 6 podemos observar claramente la presencia de cuatro clústeres, dos de tipo Alto-Alto y dos de tipo de Bajo-Bajo, aunque con uno de estos últimos nos referimos a un agrupamiento de tres clústeres muy próximos. Su diferente importancia demográfica podemos constatarla en la Tabla 13.

Entre los clústeres de valores elevados, es evidente la importancia del conformado por las alcaldías de la Ciudad de México (con la excepción de Milpa Alta), compacto, en tanto que el segundo, compuesto por dos municipios (San Salvador el Verde y San Felipe Teotlacingo), es de menor entidad.

Figura 6. Análisis de clúster y de valores atípicos (Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran)

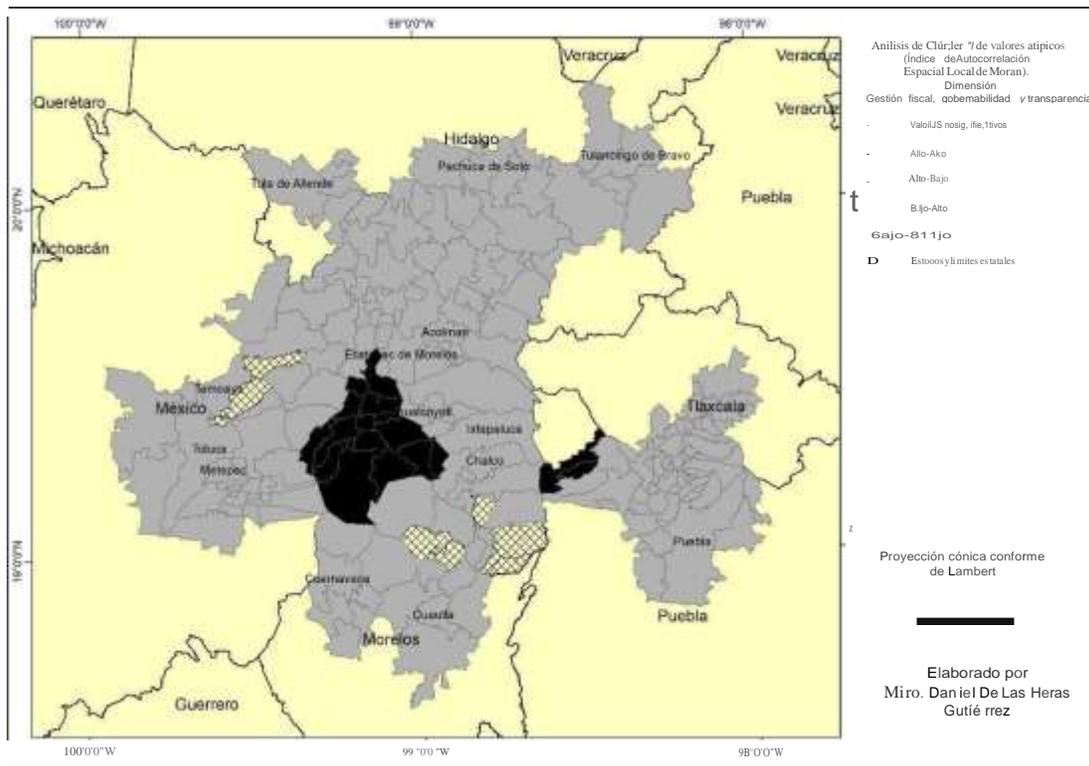


Tabla 13. Características de los Clústeres de la Megalópolis del Centro de México.

<u>Tipo</u> de Clúster	Situación	Número de <u>municipios</u>	Población Total ( <u>2010</u> )
Alto-Alto	Ciudad de México	16	9,078,143
Alto-Alto	Oeste de Puebla-Tlaxcala	2	37,845
Bajo-Bajo	NO. Ciudad de México	2	88,454
Bajo-Bajo	SE. Ciudad de México (Ayapango)	1	8,864
Bajo-Bajo	SE. Ciudad de México (Atlautla)	2	37,032
Bajo-Bajo	SE. Ciudad de México (Totolapan)	2	17,425

Fuente: Elaboración propia a partir del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010)

Al noroeste de la Ciudad de México existe un clúster de tipo Bajo-Bajo compuesto por los municipios de Otzolotepec e Isidro Fabela, en tanto que al sudeste de la Ciudad de México aparece un grupo de tres clústeres, igualmente de tipo Bajo-Bajo: el municipio de Ayapango y los clústeres de Totolapan - Tlanepantla y Atlautla - Ecatzingo.

#### 4.2.4. Análisis Bivariado

##### 4.2.4.1. Análisis Bivariado. Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana y Subíndices como variables dependientes.

A tenor de los resultados obtenidos del análisis espacial de los niveles de sustentabilidad ambiental urbana y de cada uno de los subíndices, se detectó un patrón espacial de decrecimiento de los niveles de sustentabilidad de centros metropolitanos a periferias, en este apartado se profundiza en el estudio del mismo mediante análisis de tipo bivariado, estableciendo como posible variable explicativa el porcentaje de población urbana en cada una de las unidades espaciales de la Megalópolis del Centro de México.

Para el cálculo del porcentaje de población urbana se contabilizaron los habitantes de las ageb de cada uno de los municipios y alcaldías de la zona de estudio. Si bien la mayoría de las unidades espaciales de la megalópolis son predominantemente urbanas, existen ciertas diferencias, ya que el porcentaje oscila entre el 100% (alcaldías de la Ciudad de México como Azcapotzalco, Benito Juárez, Cuauhtémoc o Coyoacán y municipios como Jaltenco o Tultepec) y el 2% de Acatlán, aunque los municipios con menos de un 50% de población urbana son escasos en número (un total de 15).

El Índice Bivariado Local de Moran calculado con el Porcentaje de población urbana como variable explicativa y el índice y subíndices como variables dependientes, alcanzó valores significativos positivos (Tabla 14), en especial el ISAU, y los subíndices de las dimensiones de Desarrollo Urbano Integral y Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia.

Tabla 14. Resultados Índice Bivariado Local de Moran

	Porcentaje de Poboación Urbana
Indice de Sustentabilidad Ambiental Urbana	0.233
Subíndice Dimensión I	0.155
Subíndice Dimensión II	0.211
Subíndice Dimensión III	0.228

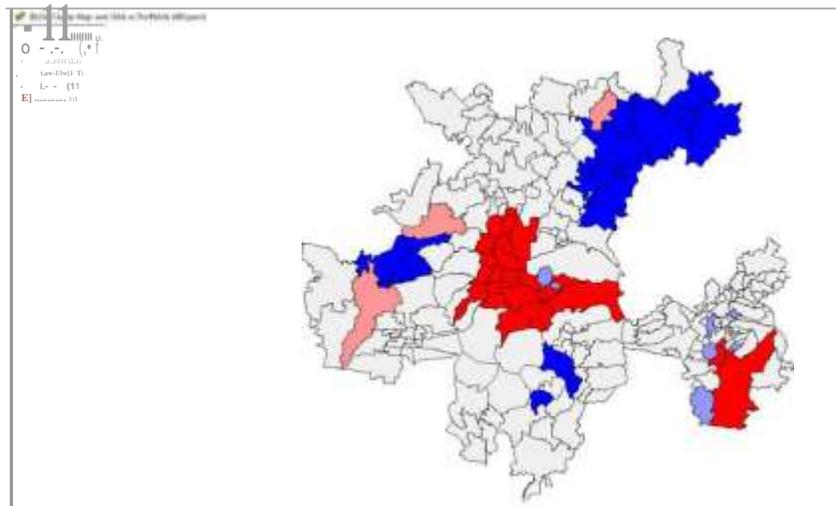
Fuente: Elaboración propia.

No es de extrañar que la dimensión de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental arroje un resultado más bajo, de 0.155, ya que de las tres dimensiones, es la de mayor componente puramente ambiental, con indicadores ajenos a un carácter más o menos urbano, como son los de contaminación del aire o del agua.

Con el análisis de las Figuras resultado del cálculo del Índice Bivariado Local de Moran podemos profundizar en la relación existente entre ambas variables en las diferentes áreas de la megalópolis.

Como se puede observar en la tabla 1 la relación entre el ISAU y la variable explicativa fue de 0.233, un valor significativo, y en la Figura 7 podemos observar la presencia de dos clústeres de tipo Alto-Alto (en rojo en el Figura) y cuatro de tipo Bajo-Bajo (en azul en la Figura), aunque también existen tres de tipo Alto-Bajo (rojo claro en la Figura) y seis de tipo Bajo-Alto (azul claro en la Figura).

Figura 7. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Porcentaje de Población Urbana. Variable dependiente: Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana.



Los dos clústeres de tipo Alto-Alto se conforman en torno a Ciudad de México (23 alcaldías y municipios) y Puebla (Puebla y Cuautlancingo). Se trata de zonas con niveles elevados de ISAU y altos porcentajes de población urbana.

En contrapartida, los clústeres de tipo Bajo-Bajo están localizados como era previsible en zonas periféricas metropolitanas: el más extenso (9 municipios) se sitúa al noreste de la megalópolis, fundamentalmente en la zona metropolitana de Tulancingo, incluyendo sus municipios centrales, si bien en esta zona metropolitana los niveles de ISAU son bajos: 38.1 en el caso del propio municipio de Tulancingo de Bravo.

En cambio los municipios con alta sustentabilidad ambiental urbana rodeados de municipios con bajos porcentajes de población urbana y viceversa, son comparativamente menos importantes, destacando Toluca y Mineral de la Reforma (contiguo a Pachuca de Soto) entre

los de tipología Alto-Bajo y Chimalhuacán (al este de Ciudad de México) y Ocoyucan (oeste de Puebla) entre los de tipo Bajo-Alto.

En las Figuras 8, 9 y 10 se pueden observar los clústeres conformados del análisis bivariado entre los tres subíndices y la variable explicativa de porcentaje de población urbana. En la Figura 8, se observa que al norte de la zona metropolitana de Cuautla existen dos clústeres de tipo Alto-Bajo al igual que al oeste de la Ciudad de México y Toluca, y al norte y oeste de Puebla, existen ocho municipios clúster de tipo Bajo-Alto. A pesar de que el puntaje del índice con el subíndice de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental sea inferior al de los restantes (Tabla 14) los grandes clústeres de tipo Alto-Alto y Bajo-Bajo aparecen igualmente en tomo a la Ciudad de México y Puebla y zona metropolitana de Tulancingo y Pachuca (parcialmente esta última) respectivamente.

Con el subíndice de Desarrollo Urbano Integral (Figura 9) se constata la aparición de dos clústeres de tipo Alto-Bajo al noreste de la zona de estudio (Mineral de Reforma y Tlanalapa) ya que se trata de dos municipios con niveles de sustentabilidad de Desarrollo Urbano Integral relativamente elevados y rodeados de municipios con porcentajes de población urbana relativamente bajos.

Con el subíndice de Desarrollo Urbano Integral (Figura 9) los resultados son similares al del ISAU, con una situación más firme en tomo a la Ciudad de México y Puebla, y la debilidad comparativa de los centros metropolitanos de Toluca y Pachuca (Mineral del Monte) al generar clústeres de tipo Alto-Bajo.

Figura 8. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Porcentaje de Población Urbana. Variable dependiente: Subíndice de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental

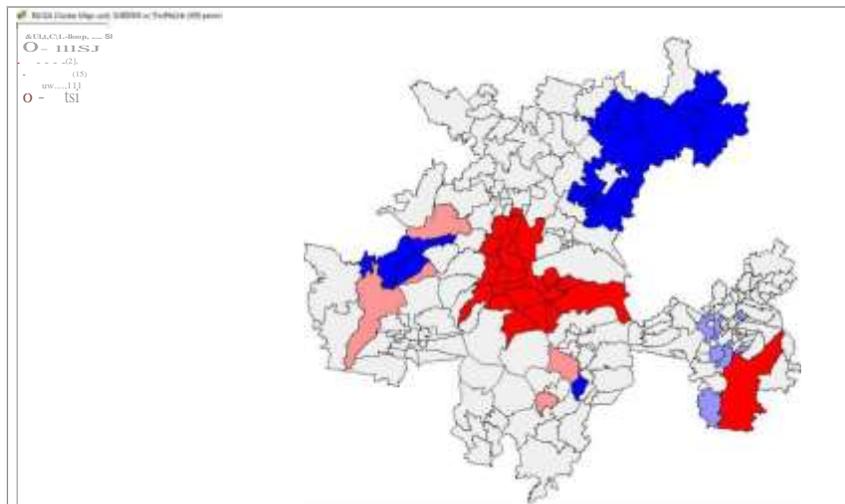
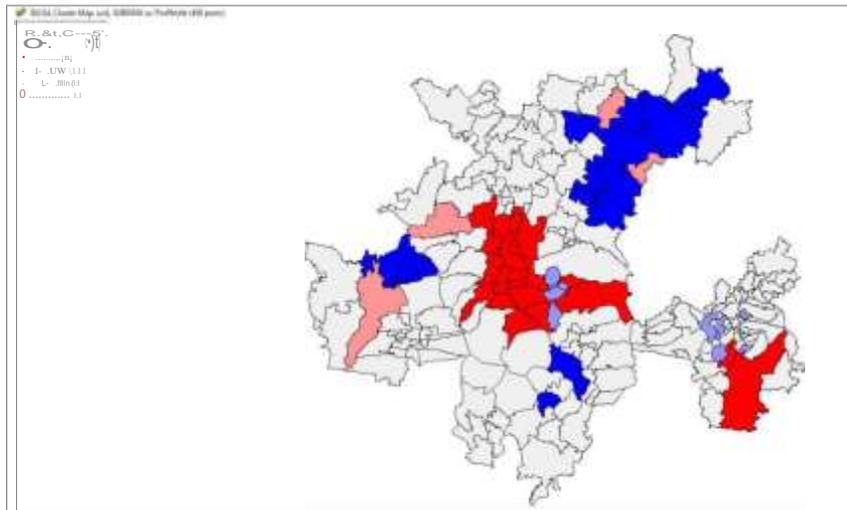
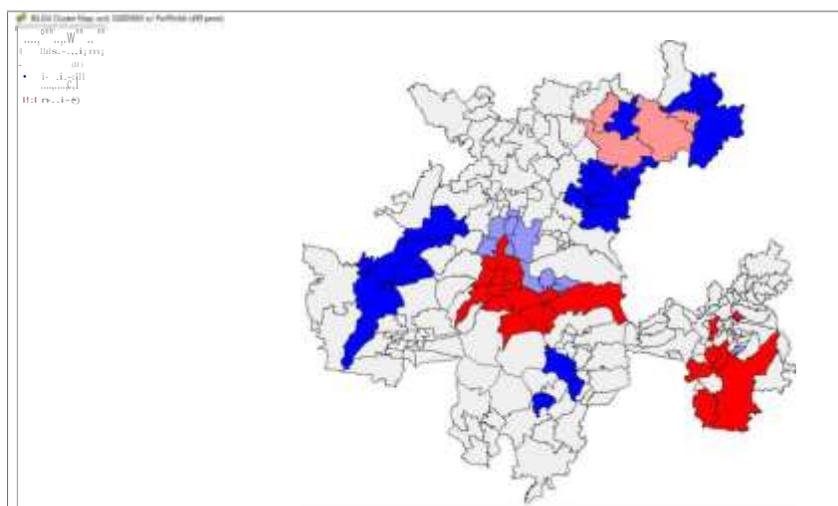


Figura 9. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Porcentaje de Población Urbana. Variable dependiente: Subíndice de Desarrollo Urbano Integral.



En la Figura 10 (Subíndice de Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia) los resultados más destacables son los de Toluca (inserta en un clúster de tipo Bajo-Bajo), al oeste de la megalópolis y el clúster Alto-Bajo al noreste (Tulancingo-Pachuca), lo cual implica un comportamiento diferente al de los restantes subíndices e ISAU, al hallarse Toluca en una situación de relativo rezago en este subíndice y en cambio, los municipios de Pachuca, Santiago Tulantepec, Singuilucan y Zampoala muestran unos niveles de sustentabilidad de Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia adecuados, aun cuando se sitúan rodeados de municipios con bajo porcentaje de población urbana.

Figura 10. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Porcentaje de Población Urbana. Variable dependiente: Subíndice de Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia



En conclusión podemos afirmar que existe una relación significativa entre el porcentaje de población urbana y los niveles de ISAU y de sustentabilidad de cada dimensión. Así mismo, se ha constatado la existencia de clústeres de tipo Alto-Alto y Bajo-Bajo de forma predominante, que nos confirman tal relación. Los municipios y alcaldías con alta sustentabilidad son contiguos a municipios y alcaldías con altos porcentajes de población urbana, es decir, en general, aquellos municipios centrales metropolitanos, sobre todo en los casos de la Ciudad de México, Puebla, Toluca (con la excepción de la dimensión de sustentabilidad de Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia).

#### **4.2.4.2. Análisis Bivariado. Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana y Subíndices como variables explicativas.**

En el apartado metodológico ya se explicó con anterioridad la vinculación existente entre factores medioambientales y salud. Recordemos que la OMS afirma que un 24% de la carga mundial de morbilidad y un 23% de la mortalidad son atribuibles a factores medioambientales. En diversos estudios, se ha demostrado la relación causa efecto de la contaminación atmosférica y de las aguas sobre la morbilidad, especialmente en enfermedades cardiorrespiratorias (Franco, 2012), neoplásicas, digestivas e infecciosas (Riojas, Schilman, López y Finkelman, 2013).

Se pretende averiguar si existe relación espacial significativa entre los niveles de ISAU y de cada Subíndice con respecto a las tasas de mortalidad por diferentes tipos de enfermedad, sobre todo de diferentes tipos de cáncer (Tabla 15), así mismo, como se comportan tales relaciones en el espacio de la zona de estudio.

Tabla 15. Tipología de neoplasias según CIE-10 y claves.

<b>Clave CIE-10</b>	<b>Tipo de cáncer</b>
CO0-C14	Boca, Faringe, Labio
C15-C26	Sistema digestivo
C30-C39	Pulmón, caja torácica
C40-C41	Hueso, cartílago
C43-C44	Piel
<b>ESO</b>	Pecho
C64-C68	Vías urinarias
C69-C72	Ojo, cerebro y otras partes del sistema nervioso central
C73	Tiroides
C76-C80	Mal definidas, secundarias, no especificadas
C81-C96	Neoplasias Tejido Linfático, órganos homeotópicos
D37-D48	Neoplasias de comportamiento incierto o indefinido

Fuente: OMS

En la tabla 16 se observan los resultados de la aplicación del Índice Bivariado Local de Moran, con valores significativos sobre todo en las tasas de neoplasias de tipo (clasificación CIE-10) COO-C14; C15-C26; C30-C39; C-50; C64-C68 y C81-C96; y significativos, pero negativos en el caso de C40-C41.

Si observamos la tabla 16, podemos comprobar que existe una relación negativa significativa entre el porcentaje de población en situación de pobreza y las tasas de mortalidad por neoplasias, así mismo, existe una relación positiva con Índice de Desarrollo Humano (IDH) por municipios, e indicadores como porcentaje de población con acceso a servicios de salud, porcentaje de población mayor de 65 años, porcentaje de población urbana y porcentaje de población de 18 años y más con educación superior. Todo ello es consecuente con las afirmaciones anteriores del carácter socioeconómico de la presencia de tasas más elevadas de mortalidad por cáncer. Sin perjuicio de lo anterior, hay que tener presente, así mismo, la posibilidad de subregistro o mala clasificación de fallecimientos (Torres Sánchez et al, 2014) en zonas menos sustentables, con menor porcentaje de población con acceso a servicios de salud o con mayor rezago educativo

Tabla 16. Resultados Índice Bivariado Local de Moran

Clave CIE-10	Tipo de cáncer	ISAU	Subíndice I	Subíndice 11	Subíndice 111
COO-C14	Boca, Faringe, Labio	0,23	0,212	0,209	0,156
C15-C26	Sistema digestivo	0,353	0,293	0,324	0,271
C30-C39	Pulmón, caja torácica	0,404	0,335	0,377	0,303
C40-C41	Hueso, cartilago	-0,27	-0,3499	-0,219	-0,114
C43-C44	Piel	0,006	-0,023	0,022	0,018
C50	Pecho	0,446	0,412	0,392	0,318
C64-C68	Vías urinarias	0,275	0,165	0,272	0,261
C69-C72	Ojo, cerebro y otras partes del sistema nervioso central	0,13	0,08	0,119	0,13
C73	Tiroides	0,1	0,1	0,07	0,08
C76-C80	Mal definidas, secundarias, no especificadas	0,131	0,06	0,139	0,132
C81-C96	Neoplasias Tejido Linfático, órganos homeotopicos	0,281	0,1926	0,2733	0,243
D37-D48	Neoplasias de comportamiento incierto o indefinido	0,198	0,226	0,1865	0,008
EOO-E07	Desórdenes Tiroideos	0,102	0,0058	0,105	0,096

Fuente: Elaboración propia.

Analizando el patrón espacial de los niveles de IDH de la zona de estudio y comparándolos con los del ISAU y las tasas de mortalidad podemos verificar por otros medios cuantitativos la

relación sustentabilidad-desarrollo humano-tasa de mortalidad por cáncer. En primer lugar se aplicó el índice bivariado local de Moran entre el ISAU y el IDH y se obtuvo una relación positiva significativa de 0.26, con lo cual, como era previsible, se establece una relación positiva entre ambos índices.

Los municipios y alcaldías de la megalópolis con un IDH superior a 0.8 en 2010 presentaron un promedio de tasas de mortalidad por todo tipo de neoplasias de 80.75 por cien mil habitantes, en tanto que los municipios y alcaldías con IDH inferior a 0.675, su promedio de tasa de mortalidad fue significativamente inferior: 52.47 por cien mil habitantes. Igualmente obtenemos unas tasas semejantes analizando a partir de los niveles de ISAU: los municipios con niveles de ISAU Altos y Muy Altos arrojaron en 2010 unas tasas de mortalidad por neoplasias de 90.9 por cien mil y aquellos con niveles Bajos y Muy Bajos, de 53.32 por cien mil. No únicamente con tasas brutas por todo tipo de neoplasias, sino en todos los grupos de neoplasias, a pesar de que la literatura refiere a comportamientos diferenciados según tipo de cáncer, por ejemplo el de seno (CIE C-50), en los municipios con IDH superior a 0.8 la tasa de mortalidad por neoplasia de seno fue de 12.77 por cien mil, y en los municipios más rezagados con IDH inferior a 0.675, de únicamente 7.5 por cien mil.

Habiendo establecido el patrón de incidencia de la mortalidad por cáncer con los niveles de sustentabilidad, hay que tener en cuenta a la hora de analizar los clústeres de las Figuras producto del índice bivariado local de Moran, que los resultados atípicos son los clústeres de tipo Bajo-Alto y sobre todo, Alto-Bajo, ya que su aparición nos indica una situación anómala.

Tabla 17. Resultados Índice Bivariado Local de Moran (Variable dependiente Tasa de mortalidad por diversos tipos de Neoplasias).

	Tasa de mortalidad por Neoplasias (2005-2016)
Porcentaje de Población en situación de pobreza	-0.344
Porcentaje de Población mayor de 65 años	0.226
Porcentaje de Población Urbana	0.214
Porcentaje de población de 18 años y más con educación superior	0.318
Índice de Desarrollo Humano municipal (2010)	0.17
Porcentaje de Población con acceso a servicio de salud	0.12

Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras 11 a 17 se puede comprobar la existencia de los clústeres generados con el cálculo del Índice Bivariado Local de Moran teniendo como variable explicativa el Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana. Se tuvieron en cuenta aquellos valores significativos, esto es, superiores a 0.2 o -0.2 según el caso.

Las alcaldías de la Ciudad de México y municipios vecinos conforman un gran clúster de tipo Alto-Alto, con excepción del caso de las neoplasias de hueso y cartílagos (CIE C40-C41). La relación bivariada es el caso de esta neoplasia negativa con el ISAU y subíndices por su peculiar distribución espacial (Figura 8), ya que las tasas más elevadas (y de forma desproporcionada) se encuentran en algunos municipios al noreste (Acatlán Epazoyucan, Mineral del Monte, Nopaltepec, Papalotla, Singuilucan, Tlanalapa, Tolcayuca, Villa de Tezontepec y Zapotlán de Juárez) este (municipios de las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco: Acuamanala, Amaxac de Guerrero, Cuaxomulco, San Damián Texóloc, San Gregario Atzompa, San Jerónimo Zacualpan, San Lorenzo Axocomanitla, Santa Apolonia Teacalco, Santa Cruz Quilehltla, Tlaltenango, Tocatlán y Xicohtzingo) y sureste de la megalópolis (Atlatlahucan, Ecatzingo, Tenango del Aire, Tepetlixpa, Tlanepantla, Totolapan) en tanto que los municipios centrales metropolitanos, en particular de la Ciudad de México, presentan tasas de mortalidad muy bajas en este tipo de cáncer.

El clúster de tipo Alto-Alto de la Ciudad de México, con municipios vecinos está presente en todos los casos, con una extensión variable. Esto se explica por sus altos niveles de ISAU y por las altas tasas de mortalidad por neoplasias, lo cual se debe por su estructura demográfica más envejecida ( en las 16 alcaldías de la Ciudad de México los porcentaje de población mayor de 65 años eran superiores a la media megalopolitana y en 12 de ellos el porcentaje superaba el 10%) y por su superior desarrollo social y económico.

Los clústeres de tipo Alto-Bajo, que como se comentó anteriormente, son los de mayor interés, ya que implican tasas de mortalidad elevadas rodeadas de niveles altos de sustentabilidad. Estos clústeres aparecen fundamentalmente al noreste, sureste y este de la Megalópolis del Centro de México. Al noreste el municipio de Tulancingo de Bravo, para los tipos de cáncer de COO-C14; C15-C26; C50; C64-C68 y C81-C96. Al este de la megalópolis aparecen unos pequeños conglomerados de tipo Alto-Bajo, a destacar el municipio de Puebla (COOC-14; C15-C26; C30-C39; C50; C64-C68 y C81-C96), en tanto que el conglomerado del sureste, al norte de Cuatla, predominan los de tipo Alto-Bajo para los casos de C15-C26 y C81-C96 (Figuras 12 y 17).

Figura 11. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana. Variable dependiente: Neoplasias de Boca, Faringe, Labio (CIE: COO-C14).

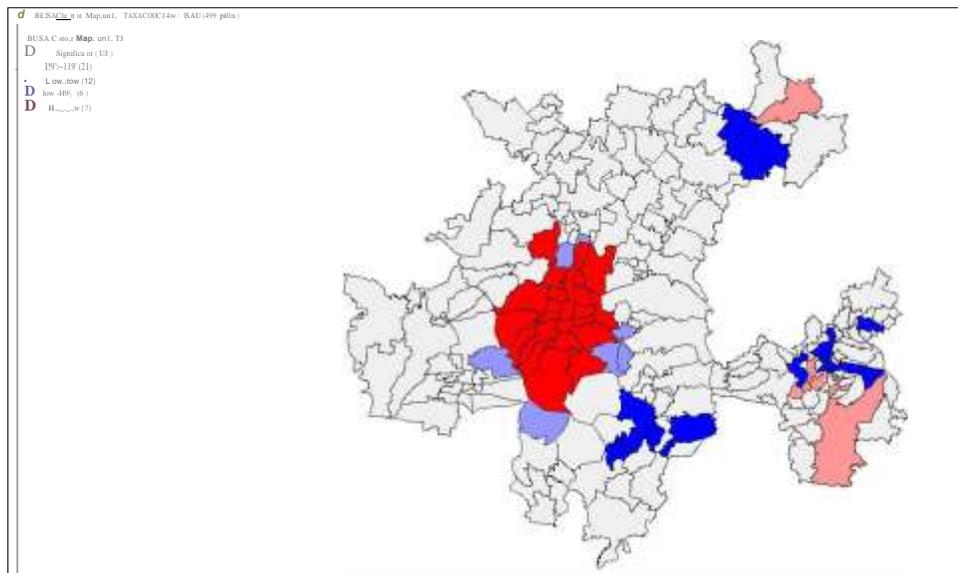


Figura 12. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana. Variable dependiente: Neoplasias del Sistema Digestivo (CIE: C15-C26).

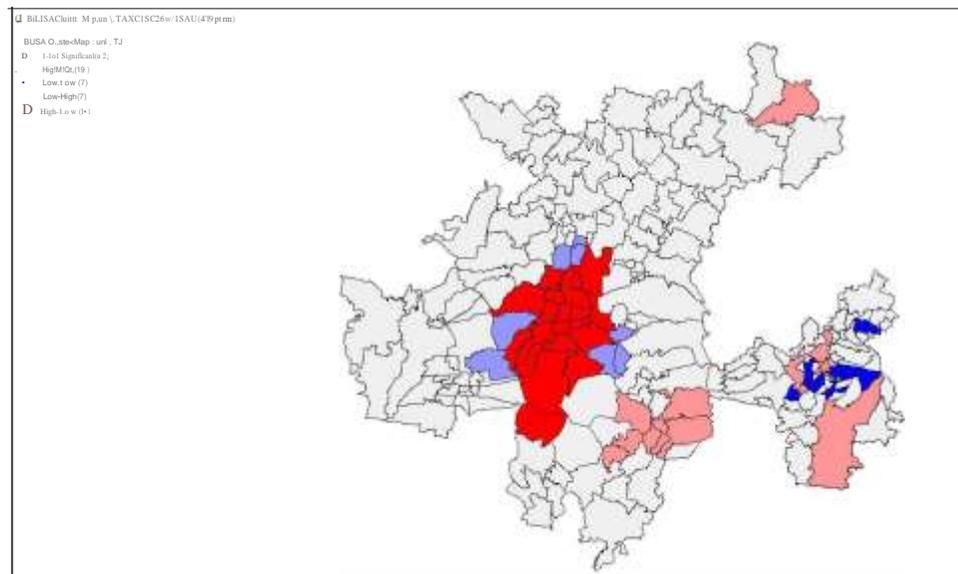


Figura 13. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana. Variable dependiente: Neoplasias de Pulmón, caja torácica (CIE: C30-C39).

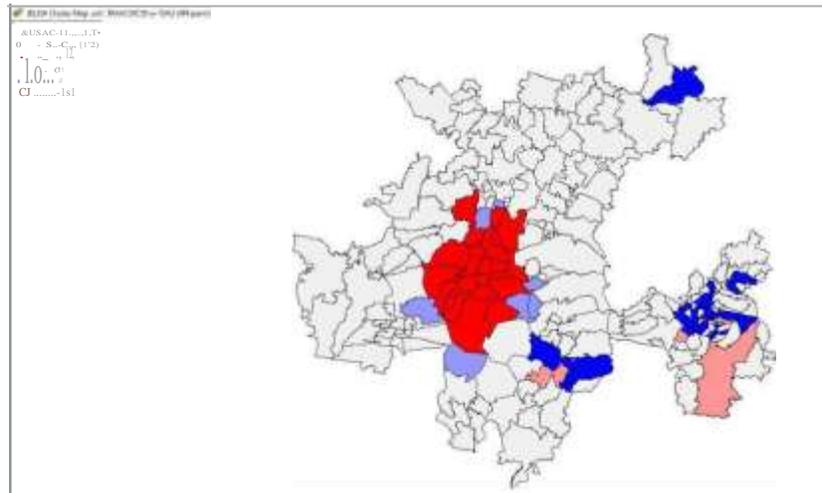


Figura 14. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana. Variable dependiente: Neoplasias de Hueso, cartílago (CIE: C40-C41).

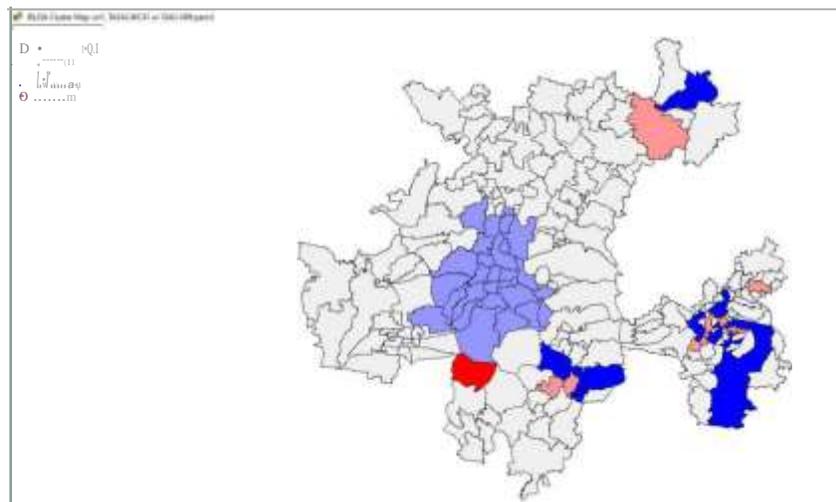


Figura 15. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana. Variable dependiente: Neoplasias de Pecho (CIE: C50).

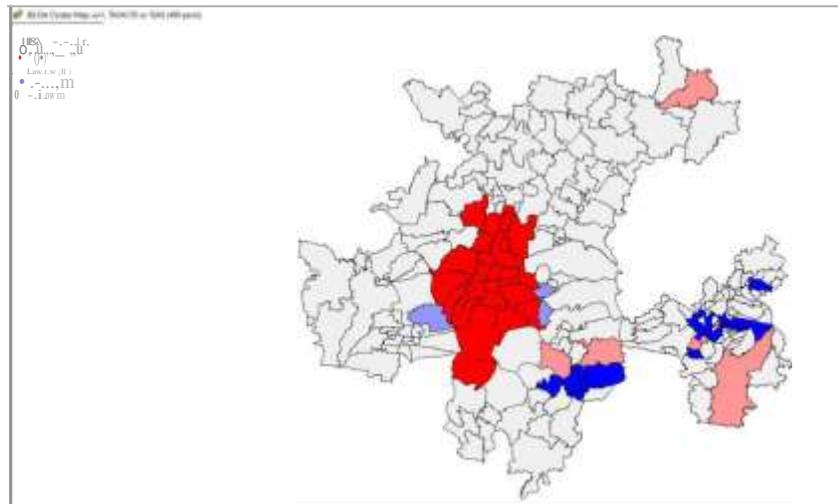


Figura 16. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana. Variable dependiente: Neoplasias de Vías urinarias (CIE: C64-C68).

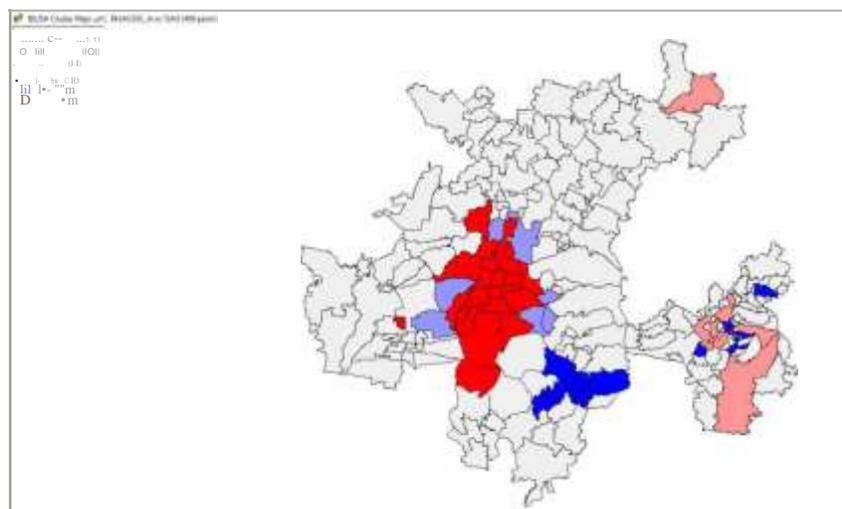
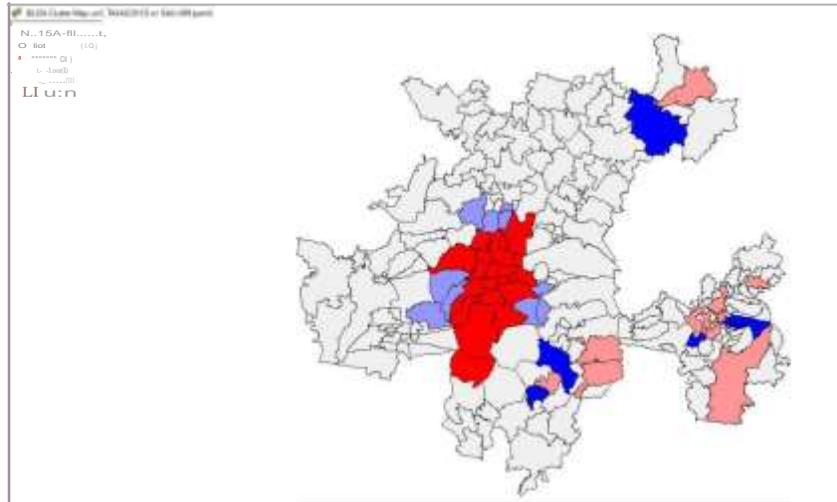


Figura 17. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana. Variable dependiente: Neoplasias de Tejido Linfático, órganos homeotópicos (CIE: C81-C96).



En las Figuras 17 a 23 observamos la localización y extensión de los clústeres generados con el cálculo del Índice Bivariado Local de Moran teniendo como variable explicativa el Subíndice de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental.

Se obtuvieron resultados significativos positivos con las tasas de mortalidad por neoplasias de los siguientes tipos: COO-C14; C15-C26; C30-C39; C50 y D37-D48. Como en el caso de ISAU, fue negativa en el caso de C40-C41 (Hueso y cartílagos).

Nuevamente el clúster de tipo Alto-Alto se encuentra en la Ciudad de México. Los clústeres de tipo Alto-Bajo, es decir, altas tasas de mortalidad y bajos niveles de sustentabilidad vecinos, se concentran en pequeños municipios al este de la megalópolis, en las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco, aunque en tales zonas metropolitanas también se generan conglomerados de tipo Bajo-Bajo. No obstante en el caso de Puebla, aparece como clúster de tipo Alto-Bajo con las tasas de mortalidad por COOC-14; C15-C26, C30-C39; C50 y D37-D48. Igualmente al noreste de la zona de estudio: Tulancingo de Bravo (COO-C14; C15-C26; C50 y D37-D48), Singuilucan (C15-C26; C30-C39; C40-C41 y C50) y Santiago Tulantepec (C50).

Los clústeres de tipo Bajo-Alto se concentran (con la notable excepción de C40-C41, Figura 15) en municipios vecinos del clúster de tipo Alto-Alto de la Ciudad de México, en particular al oeste y sureste (Figuras 18, 19, 20, 22 y 23).

Figura 18. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental. Variable dependiente: Neoplasias de Boca, Faringe, Labio (CIE: COO-C14).

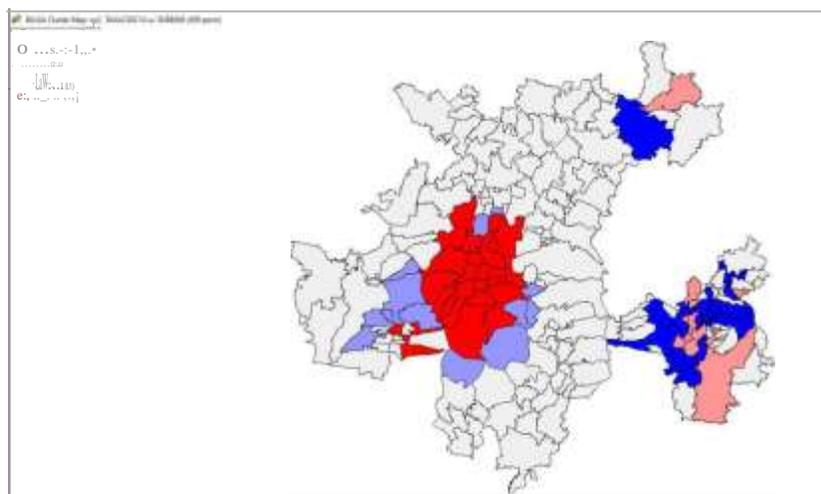


Figura 19. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental. Variable dependiente: Neoplasias del Sistema Digestivo (CIE: C15-C26).

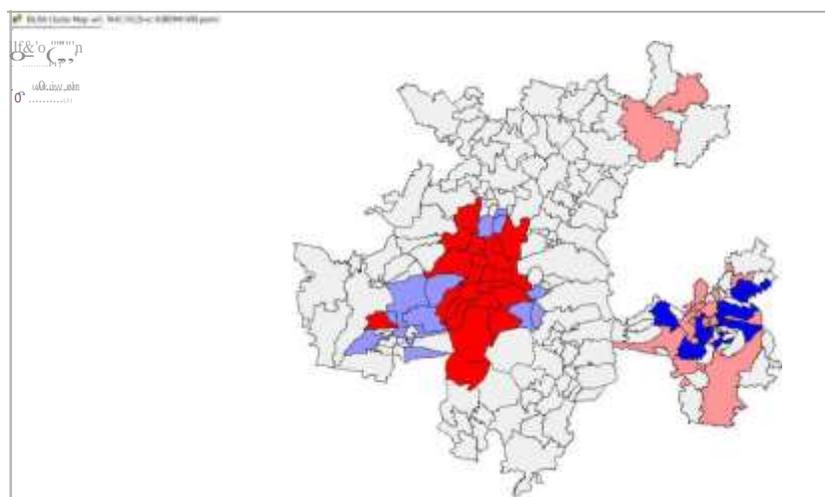


Figura 20. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental. Variable dependiente: Neoplasias de Pulmón, caja torácica (CIE: C30-C39).

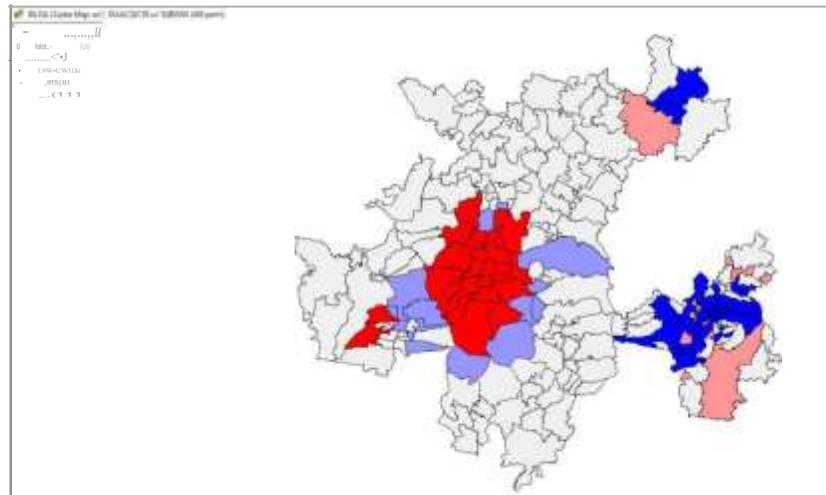


Figura 21. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental. Variable dependiente: Neoplasias de Hueso, cartílago (CIE: C40-C41).

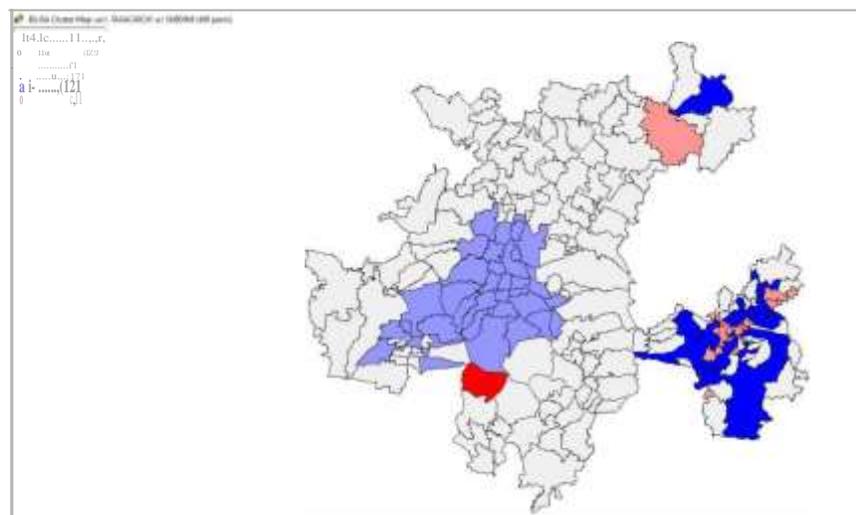


Figura 22. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental. Variable dependiente: Neoplasias de Pecho (CIE: C50).

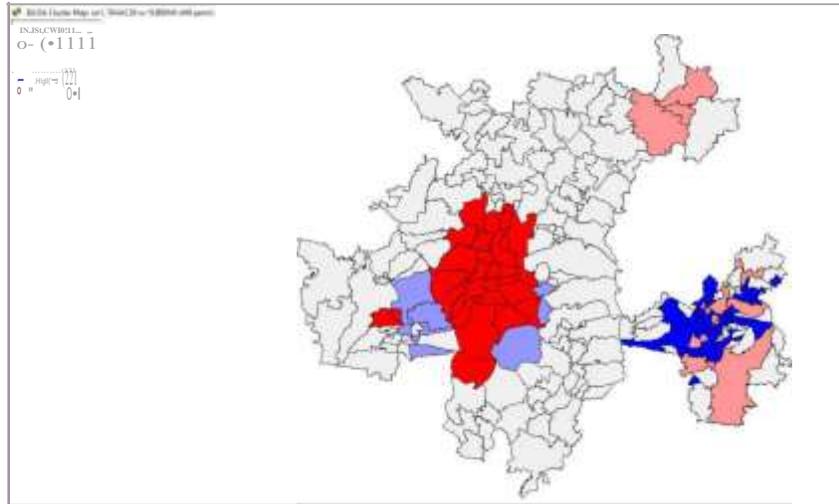
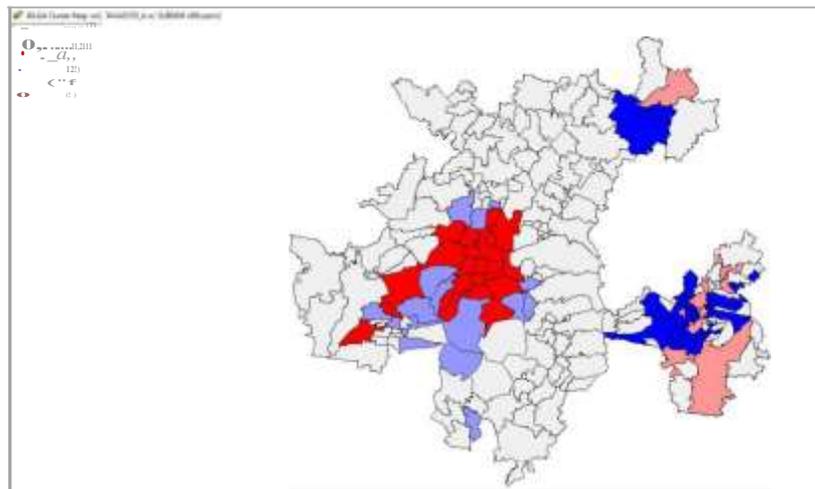


Figura 23. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental. Variable dependiente: Neoplasias de comportamiento incerto ou indefinido (CIE: D-37-D48).



En las Figuras 24 a 30 se puede apreciar la localización y extensión de los clústeres generados con el cálculo del Índice Bivariado Local de Moran teniendo como variable explicativa el Subíndice de Desarrollo Urbano Integral.

Los conglomerados se agrupan fundamentalmente en torno a la Ciudad de México (clústeres de tipo Alto-Alto con excepción del caso de las neoplasias de hueso y cartílago, Figura 27, de tipo Bajo-Alto) y en las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco (con predominio de tipo Bajo-Bajo para los casos de COO-C14 y C40-C41, Figuras 24 y 27; y presencia de ambos tipos, Alto-Bajo y Bajo-Bajo en los casos de C15-C26, C30-C39, C50 y C64-C68 fundamentalmente).

La zona de unión entre el este de la zona metropolitana del Valle de México y las zonas metropolitanas de Tlaxcala-Apizaco y Puebla-Tlaxcala genera clústeres de tipo Bajo-Bajo para COO-C14 (Figura 24: Chiautzingo, San Felipe Teotlacingo, Huejotzingo y San Martín Texmelucan), C15-C26 (Figura 25: Chiautzingo, San Felipe Teotlacingo, San Martín Texmelucan y San Salvador el Verde), C30-C39 (Figura 26: San Felipe Teotlacingo Huejotzingo y San Martín Texmelucan), C40-C41 (Figura 27: Chiautzingo, San Felipe Teotlacingo, Huejotzingo, Nativitas y San Martín Texmelucan), C50 (Figura 28: San Felipe Teotlacingo Huejotzingo y San Martín Texmelucan; en tanto que Chiautzingo conforma un clúster de tipo Alto-Bajo entre los anteriores) y C64-C68 (Figura 29: Chiautzingo, Huejotzingo y San Martín Texmelucan).

Clústeres recurrentes de tipo Alto-Bajo aparecen al nordeste de la megalópolis, Tulancingo (Figuras 24, 25, 28 y 29) y al este Puebla (Figuras 26, 28 y 29), tengamos en cuenta que los Figuras 28 y 29 son de los bivariados con las neoplasias de pecho (C50) y vías urinarias (C64-C68).

En el caso de las neoplasias de Hueso y cartílago (C40-C41, Figura 27) la clave de su comportamiento es el patrón espacial de su distribución en la zona de estudio, ya que es el único tipo de neoplasia cuyas tasas de mortalidad son bajas en las alcaldías y municipios vecinos de la Ciudad de México. Las tasas más elevadas se concentran en tres lugares muy concretos: al norte de la megalópolis (Acatlán, Epazoyucan, Nopaltepec, Pachuca de Soto, Santiago Tulantepec, Tizayuca, Tlanalapa, Tolcayuca, Villa de Tezontepec, Zapotlán de Juárez y Zempoala); al este, entre las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco (Coronango, Nativitas, SanDamián Texóloc, Santa Ana Nopalucan, Tetlatlahuca, Tlaltenango, Xicohtzinco y Zacatelco) y sureste (Amecameca, Cocotitlán, Ecatzingo, Milpa Alta, Temamatla, Tenango del Aire, Tepetlixpa, Tlanepantla, Totolapan y Yecapixtla).

Figura 24. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Desarrollo Urbano Integral. Variable dependiente: Neoplasias de Boca, Faringe, Labio (CIE: COO-C14).

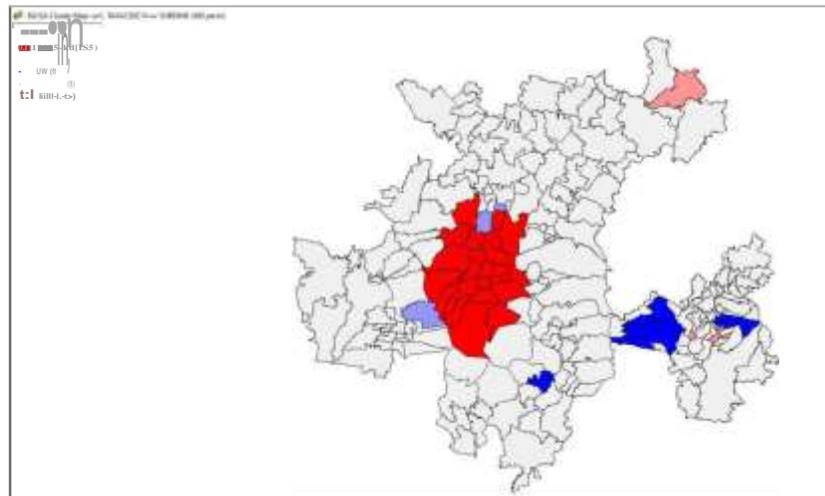


Figura 25. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Desarrollo Urbano Integral. Variable dependiente: Neoplasias del Sistema Digestivo (CIE: C15-C26).

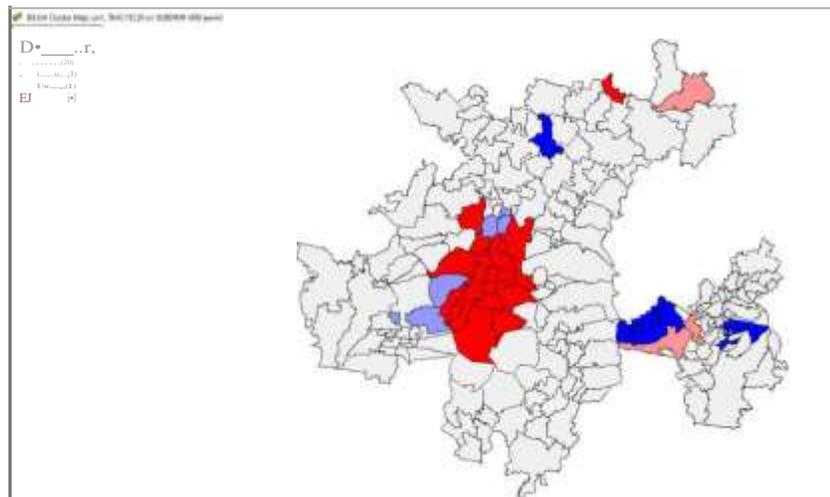


Figura 26. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Desarrollo Urbano Integral. Variable dependiente: Neoplasias de Pulmón, caja torácica (CIE: C30-C39).

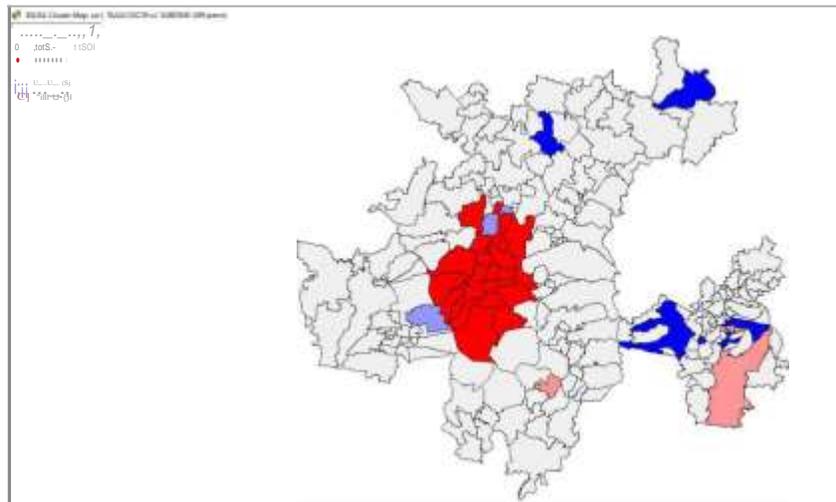


Figura 27. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Desarrollo Urbano Integral. Variable dependiente: Neoplasias de Hueso, cartílago (CIE: C40-C41).

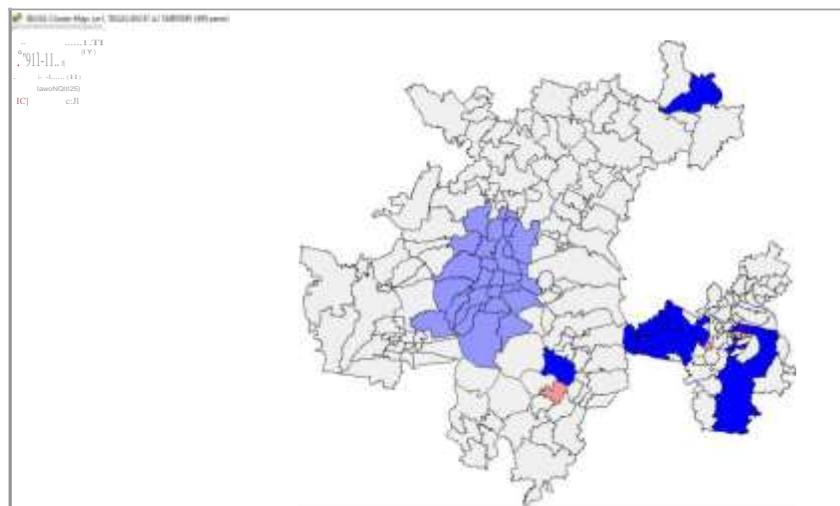


Figura 28. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Desarrollo Urbano Integral. Variable dependiente: Neoplasias de Pecho (CIE: C50).

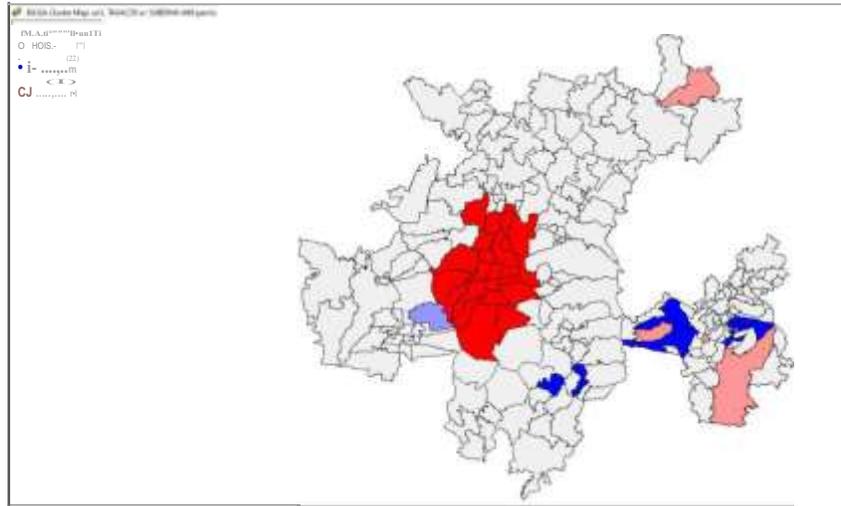
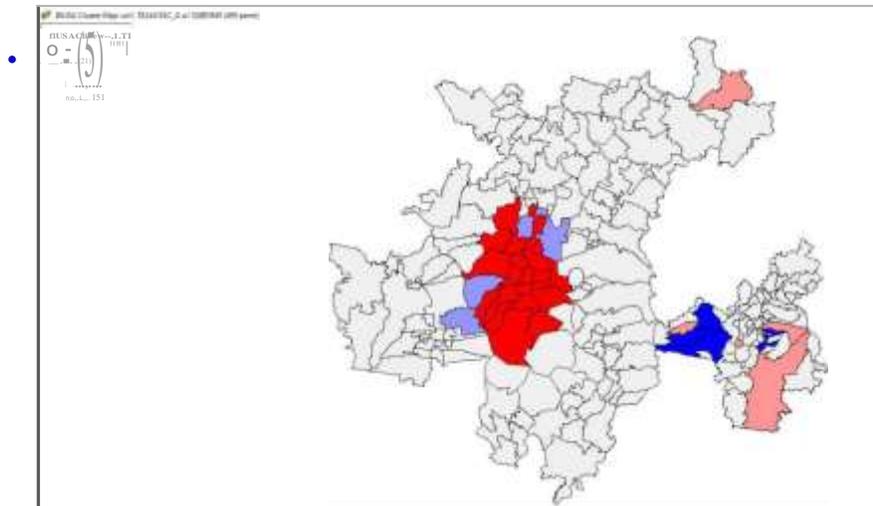


Figura 29. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Desarrollo Urbano Integral. Variable dependiente: Neoplasias de Vías urinarias (CIE: C64-C68).



Seguidamente, en los Figuras 30 a 35 se pueden apreciar los clústeres producto del Índice Bivariado Local de Moran en este caso con la variable explicativa del Subíndice de Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia.



Figura 31. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia. Variable dependiente: Neoplasias del Sistema Digestivo (CIE: C15-C26).

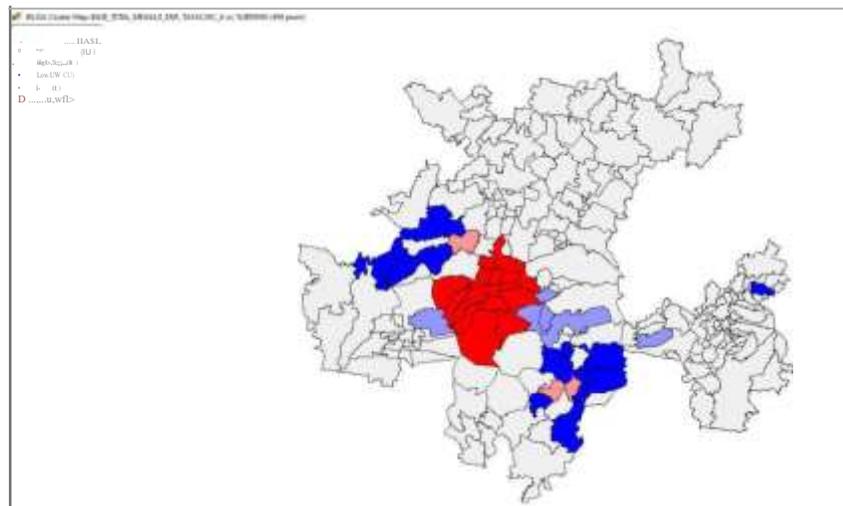


Figura 32. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia. Variable dependiente: Neoplasias de Pulmón, caja torácica (CIE: C30-C39).

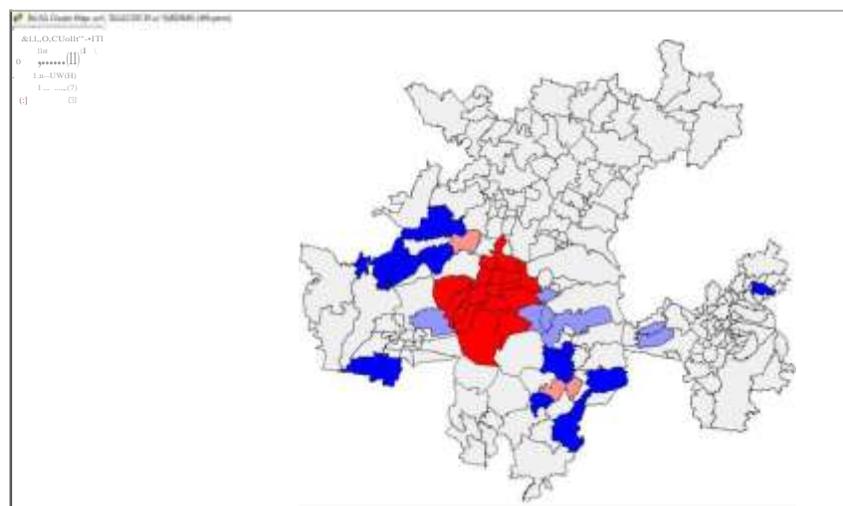


Figura 33. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia. Variable dependiente: Neoplasias de Pecho (CIE: C50).

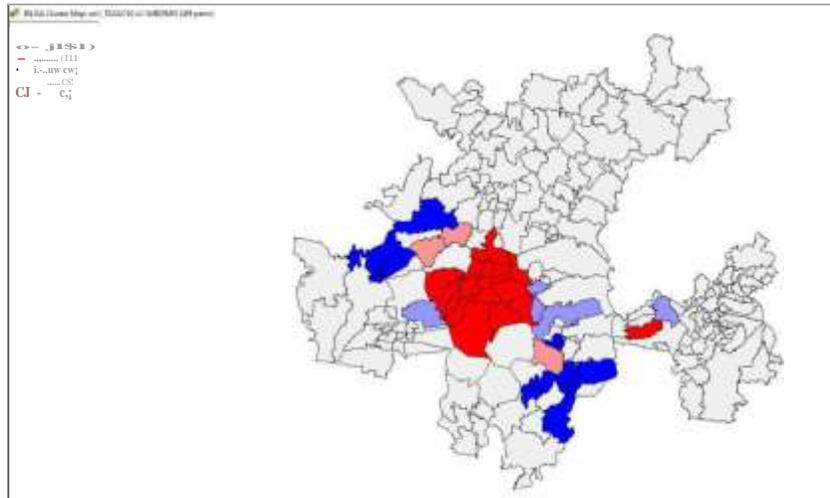
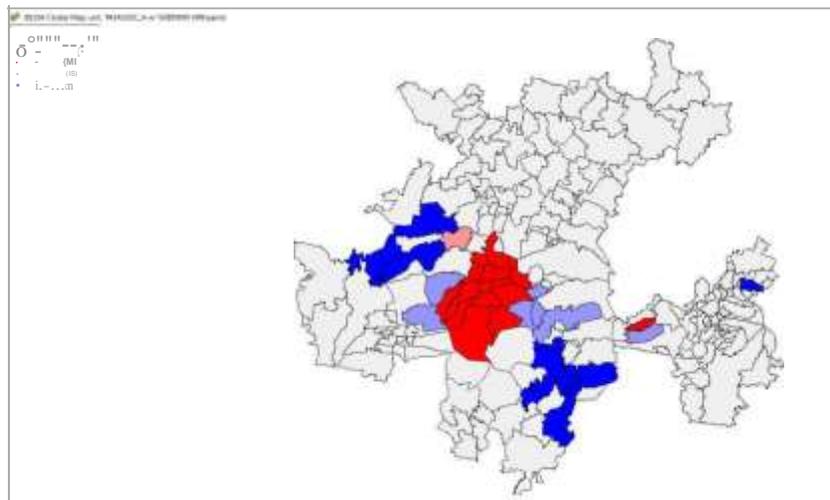


Figura 34. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Subíndice de Desarrollo Urbano Integral. Variable dependiente: Neoplasias de Vías urinarias (CIE: C64-C68).





#### 4.2.4.3. Análisis Bivariado. Indicadores de sustentabilidad como variables explicativas.

Si bien los resultados del análisis bivariado entre el ISAU y los subíndices por una parte y las tasas de mortalidad por neoplasias por otro, son significativos, el hecho de que los mayores niveles de sustentabilidad lleven aparejadas unas mayores tasas de mortalidad, puede resultar a primera vista sorprendente e incluso un contrasentido, aunque como se ha analizado hay que buscar la explicación desde el punto de vista del desarrollo socioeconómico de las áreas con mayor sustentabilidad.

Así pues, se profundizó en la temática tomando en cuenta algunos de los indicadores creados para la construcción del ISAU y subíndices, más concretamente los indicadores de contaminación del aire y del agua (Tabla 18), del Subíndice de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental y los indicadores de pobreza e inequidad de ingreso, del Subíndice de Desarrollo Urbano Integral.

Tabla 18. Contaminantes del aire y del agua.

PM10	Las PM10 o partículas gruesas, son partículas menores a 10 micrómetros y mayores a 2.5 micrómetros de diámetro, consideradas como material contaminante, del material líquido y sólido de variable composición y tamaño, que se encuentran en el aire (Tzintzun et al., 2005)
PM2.5	Las PM2.5 o partículas finas, son partículas menores a 2.5 micrómetros de diámetro, consideradas como material contaminante, del material líquido y sólido de variable composición y tamaño, que se encuentran en el aire (Gallego et al 2012)
Ü3	El ozono es una molécula formada por tres átomos de oxígeno, altamente reactiva, por lo que puede ser destruida formando oxígeno bipolar y liberando un átomo de oxígeno en solitario. (INEGI, Glosario).
S02	El Dióxido de Azufre, S02, proviene de la quema de combustibles que contienen azufre, principalmente combustóleo y en menor medida diesel. Es un irritante respiratorio muy soluble, que en altas concentraciones puede resultar perjudicial para los pulmones El Dióxido de nitrógeno (N02) es un contaminante generado cuando el nitrógeno contenido en los combustibles y en el aire es oxidado en un proceso de combustión (Glosario de INEGI)
DBQ5	Nivel de Demanda Bioquímica de Oxígeno en el agua

Tabla 19. Resultados Índice Bivariado Local de Moran

ClaveCIFI-10	TIPO de cáncer	PM10	PM2,5	Ozono	S02	N02	DB05	J.I. Pobre,a
C00-C14	Boca, Faringe, Labio	0.53	-0.138	0.242	0.122	0.2856	-0.05	-0.196
C15-C26	Sistema digestivo	0.172	0.0695	0.122	-0.028	0.1935	-0.02	-0.26
C30-C39	Pulmón, caja torácica	0.255	-0.03	0.1938	0.139	0.357	-0.03	-0.29
C40-C41	Hueso, cartílago	0.357	-0.023	-0.279	-0.021	0.1939	-0.07	0,25
C43-C44	Piel	-0.244	-0.022	-0.2416	0.023	0.009	-0.03	0.01
eso	Pecho	0.004	0.0244	-0.033	0.003	-0.0168	-0.006	-0.355
C64-C68	Vías urinarias	0.165	0.031	0.141	-0.092	0.2179	-0.04	-0.191
C69-C72	Ojo, cerebro y sistema nervioso	0.11	0.093	0.1703	0,026	0.2341	0,1	-0.09
C73	Tiroides	0.006	0.198	-0.173	0.101	-0.1307	-0,05	-0.08
C76-C80	Mal definidas, secundarias, no especificadas	0.214	-0.035	0.0006	0.1104	-0.0269	-0,02	-0.11
C81-C96	Neoplasias Tejido Linfático, órganos homeotopeicos	0.228	-0.088	0,014	0.04	-0.096	-0.006	-0.217
D37-D48	Neoplasias de comportamiento incerto ou indefinido	-0.007	0.021	-0.0418	0.032	0.0091	0,063	-0.18

Fuente: Elaboración propia

**A. Variables explicativas: Indicadores de contaminación del aire (PM10, PM2,5, Ozono, S02, Óxido Nitroso)**

**a) Partículas PM10 en superficie.**

-Variable explicativa: Niveles de PM10 en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Boca, Faringe, Labio (CIE: COO-C14).

Las autocorrelaciones espaciales bivariadas obtenidas entre los niveles de PM10 y las tasas de mortalidad por neoplasias fueron significativas para los tipos siguientes (Tabla 19): de Boca, Faringe, Labio (CIE: COO-C14), de Pulmón y caja torácica (C30-C39), de huesos y cartílagos (C40-C41), de piel (C43-C44), mal definidas (C76-C80) y de tejido linfático y órganos homeotopeicos (C81-C96).

Para el caso de las neoplasias COO-C14 (Figura 30) la autocorrelación fue considerablemente significativa (0.53), lo que nos indica que no se trata de una distribución aleatoria y la presencia

<sup>6</sup> Las PM<sub>10</sub> o partículas gruesas, son partículas menores a 10 micrómetros y mayores a 2.5 micrómetros de diámetro, consideradas como material contaminante, del material líquido y sólido de variable composición y tamaño, que se encuentran en el aire (Tzintzun et al., 2005)

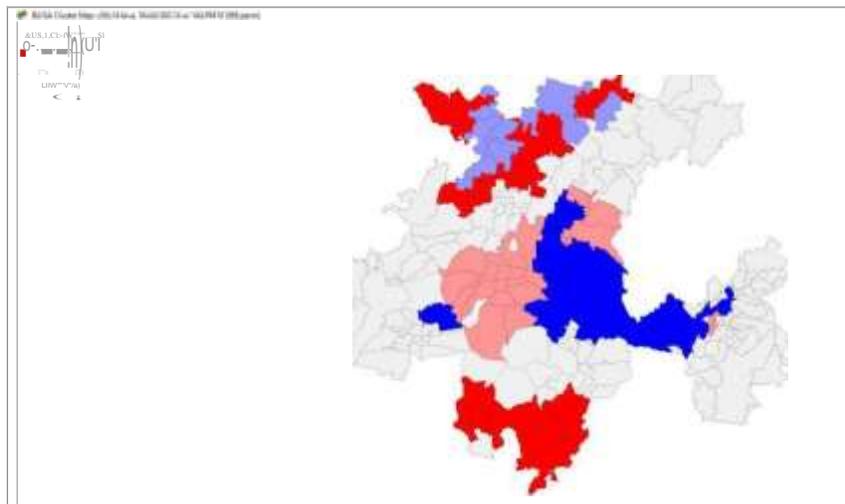
de clústeres, sobre todo de tipo Alto-Alto y Bajo-Bajo, es decir, unidades espaciales con altas tasas de mortalidad rodeadas por unidades con altos niveles de PM10 y viceversa.

Los clústeres del primer tipo se concentran al norte y sur de la megalópolis, al norte en Coyotepec, Hueyoxtla, Mineral del Monte, Pachuca de Soto, Tepetzotlán, Tlaxcoapan, Tolcayuca, Tula de Ayende y Zumpango, y al sur en Atlatlahucan, Ayala, Cuautla, Cuemavaca, Emiliano Zapata, Jiutepec, Temixco, Yautepec y Yecapixtla .

Hay un gran clúster de tipo Bajo-Bajo al este de la Ciudad de México y zonas metropolitanas de Tlaxcala-Apizaco y Puebla-Tlaxcala, en estas últimas zonas incluyen los municipios de Acolman, Ateneo, Chateo, Chiautzingo, Chicoloapan, Chimalhuacán, Huejotzingo, Ixtapaluca, La Paz, Nativitas, San Damián Texóloc, San Felipe Teotlacingo, San Martín Texmelucan, San Salvador el Verde, Teotihuacán, Texcoco, Tezoyuca, Tlamanalco y Tlaxcala . Al oeste de la Ciudad de México aparece un pequeño clúster de este tipo en el municipio de Ocoyoacac.

En la propia Ciudad de México y zonas vecinas se conforma un clúster de tipo Alto-Bajo, ya que las relativamente elevadas tasas de mortalidad por este tipo de neoplasias probablemente se deban a la estructura demográfica por edades de las alcaldías capitalinas más que a una relación causal con los niveles de contaminación por PM10 en superficie. Al nordeste igualmente se concreta un clúster Alto-Bajo en los municipios de Chiautla, Chiconcuac, Otumba, San Martín de las Pirámides y Tepetlaoxtoc (todos ellos del Estado de México), en estos municipios la tasa de mortalidad promedio es de 1.06 por cien mil, en tanto que a nivel de la megalópolis es de 0.67 por cien mil.

Figura 36. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Niveles de PM<sub>10</sub> en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Boca, Faringe, Labio (CIE: COO-C14).



-Variable explicativa: Niveles de PM10 en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Pulmón, caja torácica (CIE: C30-C39).

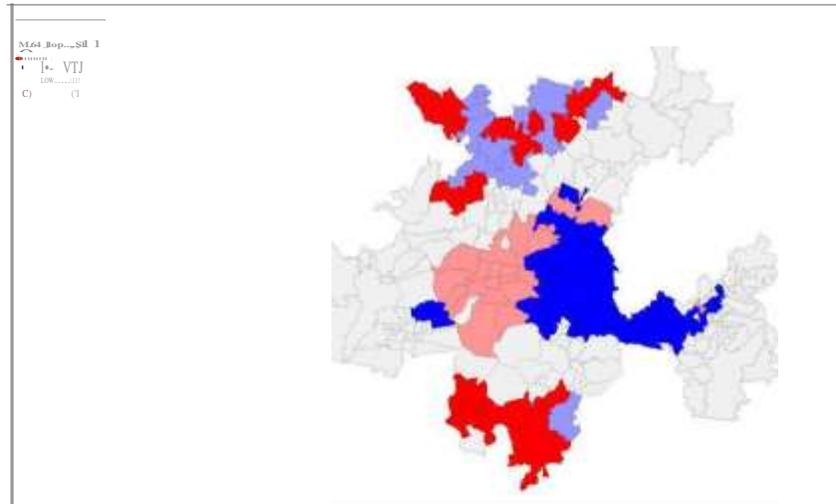
La tasa de mortalidad por neoplasias de pulmón y caja torácica fue en el periodo 2005-2016 de 4.78 por cien mil habitantes. La autocorrelación bivariada con PM10 arrojó la cifra de 0.255, es decir, las zonas con altas tasas se hayan rodeadas de unidades espaciales con altos niveles de contaminación por PM10 y vicerversa con los niveles bajos de ambas variables.

Los clústeres de tipo Alto-Alto se localizan al norte (en cuatro conglomerados) y al sur de la zona de estudio. Los clústeres Alto-Alto del norte de la megalópolis son los siguientes: Tula de Allende en el extremo NO; Coyotepec y Tepetzotlán; Apaxco y Hueyoxtla y finalmente, hacia el NE, Zapotlán de Juárez, Mineral del Monte y Pachuca de Soto. Al sur de la megalópolis el segundo conjunto de clústeres Alto-Alto se concentra en torno a las zonas metropolitanas de Cuemavaca y Cuautla: Atlatlahucan, Ayala, Cuautla, Cuemavaca, Emiliano Zapata, Jiutepec, Temixco y Yautepec.

Los clústeres de clase Bajo-Bajo se concentran al levante de la Ciudad de México, extendiéndose hacia el este de la megalópolis (Acolman, Chalco, Chiautzingo, Chicoloapan, Chimalhuacán, Huejotzingo, Ixtapaluca, La Paz, Nativitas, San Felipe Teotlacingo, San Martín Texmelucan, San Salvador el Verde, Tepetlaoxtoc, Tetlatlahuca, Texcoco, Tláhuac, Tlamanalco, Tlaxcala y Valle de Chalco Solidaridad) y otros más reducidos al oeste (Ocoyoacac) y noreste de la misma Ciudad de México (San Martín de las Pirámides).

Clústeres Alto-Bajo se observan (Figura 37) en torno a la Ciudad de México, por los motivos expuestos más arriba para el caso de las neoplasias COO-C14, es decir, altas tasas asociadas probablemente al mayor envejecimiento demográfico y mayor desarrollo de las alcaldías (y el cáncer del pulmón es de los más asociados a un mayor desarrollo socioeconómico). Al NE, Otumba y Teotihuacán constituyen el segundo clúster Alto-Bajo.

Figura 37. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Niveles de PM10 en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Pulmón, caja torácica (CIE: C30-C39).



Los clústeres Bajo-Alto evidentemente se concentran al norte y sur de la megalópolis, sobre todo al norte. Se trata de municipios con bajas tasas de mortalidad por esta clase de cáncer rodeados de altos niveles de contaminación, y que por tanto, escapan de la tendencia global. Al norte son municipios como Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Huehuetoca, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca, Tquixquiac, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan, Tolcayuca y Zumpango.

-Variable explicativa: Niveles de PM10 en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Hueso, cartílago (CIE: C40-C41)

En la Figura 39 tenemos los clústeres producto del bivariado local de Moran aplicado a las neoplasias de hueso y cartílago y los niveles de PM10. Existe una autocorrelación bivariada significativa (0.357) y a diferencia de los otros tipos de neoplasias, la existencia de un gran clúster Bajo-Bajo y únicamente unos reducidos y aislados cústeres de tipo Alto-Alto.

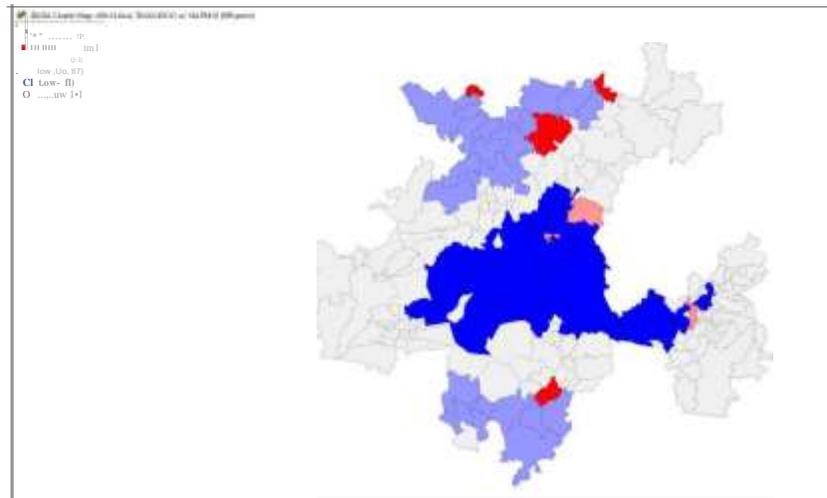
Los clústeres de tipo Alto-Alto son cuatro, tres al norte y uno al sur de nuestra zona de estudio. En el norte, en los confines de la megalópolis al NO, Tlahuelilpan; al NE, Mineral del Monte y al norte de la Ciudad de México, Tolcayuca y Zapotlán de Juárez (estos dos municipios tienen una tasa de mortalidad de cáncer de hueso y cartílago muy elevada, de 28.57 y 30.74 por cien mil). Al sur de la megalópolis, en Cuautla, Atlaltlahucan.

Dado que las tasas de mortalidad por neoplasias de hueso y cartílago en la Ciudad de México son bajas (1.86 por cien mil) en comparación con el promedio megalopolitano (12.9 por cien mil) es comprensible que en este caso conforme un clúster Bajo-Bajo junto a todo un gran conjunto de municipios al este y que se extienden hasta Puebla y Tlaxcala (Acolman, Ateneo, Chalco, Chiautzingo, Chicoloapan, Chimalhuacán, Ecatepec de Morelos, Huejotzingo, Ixtapaluca, La Paz, Nativitas, San Felipe Teotlacingo, San Martín de las Pirámides, San Martín Texmelucan, San Salvador el Verde, Tepetlaoxtoc, Tetlatlahuca, Texcoco, Tláhuac, Tlamanalco, Tlaxcala y Valle de Chalco Solidaridad).

Los clústeres Alto-Bajo aparecen de forma aislada, al noreste de Ciudad de México (Chiconcuac, Otumba y Papalotla, con tasas muy elevadas: 19.2, 18.5 y nada menos que 46.52 por cien mil respectivamente) y al oeste de Tlaxcala (San Damián Texóloc y Tetlatlahuca, con tasas de 52.1 y 14.6 por cien mil)

Las zonas norte (Apaxco, Atitalaquia, Atotonilco, Coyotepec, Huehuetoca, Hueypoxtla, Mineral de la Reforma, Pachuca de Soto, San Agustín Tlaxiaca, Tepetzotlán, Tequixquiac, Tlaxcoapan, Tula de Allende y Zumpango) y sur (Ayala, Cuautla, Cuemavaca, Emiliano Zapata, Jiutepec, Temixco, Yautepec y Yecapixtla) aparecen en este caso como grandes clústeres de tipo Bajo-Alto (Figura 38).

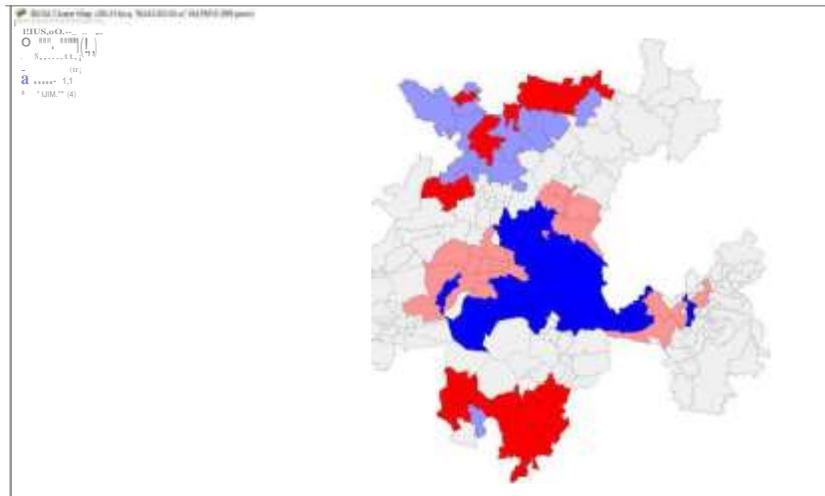
Figura 38. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Niveles de PM10 en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Hueso, cartílago (CIE: C40-C41).



-Variable explicativa: Niveles de PM10 en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Piel (CIE: C43-C44).

En las neoplasias de piel (Figura 39) obtenemos unos resultados diferentes a los de las demás neoplasias, existe una autocorrelación bivariada significativa, pero negativa (Tabla 19) de -0.24

Figura 39. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Niveles de PM10 en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Piel (CIE: C43-C44).



-Variable explicativa: Niveles de PM10 en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Mal definidas, secundarias, no especificadas (CIE: C76-C80).

La autocorrelación bivariada entre PM10 y las tasas de neoplasias mal definidas, secundarias, no especificadas fue ligeramente significativa (0.21). Estudios han corroborado la relación entre PM10 y este tipo de neoplasias (Pereira et al, 2005;

Tres clústeres de tipo Alto-Alto aparecen en la Megalópolis del Centro de México, dos al norte (Atotonilco de Tula, Tlahuelilpan, Tlacoapan y Tula de Allende, el primero y Hueypoxtla, Mineral de la Reforma, Mineral del Monte, Pachuca de Soto y San Agustín Tlaxiaca) y un tercero al sur (Atlatlahucan, Cuautla, Cuernavaca, Jiutepec, Temixco, Yautepec y Tecapixtla).

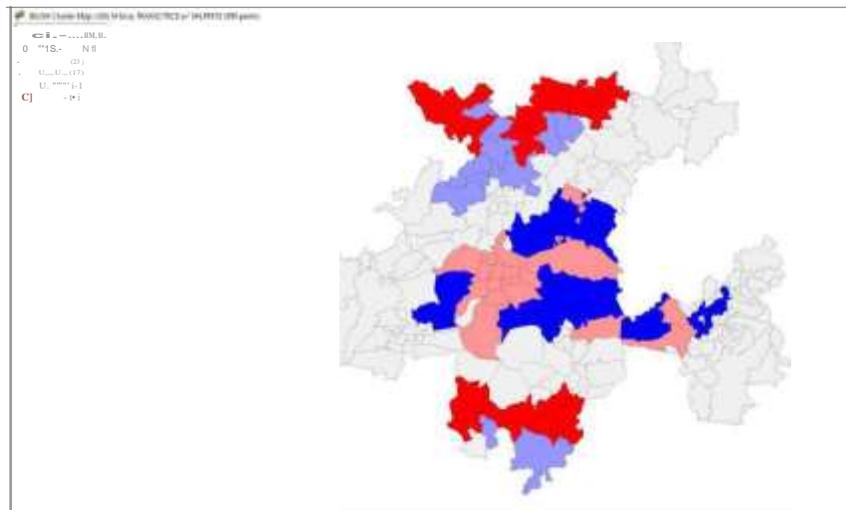
Los clústeres Bajo-Bajo son cuatro, en la parte central de la megalópolis, en torno a la Ciudad de México y al este, en la zona metropolitana de Puebla. Al oeste de la Ciudad de México en Cuajimalpa de Morelos, Huixquilucan y Ocoyoacac; al NE de la misma ciudad, en Acolman,

Ateneo, Chiautla, Chiconcuac, Ecatepec de Morelos, Teotihuacán, Tepetlaoxtoc y Tezoyuca. Así mismo, al este y sureste de la capital, otro clúster de estas características lo forman Cahlco, Chicoloapan, Chimalhuacán, Ixtapaluca, La Paz, Tláhuac, Valle de Chalco Solidaridad y Xochimilco. En Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco existen otros dos clústeres: en los límites con el estado de México observamos en el Figura 34 el primero: Chiantzingo, San Felipe Teotlalcingo y San Salvador el Verde y finalmente, el de Nativitas, San Damián Texóloc, Tetlatlahuca y Tlaxcala.

Por otra parte, aparecen tres clústeres de tipo Alto-Bajo, distribuidos en el centro de la megalópolis y hacia el este: uno centrado en la Ciudad de México y proximidades (Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, Miguel Hidalgo, Naucalpan, Nezahualcóyotl, Texcoco, Tlalpan y Venustiano Carranza); un segundo en San Martín de las Pirámides (NE de la Ciudad de México) y finalmente, a medio camino entre el Estado de México y Puebla-Tlaxcala, el conformado por Huejotzingo, San Martín Texmelucan y Tlamanalco.

Los de tipo Bajo-Alto aparecen al norte y sur de la megalópolis, al norte, Apaxco, Atitalaquia, Coyotepec, Huehuetoca, Tepotztlán, Tequixquiac, Tolcayuca, Zapotlán de Juárez y Zumpango. Al sur, dos de reducidas dimensiones, Ayala y Emiliano Zapata.

Figura 40. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Niveles de PM10 en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Mal definidas, secundarias, no especificadas (CIE: C76-C80).

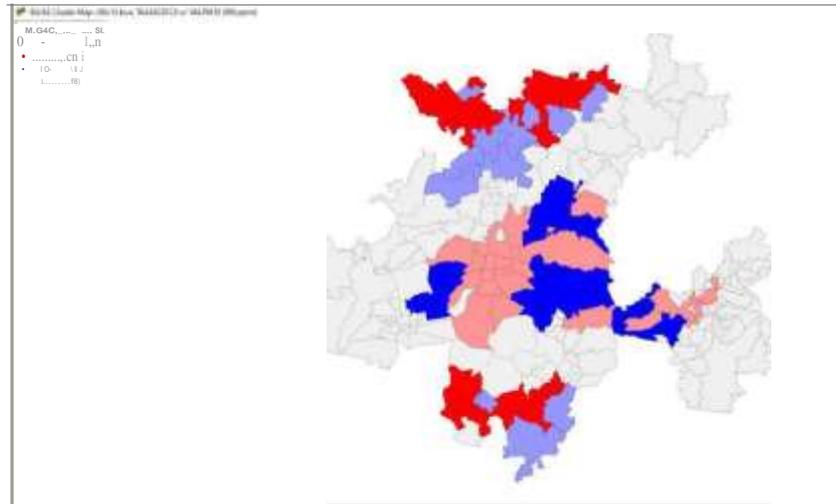


-Variable explicativa: Niveles de PM10 en superficie. Variable dependiente: Neoplasias Tejido Linfático, órganos homeotópicos (CIE: C81-C96).

Con una autocorrelación bivariada de 0.228, nuevamente al norte y sur de la zona de estudio encontramos clústeres Alto-Alto de las tasas de mortalidad por cáncer y PM10. Los clústeres de unidades rodeadas de niveles altos de contaminación por PM10 se componen de los siguientes municipios: al NO, Atotonilco de Tula, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan y Tula de Allende; al norte, Mineral del Monte, Pachuca de Soto, San Agustín Tlaxiaca y Tolcayuca.

Existen 4 clústeres de tipo Bajo-Bajo. Se concentran en la parte central de la megalópolis, y al este, en la zona metropolitana de Puebla. En los municipios vecinos de la Ciudad de México hay tres, uno al oeste (Cuajimalpa de Morelos, Huixquilucan y Ocoyoacac); un segundo clúster al noreste, en Acolman, Ateneo, Chiautla, Chiconcuac, Teotihuacán, Tepetlaoxtoc y Tezoyuca. Al sureste, otro clúster de estas características lo forman Chalco, Chicoloapan, Chimalhuacán, Ixtapaluca, La Paz, Tláhuac y Valle de Chalco Solidaridad. Al oeste de la zona metropolitana de Puebla-Tlaxcala existe otro clúster: Huejotzingo, San Felipe Teotlalcingo y San Salvador el Verde.

Figura 41. Índice Bivariado Local de Moran. . Variable explicativa: Niveles de PM10 en superficie. Variable dependiente: Neoplasias Tejido Linfático, órganos homeotópicos (CIE: C81-C96).



Los clústeres tipo Alto-Bajo, se encuentran en el centro de la megalópolis y hacia el este: uno centrado en la Ciudad de México y proximidades (Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc, Ecatepec, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, Miguel Hidalgo, Naucalpan, Nezahualcóyotl, Texcoco, Tlalpan, Venustiano Carranza y Xochimilco); un segundo en Otumba (NE de la Ciudad de México); al sureste de la Ciudad de México Tlamanalco y finalmente en las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco los municipios de Chiautzingo, Nativitas, Panotla, San Damián Texóloc, San Martín Texmelucan, Tetlatlahuca y Tlaxcala).

Los de tipo Bajo-Alto aparecen al norte y sur de la megalópolis, al norte, Apaxco, Atitalaquia, Coyotepec, Huehuetoca, Tepotzotlán, Tequixquiac, Tolcayuca, Zapotlán de Juárez y Zumpango. Al sur, dos de reducidas dimensiones, Ayala y Emiliano Zapata.

b) Partículas PM2.s en superficie.

-Variable explicativa: Niveles de PM2.s en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Tiroides (CIE: C73)

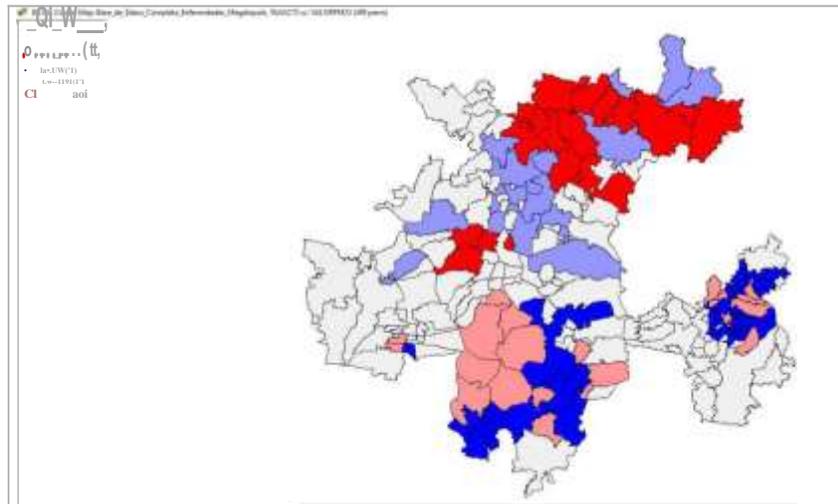
Únicamente se obtuvo una autocorrelación bivariada significativa con la variable explicativa PM2.s para el caso de las neoplasias de tiroides, aun en este caso, se incluyó por este mismo motivo, ya que el valor fue de 0.198, es decir, solo marginalmente significativo.

El promedio megalopolitano de tasa de mortalidad bruta por cáncer tiroideo en el periodo 2005-2016 fue de 0.592 por cien mil, aunque ocho de los municipios de la zona de estudio superan la tasa del 2 por cien mil (cinco de ellos en el noreste de la megalópolis). La tasa megalopolitana fue similar a la media nacional (0.4 por cien mil en 2002 y 0.6 por cien mil en 2008) (Granados, Estrada y Apodaca, 2009 y Granados et al, 2014). Lo destacable es que en algunas zonas de la megalópolis las tasas son muy superiores, en algún caso hasta ocho veces superior (Tlanalapa al noreste de la megalópolis).

Los clústeres de tipo Alto-Alto se generan únicamente al norte y noreste de la megalópolis, ya que los niveles elevados de contaminación por PM2.s se encuentran precisamente al norte de la zona de estudio: Axapusco, Cuautepéc de Hinojosa, Epazoyucan, Hueyapoxtla, Mineral de Reforma, Pachuca de Soto, San Agustín Tlaxiaca, Santiago Tulantepec, Singuilucan, Temascalapa, Tolcayuca, Villa de Tezontepec y Zapotlán de Juárez.

Al noroeste de la Ciudad de México, en su área conurbada existe otros dos clústeres de tipo Alto-Alto de reducidas dimensiones: Atizapán de Zaragoza, Naucalpan de Juárez y Tlanepantla de Baz.

Figura 42. Índice Bivariado Local de Moran.. Variable explicativa: Niveles de PM2.s en superficie.  
Variable dependiente: Neoplasias de Tiroides (CIE: C73).



Clústeres Bajo-Bajo se sitúan predominantemente al sur y este de la megalópolis, en las zonas metropolitanas de Cuemavaca y Cuatla (Atlatlahucan, Chalco, Emiliano Zapata, Jiutepec, Juchitepec, Ozumba, Temixco, Tepetlixpa, Tláhuac, Tlanepantla, Totolapan, Xochitepec, Yauhtepec y Yecapixtla) y en las de Tlaxcala-Apizaco respectivamente ( Acuamamal de Miguel Hidalgo, Amaxac de Guerrero, Apetatitlán, Apizaco, Cuaxomulco, La Magdalena Tlatelulco, Mazatecochco, Papalotla de Xicohtécatl, San Francisco Tetlanohcan, San Jerónimo Zacualpan, San Juan Huactzinco, Santa Catarina Ayometla, Santa Cruz Quilehtla, Santa Isabel Xiloxotla, Teolochohco, Tepeyanco, Tetlatlahuca, Tlaxcala, Tzompantepec, Yaloztoc, Yauhquemehcan y Zacatelco). También existe un tercer clúster en la zona metropolitana de Santiago Tianguistenco (Texcalyacac).

Los clústeres de tipo Bajo-Alto se hallan al norte y noreste de la Ciudad de México, en tanto que los Alto-Bajo se distribuyen al sur de la Ciudad de México y Cuemavaca (como Cuemavaca, Huitzilac, Milpa Alta, Tepoztlán, Tlalpan o Xochimilco) y de forma dispersa en la zona metropolitana de Tlaxcala-Apizaco (por ejemplo Chiautempan, Contla y Santa Cruz Tlaxcala al este de la propia capital de Tlaxcala).

c) Niveles de Ozono en superficie.

Los niveles de contaminación por Ozono<sup>7</sup> (O3) en la Megalópolis del Centro de México tienden a aumentar hacia el sur y sureste de la Ciudad de México (SE de la propia ciudad, este del estado de México y zonas metropolitanas de Cuautla y Cuemavaca) y en menor grado hacia el noreste de la megalópolis (Pachuca, Acatlán).

-Variable explicativa: Niveles de Ozono en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Boca, Faringe, Labio (CIE: COO-C14).

La autocorrelación bivariada entre ambas variables fue significativa, de 0.24, espacialmente quedó plasmado en la Figura 43 a través de una serie de clústeres. En la literatura se menciona la existencia de correlación entre Ozono en superficie y la incidencia de cáncer de laringe (Pereira et al, 2005) y oral en general (Yu Hua-Chu et al, 2018)

De tipo Alto-Alto en el sureste de la Ciudad de México, en concreto alcaldías y municipios vecinos como Álvaro Obregón, Benito Juárez, Coyoacán, Iztapalapa, La Magdalena Contreras, Nezahualcóyotl, Tinaguistenco, Tlalpan y Xochimilco.

Al noreste de la Ciudad de México existen dos clústeres de estas características: el de Axapusco y el conformado por Chiautla y Tepetlaoxtoc.

El más extenso es el situado al sur de la megalópolis, en las zonas metropolitanas de Cuautla y Cuemavaca: Amecameca, Atlatlahucan, Ayala, Ayapango, Cuautla, Cuemavaca, Ecatzingo, Jiutepec, Ozumba, Tepoztlán, Tlanepantla, Yautepec y Yecapixtla.

La tipología Bajo-Bajo de clústeres las encontramos en las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco (Figura 43).

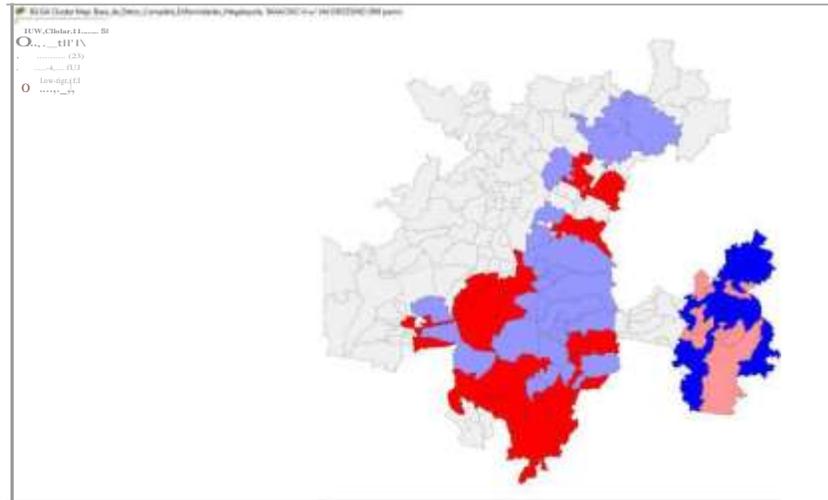
Al este de la Ciudad de México, en la parte oriental del estado de México y hacia el noreste, hasta Singuilucan se extiende un gran clúster de tipo Bajo-Alto, es decir, zonas con bajas tasas de mortalidad por cáncer COO-C14 rodeadas por espacios con altos niveles de Ozono. Las áreas

---

<sup>7</sup> El ozono es una molécula formada por tres átomos de oxígeno, altamente reactiva, por lo que puede ser destruida formando oxígeno bipolar y liberando un átomo de oxígeno en solitario. El ozono se encuentra tanto en la troposfera como en la estratosfera, en la primera capa es un contaminante criterio secundario, es decir no se emite directamente a la atmósfera, sino que se forma a partir de reacciones muy complejas en las que participan los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y la radiación solar (INEGI, Glosario).

con clústeres de tipo Alto-Bajo se concentran en exclusividad en las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco, destacando la propia Puebla.

Figura 43. Índice Bivariado Local de Moran. . Variable explicativa: Niveles de Ozono en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Boca, Faringe, Labio (CIE: COO-C14).



-Variable explicativa: Niveles de Ozono en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Hueso, cartílago (CIE: C40-C41).

La autocorrelación bivariada entre niveles de Ozono (siempre en superficie en este trabajo) y las tasas de cáncer de hueso y cartílago es negativa, de -0.28, es decir, zonas con baja mortalidad se hallan rodeadas fundamentalmente por espacios con altos niveles de Ozono en superficie y viceversa.

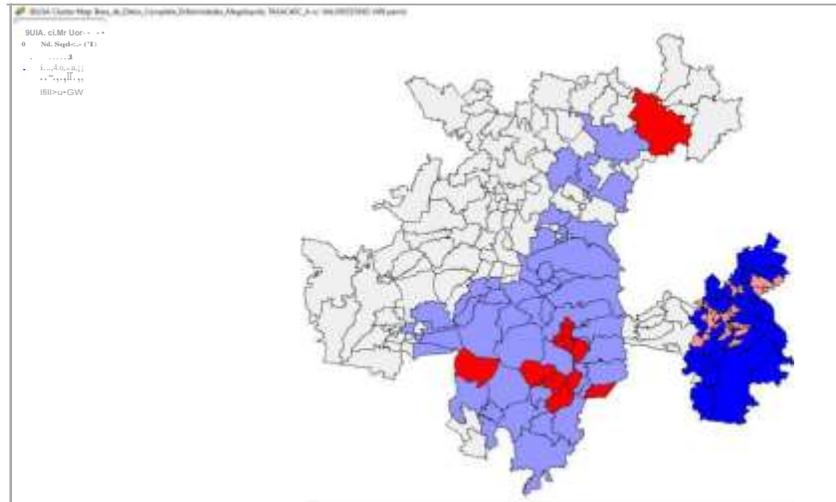
Como podemos apreciar en la Figura 44, los clústeres de tipo Alto-Alto son cinco, pero de escasa entidad y aunque en el este de la megalópolis se conforma un gran clúster de tipo Bajo-Bajo, lo predominante son los clústeres de tipo Alto-Bajo y Bajo-Alto.

Como se mencionó los clústeres Alto-Alto son cinco. Cuatro de ellos se concentran en el sur de la megalópolis, al sur de la propia capital y dispersos en las zonas metropolitanas de Cuemavaca y Cuautla (Atlatlahucan, Ayapango, Cocotitlán, Ecatzingo, Huitzilac, Temamatla, Tenango del Aire, Tepetlixpa, Tlanepantla y Totolapan), en tanto que el quinto se halla en el extremo noreste de la Megalópolis: Singuilucan.

Las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco, con excepción de 22 pequeños municipios que son clústeres Alto-Bajo en tres aglomeraciones, se constituyen como

un gran clúster Bajo-Bajo compuesto de 26 municipios, incluyendo los términos municipales de Tlaxcala y Puebla.

Figura 44. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Niveles de Ozono en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Hueso, cartílago (CIE: C40-C41).

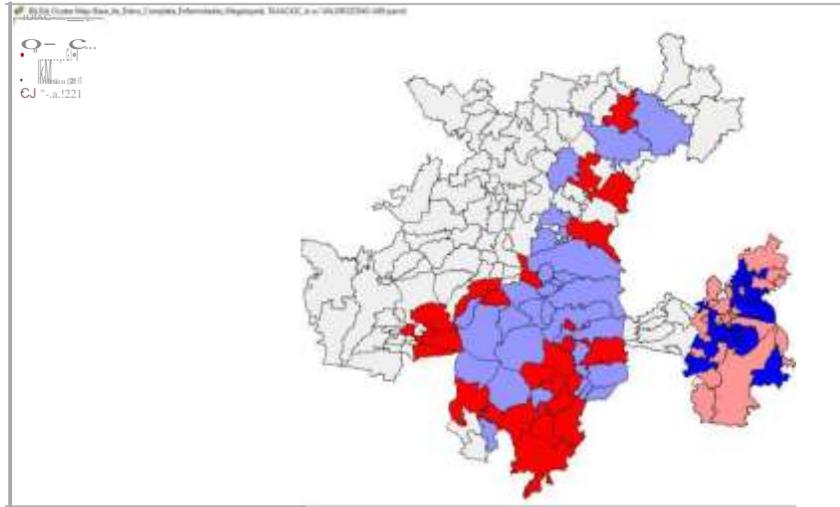


-Variable explicativa: Niveles de Ozono en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Piel (CIE: C43-C44).

La tasa de mortalidad por cáncer de piel en la megalópolis fue de 1.3 por cien mil, aunque los niveles son de gran heterogeneidad ya que en 11 municipios la cifra excede el 2.5 por cien mil, sobre todo en Puebla-Tlaxcala (Ocoyucan, San Gregorio Atzompa), Tlaxcala-Apizaco (Pantla, Santa Apolonia, San Juan Huactzingo, Tepetitla y Tocatlán), Cuautla (Tlanepantla, Tepetlixpa y Yecapixtla) y noreste megalopolitano (Epazoyucan).

La autocorrelación bivariada fue de -0,24. Existen estudios que relacionan los niveles de ozono en superficie con una reducida radiación UV, al actuar como elemento contaminante que ejerce una reducción en la radiación ultravioleta (UV) (Jun Lin An et al, 2008; Madronich, Wagner y Groth, 2011) lo cual a su vez, debido a que uno de los factores de riesgo en la incidencia de neoplasias de piel es la exposición a la misma radiación (Cabrera y López, 2006; Sordo y Gutiérrez, 2013; Zemelman, 2007), puede explicar tal resultado del bivariado local de Moran entre ambas variables consideradas.

Figura 45. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Niveles de Ozono en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Piel (CIE: C43-C44).



Se puede ver en la Figura 45 el extenso clúster de tipo Bajo-Alto al este y sureste de la Ciudad de México, y que hacia el noreste se prolonga en otros dos clústeres más reducidos (Singuilucan y Zempoala ya en el extremo NE de la megalópolis).

Los clústeres de tipo Alto-Bajo se concentran en el oriente de la megalópolis, en las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco, destacando los propios municipios de Puebla y Tlaxcala.

Hay en esta zona hasta un total de 3 clústeres de tipo Bajo-Bajo; Amozoc al SE; Apizaco, Chiautenpan, San Francisco Tetlanohcan, Contla, Santa Cruz Tlaxcala, Yauhquemehcan, Cuaxomulco y Apetatitlán) al norte, y otro a medio camino entre ambas zonas metropolitanas (Acuamanala, Coronango, Mazatecochco, Papalotla, San Damián, San Lorenzo Axocomanitla, San Pablo del Monte, Santa Ana Nopalucan, Santa Catarina Ayometla, Santa Cruz Quilehltla, Tenancingo, Tetlaltlahuca, Tlaltenango, Xicohtzinco y Zacatelco).

Los clústeres de tipo Alto-Alto en cambio se encuentran fundamentalmente al sur de la megalópolis (Amecameca, Atlatlahucan, Ayala, Cuautla, Cuemavaca, Jiutepec, Juchitepec, Tenango, Tepetlixpa, Tlanepantla, Totolapan, Yautepec y Yecapixtla) y de forma aislada al oeste de la capital (Álvaro Obregón, Benito Juárez, Coyoacán, Ocoyoacac, Tianguistenco y Xalatlaco) y en conglomerados dispersos al noreste (Axapusco, Epazoyucan y Tepetlaoxtoc).

d) Niveles de Dióxido de Nitrógeno (N02) en superficie.

El Dióxido de nitrógeno (N02) es un contaminante generado cuando el nitrógeno contenido en los combustibles y en el aire es oxidado en un proceso de combustión. El Dióxido de nitrógeno (N02) se deriva de los procesos de combustión, siendo ésta la fuente principal de su emisión a la atmósfera. Se trata de un contaminante primario y juega un doble papel en materia medio ambiental ya que se le reconoce efecto potencialmente dañino de manera directa, pero también es uno de los precursores del ozono (SEMARNAT).

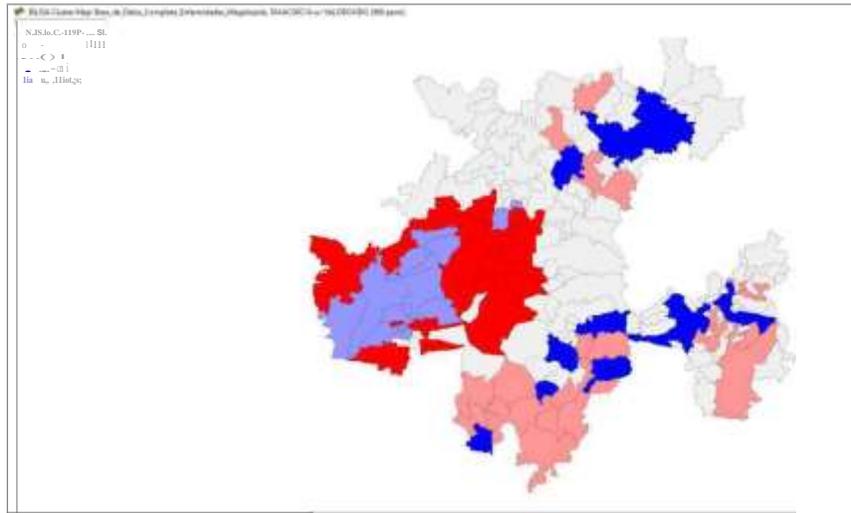
Este contaminante ha sido reconocido por estudios como un factor de riesgo en la incidencia de diversos tipos de cáncer, como los de boca, faringe y labio (Datzmann et al, 2018) o pulmón (Hamra et al, 2015).

-Variable explicativa: Variable explicativa: Dióxido de Nitrógeno (N02) en superficie.  
Variable dependiente: Neoplasias de Boca, Faringe, Labio (CIE: COO-C14).

La autocorrelación bivariada fue de 0.26, lo cual nos indica una relación significativa entre ambas variables. Los clústeres de clase Alto-Alto los hallamos en la Ciudad de México y espacios conurbados al norte (todas las alcaldías, con la excepción de Alvaro Obregón, Tláhuac y Milpa Alta, y los municipios de Tlanapantla de Baz, Cuautitlán Izcalli, Nicolás Romero, Nezahualcoyotl, Naucalpan de Juárez, Huixquilucan, Ecatepec, Coacalco y Atizapán) y hacia el oeste de la megalópolis en los municipios periféricos de las zonas metropolitanas de Toluca y de Santiago Tianguistenco (Almoloya de Juárez, Capulhuac, Temoaya, Tenango del Valle y Tinaguistenco).

Los clústeres Bajo-Bajo aparecen en dos agrupamientos, uno al noreste (2 clústeres) y otro al este-sureste de la megalópolis (6 clústeres). En el primer caso son los de Singuilucan-Zempoala y Temascalapa en tanto que en el segundo caso son los municipios siguientes, de oeste a este: Tlayacapan, Juchitepec, Tlamanalco, Atlauta, Huejotzingo-Nativitas-San Martín Taxmelucan y Teolocholco-Tepeyanco-Tlaxcala.

Figura 46. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Dióxido de Nitrógeno (N02) en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Boca, Faringe, Labio (CIE: COO-C14).



La tipología Alto-Bajo de clústeres aparece en 3 aglomeraciones, al noreste de la megalópolis, en el levante (zonas metropolitanas de Tlaxcala-Apizaco y sobre todo Puebla-Tlaxcala) y al sur de la zona de estudio, en las zonas metropolitanas de Cuernavaca y Cuautla.

En cambio existe fundamentalmente un único clúster de tipo Bajo-Alto al oeste de la megalópolis, centrado en lo esencial en la zona metropolitana de Toluca (Calimaya, Chapultepec, Isidro Fabela, Jilotzingo, Lerma, Metepec, Ocoyoacac, Oztolotepec, San Mateo Ateneo, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec).

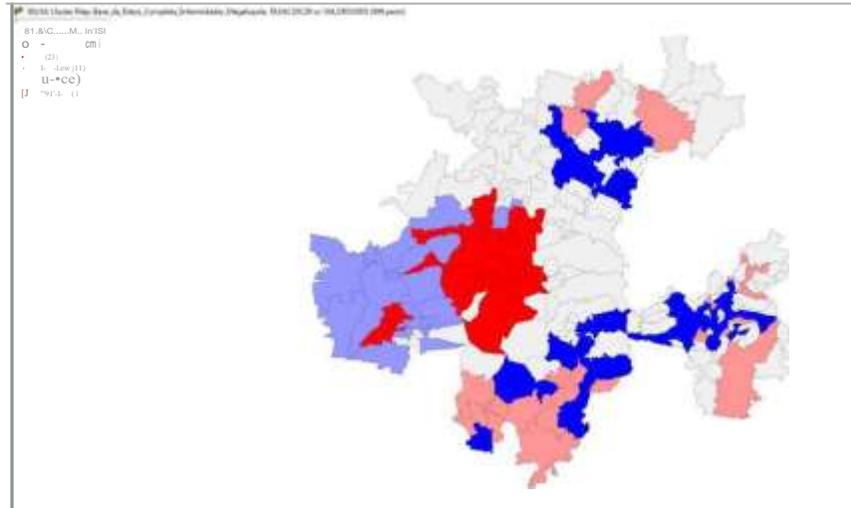
-Variable explicativa: Dióxido de Nitrógeno (N02) en superficie.  
Variable dependiente: Neoplasias de Pulmón, caja torácica (CIE: C30-C39).

Se obtuvo una autocorrelación bivariada significativa (0.357), datos megalopolitanos que son consecuentes con la literatura especializada (Hamra et al, 2015).

Los clústeres Alto-Alto los encontramos (Figura 47) en las alcaldías de la Ciudad de México (con alguna excepción al sureste, Milpa Alta y Tláhuac), y municipios conurbados al NO, N y NE de las mismas: Azcapotzalco, Tlanepantla, Cuautitlán Izcalli, Nezahualcoyotl, Naucalpan, Isidro Fabela, Huixquilucan, Ecatepec, Coacalco de Berriozábal y Atizapán de Zaragoza.

Existe un segundo clúster Alto-Alto al sur de Toluca, que incluye los municipios de Calimaya, Metepec y Mexicaltzingo.

Figura 47. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Dióxido de Nitrógeno (N02) en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Pulmón, caja torácica (CIE: C30-C39).



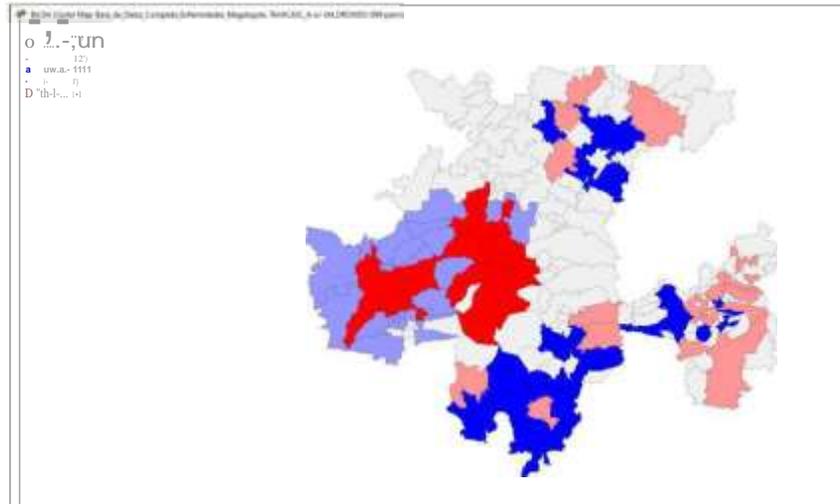
Los clústeres Bajo-Bajo son 5; se concentran al noreste, este y sur de la megápolis. El clúster localizado en el NE incluye los municipios de Axapusco, Temascalapa, Tolcayuca y Zempoala; el clúster situado en el este, entre las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco se extiende entre otros por los municipios de Coronango, Cuautlancingo, Huejotzingo, Nativitas, San Martín Texmelucan, Teolochocho, Tepeyanco, Tetlatlahuca, Tlaxcala y Zacatelco. Al sur de la megápolis aparecen tres clústeres, de oeste a este: Xochitepec, Tepoztlán-Tlayacapan y Atlautla-Ayapango-Juchitepec-Ozumba-Tlamanalco-Yecapitxtla.

Igualmente los de tipo Alto-Bajo se distribuyen en tres zonas preferentemente (Figura 47), al noreste (Pachuca y Singuilucan), este (Puebla, entre otros) y sur (Cuemavaca, por ejemplo) de la zona de estudio. Hay dos de clase Bajo-Alto, uno al norte de la Ciudad de México (Tultitlán), y un segundo, de mucha mayor entidad, al oeste de la megápolis, en la zona metropolitana de Toluca.

-Variable explicativa: Variable explicativa: Dióxido de Nitrógeno (N02) en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Vías urinarias (CIE: C64-C68).

Se encontró una autocorrelación bivariada significativa (0.218) entre los niveles de N02 y la tasa de mortalidad por neoplasias de vías urinarias. Los clústeres significativos Alto-Alto se concentran en el centro y oeste de la megápolis, en torno a la Ciudad de México y a Toluca.

Figura 48. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: : Dióxido de Nitrógeno (N02) en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Vías urinarias (CIE: C64-C68).



En este caso los clústeres Bajo-Bajo y Alto-Bajo siguen el patrón de concentración en el noreste, este y sur megalopolitano, aunque en el este, en las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco son predominantes los del segundo tipo, con tres, de norte a sur: Apizaco; Apetatitlán de Antonio Carvajal; Chiautempan, Contla, Cuaxomulco, Nativitas, San Juan Huactzingo, Tetlatlahuca, Tlaxcala y Zacatelco y finalmente, el compuesto por Puebla, San Pedro Cholula y Teolochocho.

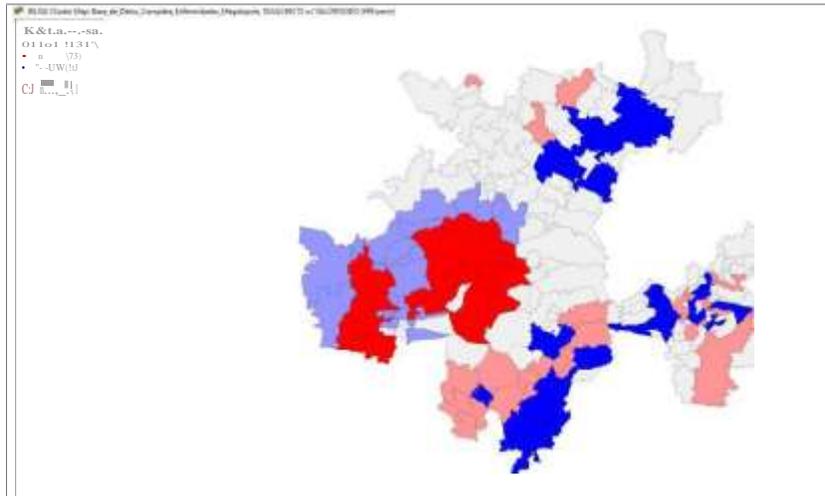
-Variable explicativa: Variable explicativa: Dióxido de Nitrógeno (N02) en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Ojo, cerebro y sistema nervioso (CIE: C69-C72).

La literatura recoge la incidencia de cáncer cerebral en relación a exposición prolongada a óxidos de nitrógeno (Raaschou-Nielsen et al, 2011), una vez aplicado el análisis bivariado, la autocorrelación obtenida fue significativa, de 0.23.

Se aprecia en la Figura 49 como es en el oeste y centro de la megalópolis donde se generan clústeres de clase Alto-Alto, en torno a la Ciudad de México y la zona metropolitana de Toluca (Figura 49).

Los clústeres Bajo-Bajo existen al noreste, este y sureste de la Megalópolis: Axapusco, Singuilucan, Temascalapa y Zempoala; Huejotzingo, San Martín Texmeluca, Teolochocho y Tlaxcala, y Atlatlahuca, Atlautla, Ayala, Cuautla y Yecapixtla, respectivamente.

Figura 49. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: : Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en superficie. Variable dependiente: Neoplasias de Ojo, cerebro y sistema nervioso (CIE: C69-C72).



El patrón de distribución espacial del NO<sub>2</sub> es de concentración de sus niveles elevados precisamente en esas zonas del centro y oeste megalopolitano. No obstante, y a pesar de que en esas áreas hay niveles altos de mortalidad por neoplasias C69-C72, hay que mencionar que en otras áreas aparece tasas de mortalidad muy elevadas, en particular al norte y este de la megalópolis y al sureste de la Ciudad de México. Estas zonas de valores elevados se traducen en el Figura de clústeres en otros tantos aglomerados de tipo Alto-Bajo: al norte Tlahuelilpan, Pachuca de Soto y Tolcayuca; al este, Apetatitlán-Contla-Cuaxomulco; Acuamanala-Tepeyanco; Nativitas-San Damián Texóloc; Coronango-Xicohtzinco y finalmente, Puebla.

#### B. Variables explicativas: Concentración de contaminantes en las aguas superficiales.

a) Variable explicativa: Indicador de Concentración de contaminantes en las aguas superficiales (Nivel de Demanda Bioquímica de Oxígeno DB05).

En la zona de análisis existen 194 estaciones de monitoreo de calidad de las aguas superficiales que indican la calidad del agua superficial (ríos, arroyos, lagos, lagunas, presas, y zonas costeras), así como del agua subterránea (pozos), con base en 5 indicadores para el agua superficial (Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Coliformes Fecales (CF) y Toxicidad (TOX) y un

indicador para el agua subterránea (Sólidos Disueltos Totales, SDT). En los datos proporcionados por CONAGUA se escala entre 1 y 1475 dentro de nuestra área de estudio los niveles integrados de calidad de las aguas.

No se obtuvo ninguna autocorrelación bivariada significativa entre este indicador y diferentes tasas de mortalidad por tipos de neoplasias, a pesar de que ciertos tipos de cáncer han mostrado relación con contaminación de las aguas.

### C. Variables explicativas: Indicador de Pobreza

a) Variable explicativa: Indicador de Pobreza (Porcentaje de población en situación de pobreza en 2010)

Como se mencionó al inicio del capítulo 2.2., se ha detectado una asociación espacial positiva entre las tasas de mortalidad por diferentes tipos de neoplasia y el nivel de ISAU. Igualmente se evidenció para el caso mexicano la correlación aparente entre IDH y tasas de mortalidad por cáncer. A pesar de que en la literatura se hace incapié en la importancia de la incidencia de mortalidad por cáncer en sociedades y países económicamente rezagados (Arias, 2009; Solidoro, 2006; Solidoro, 2010) o como mínimo en la mayor incidencia de ciertos tipos de cáncer entre las clases socioeconómicamente desfavorecidas (Fica, 2014), lo cierto es que existe una asociación entre población envejecida y mayor esperanza de vida y tasas de mortalidad por neoplasias. Dado que uno de los indicadores empleados para la elaboración del Subíndice II y por tanto, del ISAU es precisamente el de pobreza, se decidió averiguar el comportamiento de este indicador con las tasas de mortalidad por cáncer en la Megalópolis del Centro de México, para comprobar si la autocorrelación era positiva o negativa y para cada uno de los tipos de cáncer.

El indicador de Pobreza se calculó con la variable proporcionada por CONEVAL denominada *Porcentaje de población en situación de pobreza para 2010*, que engloba a la población de cada municipio y delegación en situación de pobreza extrema y de pobreza moderada.

Únicamente para el cáncer de hueso y cartílago (CIE 40-41) se encontró una autocorrelación bivariada positiva, es decir, áreas con elevadas tasas de mortalidad por cáncer rodeadas por

espacios con altos porcentajes de población en situación de pobreza. Para lo demás casos, la autocorrelación bivariada, en los casos significativos, fue siempre negativa.

La literatura especializada menciona el cáncer uterino (Cérvico Uterino, CIE 53) como uno de los que tienen mayor asociación con situaciones de pobreza (Ortiz et al, 2004; Solidoro, 2010). Sin embargo se encontró que el número de defunciones de este tipo de neoplasia en el período 2005-2016 fue muy bajo, por ejemplo, en la totalidad de las alcaldías de la Ciudad de México se produjeron en tal período únicamente 22 decesos y solamente 19 en la totalidad del estado de México. De esta manera, en la mayoría de los municipios de la megalópolis han habido escasísimas defunciones y en un número significativo ninguna, con un patrón espacial de las tasas de mortalidad escasamente significativo.

Las autocorrelaciones bivariadas de mayor significancia del indicador de Pobreza son los cánceres de caja torácica (Pulmón etc.), sistema digestivo y mama; en menor grado, pero todavía significativas, con los cánceres orales y se tracto superior (COOC14), de hueso y cartílago, y de tejido linfático.

-Variable explicativa: Porcentaje de población en situación de pobreza para 2010. Variable dependiente: Neoplasias de Boca, Faringe, Labio (CIE: COO-C14).

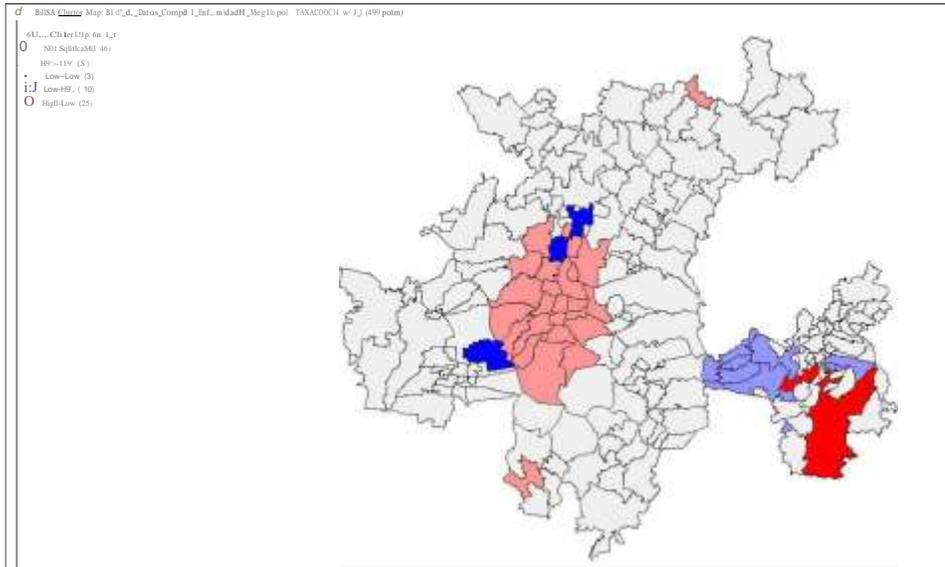
Los cánceres de Boca, Faringe y Labio, que en los apartados anteriores pudimos comprobar que guardan relación con niveles de contaminación del aire, igualmente presentan una autocorrelación bivariada significativa con la Pobreza, pero negativa (-0.196), esto significa que espacialmente la existencia de clústeres de tipo Alto-Bajo y Bajo-Alto (Figura 50).

Los clústeres Alto-Bajo, es decir, altas tasas de mortalidad colindantes con bajos porcentajes de pobreza se concentran al norte y sur de la megalópolis de forma aislada (Mineral del Monte y Temixco, al norte y sur respectivamente) y sobre todo, en un gran clúster en el centro, la Ciudad de México y algunos municipios conurbados al NO. y NE. de la misma.

Los dos clústeres Bajo-Alto los encontramos al este megalopolitano: Chiautzingo, Huejotzingo, Nativitas, San Felipe Teotlalcingo, San Martín Texmelucan y San Salvador el Verde por una parte y más hacia el este, el conformado por Acuamanala y Teolocholco.

Es interesante localizar los tres clústeres Alto-Alto, todos se hallan en el este, uno el propio municipio de Puebla, y al norte de esta, San Miguel Xoxtla, Tlaltenango y Xoxtla y Papalotla.

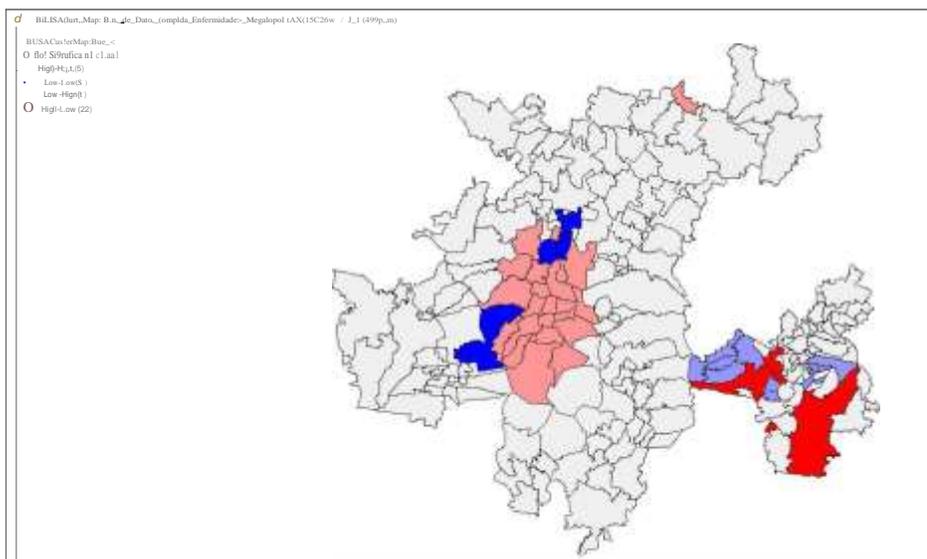
Figura 50. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Porcentaje de población en situación de pobreza en 2010. Variable dependiente: Neoplasias de Boca, Faringe, Labio (CIE: COO-C14).



-Variable explicativa: Porcentaje de población en situación de pobreza para 2010. Variable dependiente: Neoplasias del Sistema Digestivo (CIE: C15-C26).

Una situación muy parecida es la que nos encontramos con los cánceres del sistema digestivo (CIE 15-26). La autocorrelación es de -0.26, con un patrón espacial de clústeres muy similar al caso de las neoplasias orales (Figura 51).

Figura 51. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Porcentaje de población en situación de pobreza en 2010. Variable dependiente: Neoplasias del Sistema Digestivo (CIE: C15-C26).



Un gran clúster Alto-Bajo, nuevamente en el centro de la zona de estudio, abarcando la práctica totalidad de la Ciudad de México y algunos municipios al norte, algunos de tanta importancia demográfica como Ecatepec, Naucalpan o Nezahualcoyótl.

En el este existen tres clústeres de clase Bajo-Alto, situados entre las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco: de oeste a este, Huejotzingo, San Felipe Teotlalcingo, San Martín Texmelucan y San Salvador el Verde; seguidamente Juan C. Bonilla-Tlaltenango y más hacia el este, el conformado por Acuamanala y Teolochohco.

Es igualmente en el levante megalopolitano donde aparecen los únicos tres clústeres Alto-Alto: en el municipio de Puebla, al noroeste de la misma (Huejotzingo y Nativitas) y al oeste (San Gregorio Atzompa).

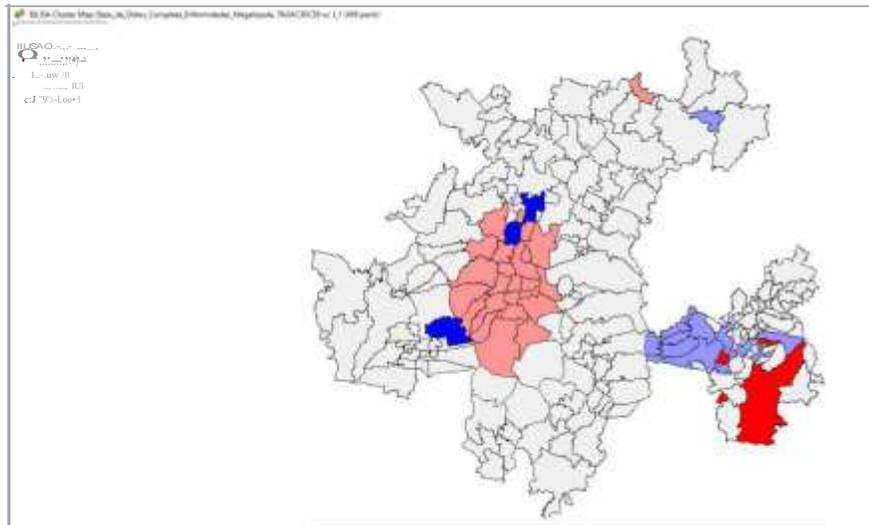
-Variable explicativa: Porcentaje de población en situación de pobreza para 2010. Variable dependiente: Neoplasias de Pulmón, caja torácica (CIE: C30-C39).

Se ha relacionado la incidencia de cánceres pulmonares en diversas formas con hábitos de vida y laborales de los países económicamente avanzados (Piñeros, Sierra y Forman, 2016), para el caso de la Megalópolis se detectó una autocorrelación negativa significativa (-0.29) con el indicador de Pobreza.

Dado que la Ciudad de México y municipios vecinos son las áreas de la megápolis con menores porcentajes de población en situación de pobreza, así como también las tasas de mortalidad por cánceres respiratorios son de las más elevadas, es comprensible la conformación de un clúster Alto-Bajo.

Al este como en los casos anteriores se conformaron clústeres Bajo-Alto (San Salvador el Verde, Teolochohco, Chiautzingo o San Felipe Tleotlalcingo) y cuatro clústeres de tipo Alto-Alto, en particular, el municipio de Puebla.

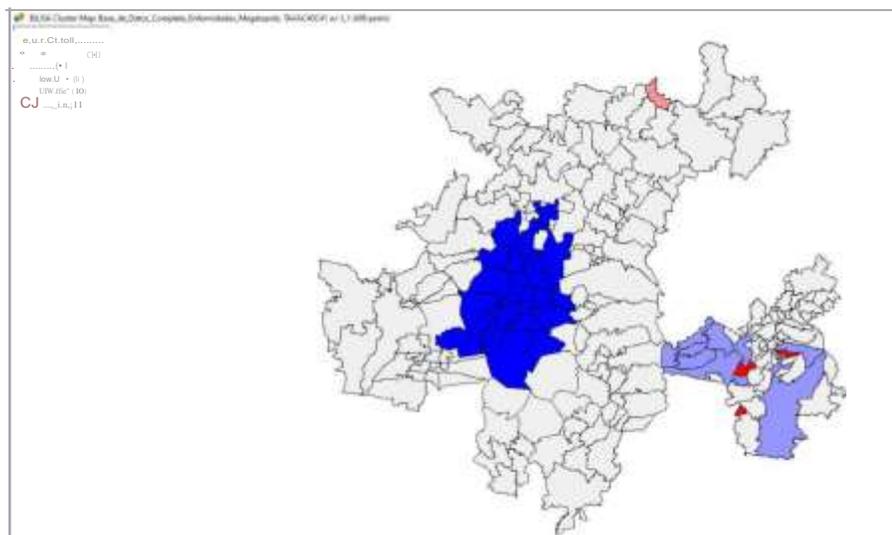
Figura 52. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Porcentaje de población en situación de pobreza en 2010. Variable dependiente: Neoplasias de Pulmón, caja torácica (CIE: C30-C39).



-Variable explicativa: Porcentaje de población en situación de pobreza para 2010. Variable dependiente: Neoplasias de Hueso, cartílago (CIE: C40-C41).

El cáncer óseo y de cartilago constituye una excepción en la megalópolis en su relación con el indicador de pobreza, ya que la autocorrelación bivariada es positiva (0.25). El Figura de clúster (Figura 53) viene dominado por la presencia en la Ciudad de México y zonas aledañas de un clúster Bajo-Bajo, en tanto que en el oriente de la megalópolis dominan dos clústeres de tipo Bajo-Alto.

Figura 53. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Porcentaje de población en situación de pobreza en 2010. Variable dependiente: Neoplasias de Hueso, cartílago (CIE: C40-C41).



-Variable explicativa: Porcentaje de población en situación de pobreza para 2010. Variable dependiente: Neoplasias de mama (CIE: C50).

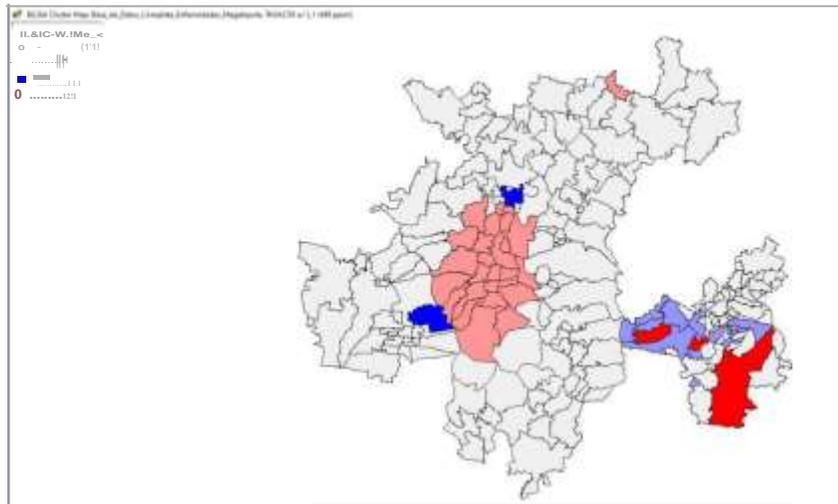
La tasa de mortalidad por cáncer de mama en la megalópolis para el período 2005-2016 fue de 7.43 por cien mil, en tanto que para el conjunto de la república fue de 8.81 por cien mil (INEGI, Mortalidad General, varios años), aunque dentro de la zona de estudio existen profundas diferencias, ya que las tasas oscilan del 1.23 por cien mil de Xalatlaco y el 23.3 por cien mil de la alcaldía Benito Juárez.

Los niveles más elevados se presentan en las alcaldías más norteñas de la Ciudad de México: Benito Juárez, Cuauhtémoc, Azcapotzalco, Coyoacán, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza, Gustavo A. Madero e Iztacalco; fuera de la Ciudad de México, destaca por su alta tasa de mortalidad Tolcayuca (15.94 por cien mil) al sur de Pachuca.

La autocorrelación bivariada fue negativa (-0.355), en el Figura 54 observamos fundamentalmente clústeres de tipo Alto-Bajo y Bajo-Alto, localizados en la Ciudad de México (con excepción de Milpa Alta) y periferia inmediata al norte (Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli, Ecatepec, Huixquilucan, Naucalpan, Nezahualcoyótl, Tlanepantla de Baz y Tutitlán) y en el este de la megalópolis (Acuamanala, Huejotcingo, Jaun C. Bonilla, Nativitas, Papalotla, San Felipe Teotlalcingo, San Martín Texmelucan, San Salvador el Verde, Teolochocho y Zacatelco), respectivamente.

Como en los casos de los cánceres orales, torácicos y digestivos, es destacable el caso de Puebla, con la generación de un clúster de tipo Alto-Alto, es decir, altas tasas de mortalidad por cáncer, en este caso de mama, con altos porcentajes de pobreza en los municipios vecinos.

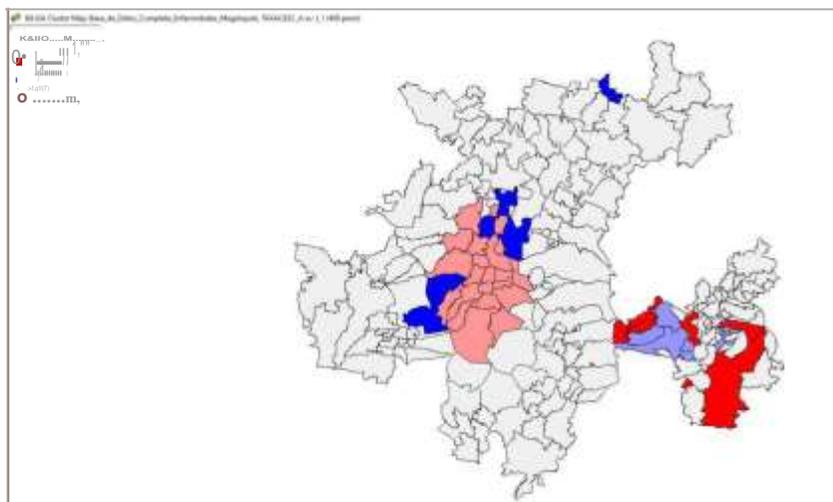
Figura 54. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Porcentaje de población en situación de pobreza en 2010. Variable dependiente: Neoplasias de mama (CIE: C50).



-Variable explicativa: Porcentaje de población en situación de pobreza para 2010. Variable dependiente: Neoplasias de Vías urinarias (CIE: C64-C68).

La autocorrelación bivariada de ambas variables solo fue marginalmente significativa (-0.19). En la Figura 55 se aprecia el patrón de clústeres, uno de tipo Alto-Bajo en la Ciudad de México y municipios vecinos, con algunos pequeños clústeres Bajo-Bajo aislados en la zona norte, y en el este megalopolitano, en las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala apizaco, aglomerados Alto-Alto (con Puebla como centro destacado) y Bajo-Alto (Papalotla, Huejotcingo...).

Figura 55. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Porcentaje de población en situación de pobreza en 2010. Variable dependiente: Neoplasias de Vías urinarias (CIE: C64-C68).



-Variable explicativa: Porcentaje de población en situación de pobreza para 2010. Variable dependiente: Neoplasias Tejido Linfático, órganos homeotopicos (CIE: C81-C96).

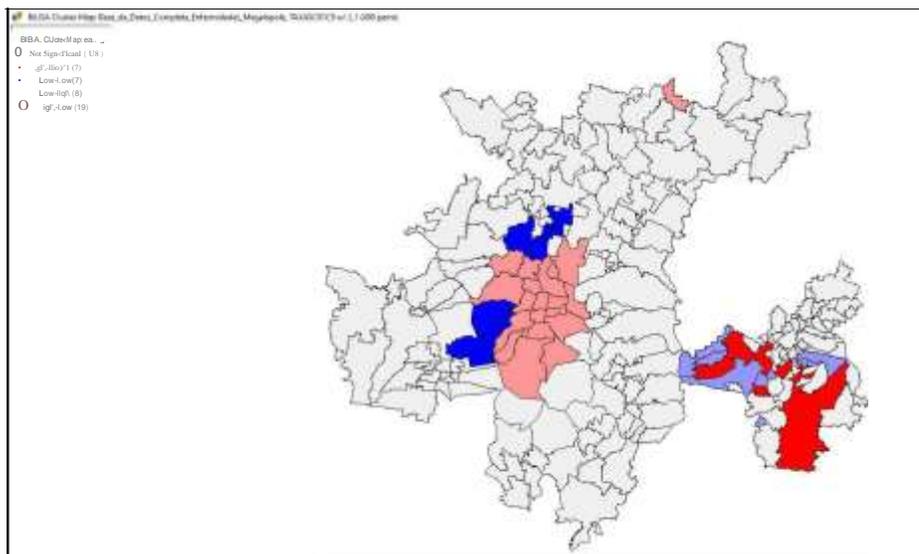
El epígrafe neoplasias de Tejido Linfático y órganos homeotopicos, engloba toda una serie en enfermedades como linfomas varios, mielomas y leucemias diversas.

En este caso la autocorrelación bivariada fue de -0.217, con una serie de clústeres (Figura 56), entre los que destacan el de tipología Alto-Bajo en la Ciudad de México y espacio conurbados al norte y noroeste.

Englobados en la periferias de la capital, al noroeste (Tultepec, Cuautitlán Izcalli, Tutitlán y Nextlalpan) y sureste (Hixquilucan, Cuajimalpa y Ocoyoacac), aparecen algunos pequeños clústeres Bajo-Bajo.

En el este de la zona de estudio, en las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala Apizaco, se parecían clústeres Alto-Alto (con Puebla como centro destacado y al noroeste Nativitas, San Martín Texmelucan y Chiautzingo) y Bajo-Alto ( Huejotcingo, San Salvador el Verde o Teolochohco).

Figura 56. Índice Bivariado Local de Moran. Variable explicativa: Porcentaje de población en situación de pobreza en 2010. Variable dependiente: Neoplasias Tejido Linfático, órganos homeotopicos (CIE: C81-C96).



#### **4.2.5. Propuesta de Zonificación de la Megalópolis del Centro de México según Sustentabilidad.**

Se hizo una propuesta de zonificación de la Megalópolis del Centro de México en razón de los niveles del Índice Sustentabilidad Ambiental Urbana y de cada una de las tres dimensiones del mismo (Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental; desarrollo urbano integral y gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia). El empleo de un índice y de subíndices implicó la integración de variables interrelacionadas que garantizan el grado de individualidad interna requerida para la definición de las zonas de atención prioritaria. El criterio de delimitación de las áreas de atención prioritaria se basó en los niveles de sustentabilidad, en particular aquellos municipios con Muy Baja y Baja sustentabilidad.

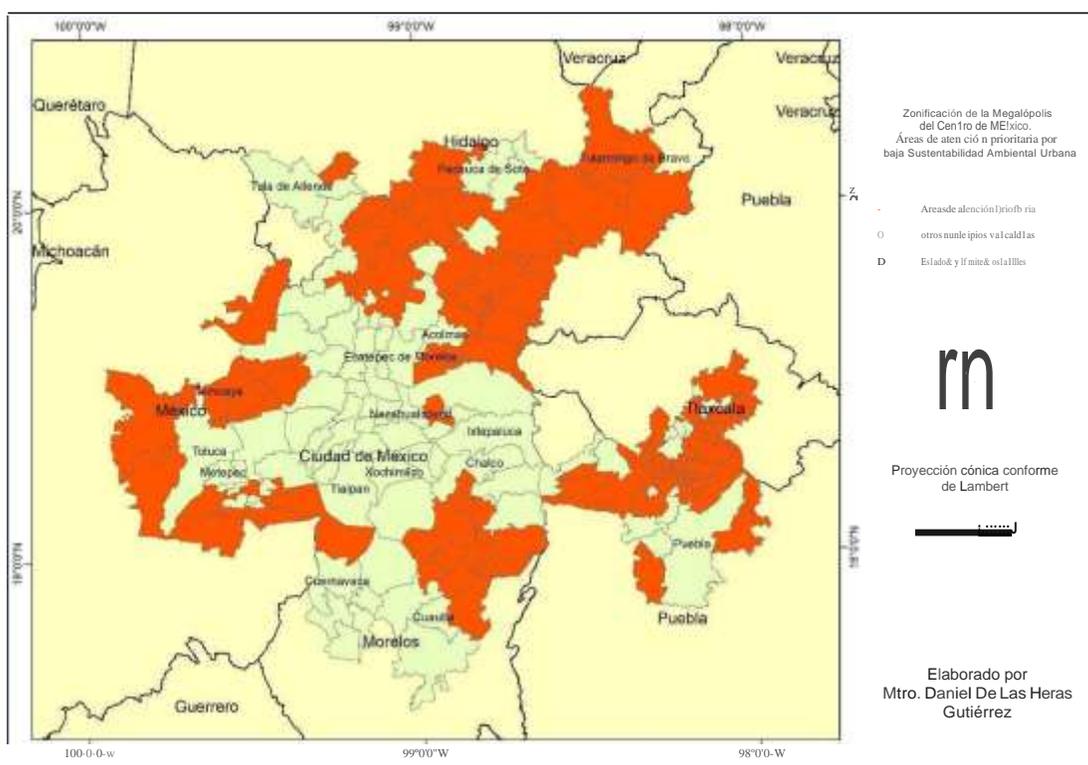
##### **A. Zonificación de la Megalópolis del Centro de México según niveles del ISAU.**

Considerando la sustentabilidad ambiental urbana de forma global (ISAU) hay que destacar que la mayor parte de la Megalópolis son áreas de atención prioritaria, si bien no en el volumen demográfico, sí lo son en superficie y número de unidades espaciales: 108 municipios y 9,674.41 km<sup>2</sup>, es decir, el 57.14% y 51.35% respectivamente. Extensas áreas no conurbadas y de los municipios exteriores de las diferentes zonas metropolitanas (Figura 57) constituyen el grueso de las áreas con baja sustentabilidad ambiental, sobre todo al noreste y norte de la Ciudad de México, hacia las zonas metropolitanas de Pachuca, Tula y Tulancingo, los municipios en las periferias de las zonas metropolitanas de Toluca y Santiago Tianguistengo, y en gran número de municipios de las zonas metropolitanas de Cuautla y Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco.

En estas áreas, los valores de los Subíndices de sustentabilidad de cada dimensión son los siguientes: En la dimensión de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental es de 31.3, en tanto que el valor promedio de la zona de estudio es de 43.2, en la dimensión de desarrollo urbano integral el promedio de las áreas de atención prioritaria arrojó la cifra de 24.69 mientras que el promedio global fue de 35.64. Finalmente, en cuanto a la dimensión de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia los valores fueron de 55.01 y 62.69 respectivamente.

Es decir, en las áreas de atención prioritaria en cuestión de sustentabilidad ambiental urbana, las actuaciones más perentorias debieran tener en base a indicadores de las dimensiones I y II de la sustentabilidad, en los siguientes apartados se profundizará sobre que indicadores hacer hincapié para posibles medidas correctivas.

Figura 57. Zonificación de la Megalópolis del Centro de México. Áreas de atención prioritaria por baja sustentabilidad ambiental urbana.



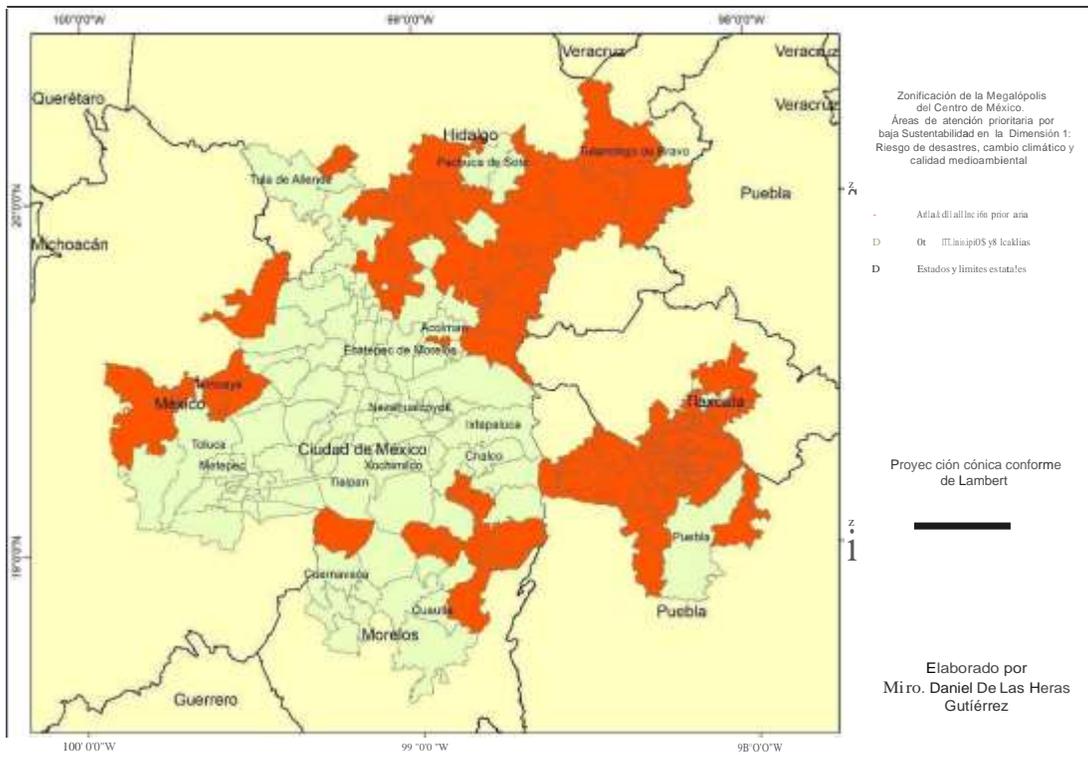
B. Zonificación de la Megalópolis del Centro de México por niveles de sustentabilidad de la dimensión de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental.

En sustentabilidad de la dimensión de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental 95 municipios se constituyen como áreas de atención prioritaria con unos 8,290.5 km<sup>2</sup> de la superficie de la megalópolis. Esta dimensión de la sustentabilidad, como se ha explicado con anterioridad, incluye los siguientes aspectos: Gestión del medio ambiente y

consumo de recursos naturales, mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes y reducción de la vulnerabilidad ante amenazas naturales.

En el Figura 58 observamos los municipios que conforman las áreas de atención prioritarias, siguen el patrón espacial que presentan las áreas de atención prioritarias en base al ISAU, aunque de forma menos extensa en tomo a las zonas metropolitanas de Toluca, Santiago Tianguistengo y Cuatla. En esta dimensión, los rezagos más significativos y por ende, intervenciones más necesarias serian en Calidad de las Aguas (Concentración de contaminantes en el Agua) ya que el promedio fue de 166.79 (124.33 en el total de la megalópolis) y Cobertura de Saneamiento (90.98% frente al promedio megalopolitano de 93.88) en lo que respecta a las temáticas de agua y saneamiento, en cambio con las temáticas de gestión de los residuos sólidos, la situación más grave es la del tratamiento de residuos sólidos, ya que 93 de los 95 carecen de tal servicio. Entre las temáticas de calidad del aire y de mitigación del cambio climático, únicamente 4 de los 95 municipios cuentan con planes y objetivos de mitigación.

Figura 58. Zonificación de la Megalópolis del Centro de México. Áreas de atención prioritaria por baja sustentabilidad en la dimensión I: Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental.



### C. Zonificación de la Megalópolis del Centro de México por niveles de sustentabilidad de la dimensión de desarrollo urbano integral.

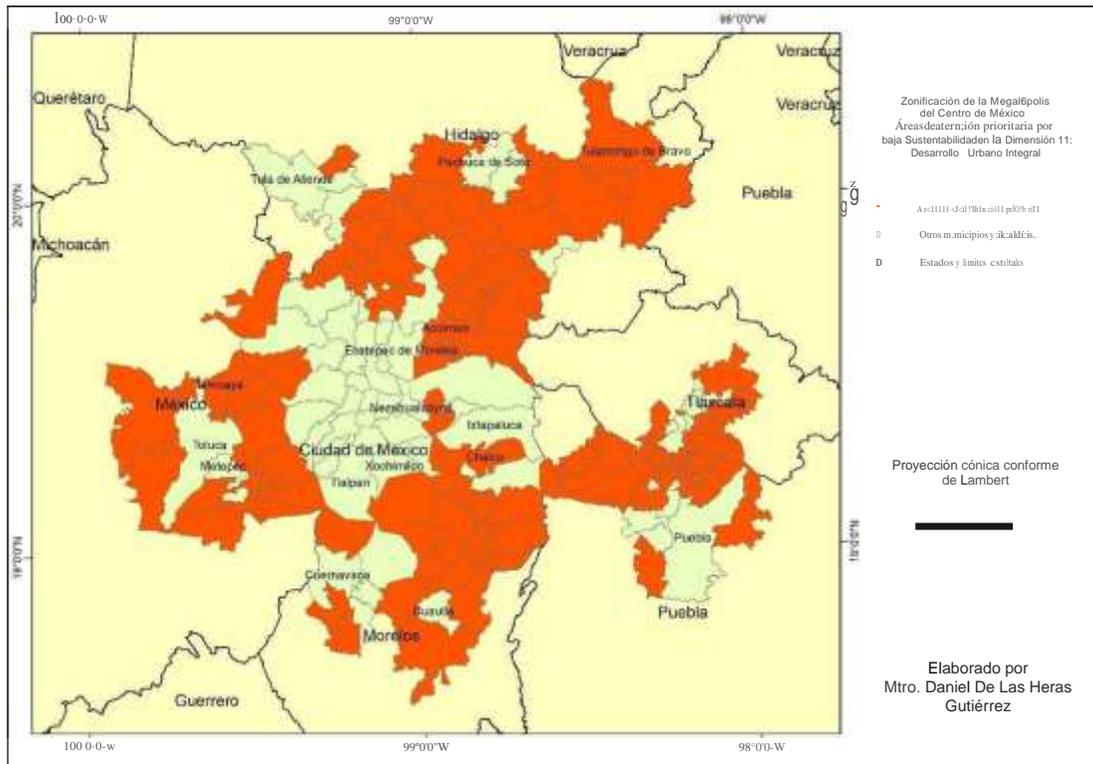
En lo tocante a la dimensión de sustentabilidad del desarrollo urbano integral, la situación en la Megalópolis del Centro de México es preocupante, ya que la mayor parte de sus municipios (128 sobre un total de 189) y superficie (12,091.97 km<sup>2</sup>) constituyen áreas de atención prioritaria, más en concreto, exceptuando las áreas conurbadas y centrales metropolitanas (alcaldías de la Ciudad de México, Toluca-Metepec, Tula de Allende, Pachuca de Soto, Cuemavaca, Cuatla, Puebla y Tlaxcala) la mayor parte de la megalópolis se halla en situación de vulnerabilidad en lo que respecta a la sustentabilidad de desarrollo urbano integral (Figura 59).

Si bien ya se ha mencionado en este trabajo con anterioridad la dualidad interna megalopolitana entre aquellas áreas conurbadas y las que no lo son, en la Figura 3 queda nuevamente de manifiesto la posición rezagada de estas últimas áreas, concretamente, en las temáticas de uso del suelo y ordenamiento del territorio, las carencias más significativas se dan en la disponibilidad de áreas verdes y de recreación: 1.3 m<sup>2</sup>por habitante, en tanto que la media megalopolitana alcanza los 2.24 m<sup>2</sup>por habitante.

En la temática de desigualdad urbana, el aspecto más negativo se da en lo tocante a la población en situación de pobreza (58.75% de la población en promedio y la media megalopolitana es de 51.07%). Otro aspecto necesario de medidas correctivas es el elevado porcentaje de población con empleo informal (69.5% frente a 60.8%), en temática de conectividad estas áreas se hayan rezagadas tanto en acceso a internet (10.3% y 16.4% de promedio de la megalópolis) como a telefonía (31.9% y 39.8% respectivamente).

En educación y sanidad los rezagos más significativos son en porcentaje de población adulta con educación superior y porcentaje de población derechohabiente a servicios de salud: 29.96% y promedio general de 35,84% en el primer caso y 53.6% y 56.44% en el segundo caso.

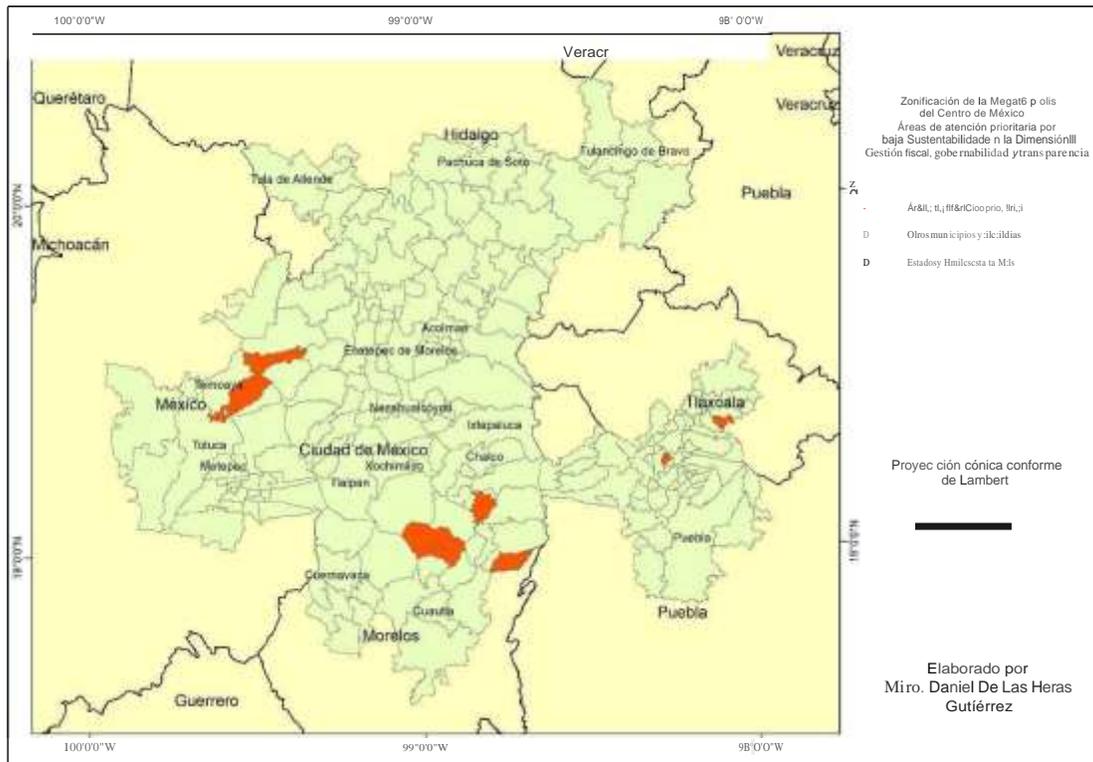
Figura 59. Zonificación de la Megalópolis del Centro de México. Áreas de atención prioritaria por baja sustentabilidad de desarrollo urbano integral.



D. Zonificación de la Megalópolis del Centro de México por niveles de sustentabilidad de la dimensión de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia.

Esta dimensión de la sustentabilidad evalúa los mecanismos adecuados de gobierno, la gestión adecuada de los ingresos, gastos y deuda pública. Únicamente se pudo elaborar tres indicadores (Ingresos e impuestos municipales, Calidad del gasto público y Sustentabilidad de la deuda municipal). Únicamente 8 de los municipios de la zona de estudio conforman áreas de atención prioritaria por esta dimensión de sustentabilidad, en concreto son Ayapango, Cuaxomulco, Ecatzingo, Isidro Fabela, Oztolotepec, San Jerónimo Zacualpan, Tlanepantla y Totolapan (Figura 60).

Figura 60. Zonificación de la Megalópolis del Centro de México. Áreas de atención prioritaria por baja sustentabilidad en la dimensión III: gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia



Estas áreas de atención prioritaria principalmente necesitan una mejora de su autonomía financiera, en concreto incrementar la proporción del gasto público que los municipios cubran con ingresos propios, es decir, sería necesario aumentar sus capacidades de explotación de fuentes de ingreso propias y reducir su dependencia financiera ante otros niveles de gobierno. (Barcelata Chávez, 2015)

#### 4.4. Discusión General

Existe en la actualidad un cierto bagaje de investigaciones y trabajos con aportaciones en la creación de indicadores, sistemas de indicadores e índices empleados en la medición y cuantificación de la sustentabilidad ambiental en espacios urbanos (IMCO, 2014; Torre, 2009; Torres, Adame y Campos, 2014). Como se mencionó en el apartado de antecedentes, son trabajos de investigación desde ópticas alejadas a la geografía y el análisis espacial (Andrade Medina y Bermúdez Cárdenas, 2010).

En este trabajo, aplicado en un país Latinoamericano como es México, se siguió orientativamente para la elaboración de indicadores la propuesta ICES del BID, desarrollada entre 2012 y 2016. De los 65 indicadores propuestos se pudieron construir 35 por cuestión de existencia de datos, no obstante, los indicadores creados permitieron de forma adecuada abarcar las tres dimensiones de la sustentabilidad ambiental urbana y de la gran mayoría de las temáticas, con excepción de las temáticas de *gestión pública participativa*, *gestión pública moderna* y *transparencia*, todas ellas pertenecientes a la dimensión de Sustentabilidad fiscal y gobernabilidad. La propuesta aplicada aquí a la Megalópolis del Centro de México es susceptible de ser reproducida en cualquier área metropolitana mexicana o municipio de carácter urbano.

Es de interés comentar que propuestas como la de ICES de indicadores, a pesar de su intención de aplicación internacional no tiene en cuenta las posibilidades existentes en cada país, de modo que solo una parte de los indicadores propuestos pudieron ser elaborados ante la inexistencia de datos, algunos de los propuestos, sobre todo en las temáticas de Movilidad y Transporte y Competitividad de la economía son de difícil o subjetiva elaboración para el caso de México, (Hernández et al, 2017)

En comparación con otras investigaciones, como el Índice de ciudades competitivas y sustentables (BANAMEX, BANOBRAS, INFONAVIT, 2014), en este trabajo se rehusó a incluir indicadores de tipo subjetivo, en el mencionado índice de ciudades competitivas y sustentables elaborado para urbes mexicanas, a pesar de afirmarse de que el referido índice pudo ser calculado gracias a mejores fuentes de información y a nuevas tecnologías que permitieron el uso de fuentes no convencionales, en ningún momento se presenta adecuadamente la metodología de elaboración de subíndices de carácter tan subjetivos como sistema de derecho confiable y objetivo; sociedad preparada, incluyente y sana; sistema político estable y funcional o gobiernos eficientes y eficaces. Se rechazó el empleo de indicadores subjetivos ya que estos presentan un cierto carácter inestable (ya que percepciones y opiniones personales se originan más en consideraciones personales que en fenómenos concretos comprobables) y a que se dificulta la comparación entre diferentes casos de estudio dadas las diferentes conceptualizaciones que producen diferentes colectivos en relación a la percepción de una misma situación, como por ejemplo, con respecto a la inseguridad (Tonon, 2010; Veenhoven, 2000).

La posibilidad de realizar el análisis espacial a un nivel de desagregación inferior al municipio y alcaldía se ve imposibilitado por la ausencia de variables con los que calcular indicadores de las dimensiones de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia (no existen variables de ningún tipo a nivel de ageb o sección electoral con los que elaborar indicador alguno) y gran número de la dimensión de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental (únicamente sería posible calcular tres indicadores de esta dimensión: cobertura de agua; cobertura de alcantarillado y cobertura energética), todo a pesar de la idoneidad de la escala de ageb y sección electoral para el análisis espacial a escala urbana.

El espacio geográfico y análisis espacial son conceptos básicos en este trabajo de investigación acerca de la sustentabilidad ambiental urbana. La perspectiva espacial del análisis y el espacio geográfico en concreto, la Megalópolis del Centro de México, así como la creación del ISAU (un índice resumen que da cabida al fenómeno de la sustentabilidad ambiental urbana de forma integral), son los tres aspectos que diferencian este trabajo de investigación de otros similares.

Los resultados obtenidos en esta investigación son novedosos por lo expuesto más arriba, manteniendo en sus fundamentos coherencia con los de otros trabajos de elaboración de índices de sustentabilidad (aunque en muchos casos su nomenclatura no sea tan evidente) en espacios urbanos y aplicación de técnicas espacial, si bien la escala megalopolitana de la zona de estudio implica una complejidad mayor y unas consideraciones diferentes que en tales estudios previos, aplicados a ciudades de tamaño medio o zonas metropolitanas.

El ICES fue un fundamento de gran utilidad como guía para la creación de indicadores de sustentabilidad ambiental urbana de forma que el ISAU tuviese multidimensionalidad, también este trabajo demuestra la factibilidad de elaborar un índice de sustentabilidad ambiental urbana con las fuentes abiertas que existen en México, además, con la metodología presentada en el trabajo, el índice es susceptible de ser replicado y aplicado en cualquier área metropolitana mexicana.

El análisis espacial facilitó la generación de cartografía de la Megalópolis del Centro de México con representación de sus niveles de ISAU y por cada uno de los tres subíndices, esto fue un elemento clave para la zonificación de la zona de estudio según su riesgo en sustentabilidad, delimitándose aquellas zonas necesitadas de posibles medidas correctivas.

En la Megalópolis del Centro de México existe una significativa autocorrelación espacial de niveles de sustentabilidad ambiental urbana, o lo que es lo mismo, presencia de agrupamientos de unidades espaciales (municipios y alcaldías) de valores altos y bajos de sustentabilidad. La

característica más significativa es la existencia de una dualidad centro-periferia en las diferentes zonas metropolitanas de la megalópolis, ya que los niveles de sustentabilidad ambiental urbana son más elevados en los municipios centrales metropolitanos (incluyendo las capitales y municipios contiguos de carácter conurbado) que en los municipios exteriores periféricos (con algunas excepciones en Puebla y Tlaxcala - Apizaco). Dentro de los municipios y alcaldías con niveles de sustentabilidad ambiental urbana más elevados, es de destacar la diferencia existente entre aquellas pertenecientes a la Ciudad de México y los restantes municipios centrales de las demás zonas metropolitanas.

La desigualdad de niveles de sustentabilidad viene respaldada con el análisis de clúster, los clústeres de valores altos de sustentabilidad están localizados en los municipios y alcaldías centrales metropolitanas, mientras que los clústeres de bajos niveles, aparecen fundamentalmente en municipios exteriores periféricos. Paradójicamente son aquellas zonas de la megalópolis con un carácter urbano menos marcado las que presentan una sustentabilidad más baja.

Las periferias metropolitanas de la megalópolis como áreas con baja sustentabilidad ambiental urbana es una constante que se repite en cada uno de los subíndices por separado, aunque con mayor evidencia en los subíndices de desarrollo urbano integral y de gestión fiscal.

Entre los escasos trabajos de análisis espacial de sustentabilidad urbana, cabe destacar los trabajos sobre Mar del Plata en Argentina, Saskatoon en Canadá y Cincinnati en EEUU, (Zulaica y Celemín, 2008; Shen y Guo, 2014; Okumu y Edelman, 2015). Si bien se trata de ciudades de menor tamaño y población que la megalópolis de México (564.056, 246.376 y 296.945 habitantes respectivamente), en todos estos trabajos se realizó análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE) como autocorrelación espacial y de clúster y apuntaron oportunamente lo idóneo de investigar los patrones espaciales de la sustentabilidad dentro del tejido urbano. En estos estudios se detectó la tendencia de decrecimiento de los niveles de sustentabilidad ambiental de los centros urbanos a las periferias -si bien al tratarse de ciudades de países muy diferentes, la terminología varía, como radios censales en Argentina y Anillos en el caso de Cincinnati-. Como en el caso de la megalópolis la dicotomía es la mencionada de centro-periferia, siendo aquellas áreas suburbanas las que presentan menor sustentabilidad.

Existen dos trabajos de gran interés aplicados con la metodología ICES de diagnóstico aplicados en las áreas metropolitanas de Montevideo (Uruguay) y Cochabamba (Bolivia). Son

áreas urbanas situadas en la franja entre 1 millón y 2 millones de habitantes y que presentan una estructura urbana compleja. El problema se haya en el tipo de análisis propuesto, se elaboraron indicadores siguiendo la citada metodología, pero sin una integración en índice, de modo que los resultados se presentan de forma disgregada, con cartografía, pero sin verdadera aplicación de análisis espacial. No obstante, los diferentes indicadores, sobre todo los de las dimensiones 2 y 3, muestran un evidente carácter centro-periferias en sus niveles (Alarcón et al, 2013; Terraza et al, 2012).

Hay que tener presente que en la Megalópolis del Centro de México, a diferencia de las ciudades y áreas metropolitanas tratadas en los trabajos arriba comentados, existe una mayor complejidad en la distribución de los niveles de sustentabilidad, en parte se explica por su estructura polinuclear jerárquica y por su gran extensión (cerca de 19 mil kilómetros cuadrados)

En el Subíndice de sustentabilidad en riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental, como se pudo comprobar en el apartado de resultados, y como en el caso del ISAU y de los otros dos subíndices, se demostró la existencia de autocorrelación espacial, se demarcaron varios clústeres significativos y se descubrió la estructura espacial de los niveles de sustentabilidad (centro-periferias metropolitanas y decrecimiento sur-sudoeste hacia el norte, noreste y este).

La estructura general de la sustentabilidad ambiental urbana de municipios/alcaldías centrales por una parte, con niveles elevados de sustentabilidad y externos por otra, con niveles bajos, aparece ligeramente difuminada en este subíndice, si bien, son nuevamente los centros metropolitanos las áreas más favorecidas. Además, los niveles de sustentabilidad son bajos y muy bajos en el norte y este de la megalópolis (en el este con la excepción de Puebla). Paradójicamente en el oeste (Z.M. de Toluca), a pesar del peso de su sector industrial, los niveles no son tan bajos (con alguna excepción como Almoloya de Juárez) Así mismo, en la mayor parte de los centros metropolitanos la sustentabilidad es más elevada (con la excepción en el norte de Tulancingo de Bravo y Tula de Allende, zonas muy afectadas por la contaminación a cargo de la industria del cemento, minería y vertederos controlados e incontrolados).

El factor que determina esta distribución, es el carácter dual del subíndice, entre indicadores de dotación de servicios e infraestructura e indicadores ambientales. La alta sustentabilidad de los municipios centrales viene determinada por los primeros, que son 11 de los 15 indicadores del subíndice (infraestructura de aguas, drenaje, energía o servicio de recogida de residuos

sólidos urbanos o dotacionales -instalaciones de medición o posesión de planes de acción administrativos), son indicadores generalmente vinculados a una urbanización más consolidada. En cambio, los indicadores ambientales (contaminación del aire, de las aguas y la presencia de riesgos, como son las inundaciones) vienen a explicar la situación particular del norte de la megalópolis, cuyos niveles de sustentabilidad se resienten por su grave situación ambiental (contaminación del aire, sobre todo).

Los trabajos mencionados que siguen la metodología ICES del BID (Alarcón et al, 2013; Terraza et al, 2012) aportan una perspectiva espacial de los indicadores (de forma aislada y no integrada) de la dimensión riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental. Los dos trabajos mencionados son diagnósticos de las áreas metropolitanas de Cochabamba en Bolivia (1,493,091 habitantes) y Montevideo en Uruguay (1,947,604 habitantes), y nuevamente nos encontramos una situación claramente diferenciada entre los centros metropolitanos y municipios y áreas de las periferias (con las evidentes características peculiares para cada caso de estudio), tanto en dotación de agua, drenaje, recogida de residuos sólidos urbanos y suministro energético, como en niveles de contaminación del aire y de las aguas. Las causas aducidas son el crecimiento urbano incontrolado, sin adecuada planificación, que han generado en ambas metrópolis periferias con densidades demográficas y constructivas bajas y de tipología dispersa, no plenamente consolidadas, estas zonas, en fin, presentan gran precariedad e informalidad y carencias en infraestructura y servicios. Todo ello es de aplicación para cada una de las zonas metropolitanas de la Megalópolis en sus diferentes periferias y espacios intermetropolitanos.

El patrón de distribución espacial de la sustentabilidad del desarrollo urbano integral en la Megalópolis del Centro de México indica las diferencias existentes entre los municipios y alcaldías de carácter urbano más consolidado y el resto, esta realidad refleja el carácter de la dimensión de la sustentabilidad ambiental urbana que mide el subíndice de desarrollo urbano integral, dimensión cuyo fundamento es son las características de vivienda, infraestructura, servicios, equipamiento, comercio, educación, salud y esparcimiento, así como los niveles de marginación, segregación y pobreza existentes.

Igualmente destaca la posición privilegiada en niveles de sustentabilidad de las alcaldías de la Ciudad de México, muy superiores al resto de municipios de la Megalópolis del Centro de México, únicamente algunos municipios de las zonas metropolitanas de Cuernavaca y Toluca alcanzan niveles próximos. Las zonas de la Megalópolis del Centro de México con niveles más

bajos de sustentabilidad del desarrollo urbano integral se sitúan fundamentalmente al noreste de la Ciudad de México y zonas metropolitanas de Pachuca y Tulancingo, sureste de la Ciudad de México, amplias extensiones de las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco y periferias de las zonas metropolitanas de Toluca y Santiago Tianguistengo.

El análisis de clústeres proporcionan una visión más clara de estas tendencias y nos aportan un respaldo geoestadístico de esta desigualdad centro-periferias. Los clústeres de valores altos de sustentabilidad están localizados en las áreas centrales metropolitanas, en tanto que los clústeres de bajos niveles, se hallan en los municipios exteriores periféricos.

Si analizamos los resultado de los trabajos inspirados por la ICES para Montevideo y Cochabamba (Alarcón et al, 2013; Terraza et al, 2012) comprobamos que la distribución de los niveles de sustentabilidad del desarrollo urbano integral para cada metrópolis en la Megalópolis son similares a las de las metrópolis boliviana y uruguaya, los niveles de los diferentes indicadores alcanzan sus valores más elevados en los municipios capital, decreciendo a municipios periféricos, este fenómeno se repite incluso dentro de cada municipio (en el caso de Montevideo con las zonas de Casavalle y Pantanoso).

Por otra parte, en referencia a los altos niveles de sustentabilidad de desarrollo urbano de la Ciudad de México detectados en la investigación, no son sorprendentes ya que hay que destacar que la Ciudad de México (antes Distrito Federal) posee una infraestructura urbana no alcanzada por otras urbes del Sistema Urbano Nacional. La inversión Pública Federal entre 1959 y 1998 realizada en la Zona Metropolitana del Valle de México fue el 93% en promedio de toda la asignada al país (Sobrino, 2000). Los niveles mediocres de sustentabilidad de los municipios capitalinos de las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala-Apizaco y Toluca (la segunda y tercera zona metropolitana por volumen demográfico de la Megalópolis respectivamente) tienen su correspondencia con el hecho de que ambas zonas metropolitanas en 2010 eran las que presentaban unos porcentajes de marginación más elevados de toda la nación (CONAPO, 2012).

Finalmente, analizando desde un punto de vista espacial los resultados obtenidos con el Subíndice de sustentabilidad de gestión fiscal, gobernabilidad y transparencia, encontramos que la Ciudad de México alcanza una preeminencia todavía más marcada que en las otras dimensiones, preeminencia entendida en este caso como una situación comparativa mucho mejor en cuestión de sustentabilidad con respecto al resto de la Megalópolis. El caso especial de las alcaldías de la Ciudad de México viene determinado por su peculiaridad institucional hasta

época reciente al tratarse de delegaciones de un ente único en la república mexicana, el Distrito Federal, hasta 2018, y aun después de tal fecha, ya como municipios, en el apartado de sus atribuciones exclusivas se menciona que las alcaldías podrán aplicar sanciones excepto las de carácter fiscal y esto se suma el hecho de que la autonomía en su hacienda recae simplemente en la administración de los recursos materiales y los bienes inmuebles que les designe el gobierno central y no en el presupuesto monetario que les asigne el gobierno. En otras palabras, las alcaldías no disponen de una recaudación de impuestos realmente propia y por lo tanto su administración hacendaria sigue siendo dependiente y centralizada ya que se ve limitada a elaborar un proyecto de egresos pero el que tendrá la última palabra en la asignación de recursos será el Gobierno de la Ciudad de México (Guzmán, 2018).

Por otra parte, la deuda pública del antiguo Distrito Federal tenía una peculiaridad jurídica ya que era el Gobierno Federal, no la entidad, quien contrataba la deuda.

Es decir, nos encontramos con un espacio dentro de la Megalópolis que por lo menos hasta 2018, y aun después de esa fecha, mantiene una excepcionalidad, sobre todo en aspectos fiscales y financieros.

Las causas de esta distribución espacial diferenciada de los niveles de sustentabilidad hay que buscarlas en el particular origen y evolución espacial y demográfica de la megalópolis, sobre todo en sus dinámicas dominantes desde los 1980, de crecimiento urbano extensivo con amplias zonas periurbanas con procesos de suburbanización difusa a saltos. Este proceso espacial de urbanización ha progresado junto al cambio socioeconómico experimentado por México desde la década de 1980, con la implatación firme de las políticas neoliberales, que con su proceso anexo de liberalización del suelo (ejidal) y desindustrialización de la metrópolis de México y paralela terciarización de la economía han traído consigo tal modelo de crecimiento urbano difuso y de escasa densidad (Cruz, 2000).

Esta urbanización extensiva, periurbana, difusa, a veces inconexa, no conurbada y con pervivencias de poblamientos rurales y heterogeneidad de usos del suelo, lleva consigo una variedad de costes sociales, económicos y ambientales. Las diferentes periferias metropolitanas de la megalópolis se distinguen por configurarse como espacios de exclusión social, de poblaciones jóvenes, de poblaciones en transición entre el mundo urbano y el mundo rural, además, son estos municipios periféricos, en donde el fenómeno de la marginación urbana

socioespacial es mayor, los que en términos generales tienen un crecimiento demográfico más fuerte<sup>8</sup>(CMM, 2013).

El crecimiento urbano, cada vez más alejado de los centros metropolitanos ("nuevas periferias" generadas desde 1980), es a costa, cada vez más, de áreas agrícolas y de reserva natural (bosques, lagunas, humedales), todo ello a pesar de que la preservación de estos espacios constituye un elemento indispensable en el mantenimiento de un medio ambiente sano, saludable y sustentable.

La extensión de redes troncales de vialidades, transporte, comunicaciones, agua potable, electricidad, teléfono, servicios públicos, administrativos, sanitarios o educativos, a esas periferias dispersas y de baja densidad, así como su mantenimiento, tienen un elevado coste, muy superior al que sería necesario para un poblamiento vertical densificado capaz de acoger a una población similar (Pradilla, 2015).

Estas zonas, con bajos niveles de ISAU, implican un alargamiento innecesario en distancias, tiempo, complejidad y coste de desplazamientos laborales necesarios para la reproducción social de sus habitantes: abastecimiento del consumo, comercio, educación, recreo y diversión, etc. y llevan implícito un gran volumen de desplazamientos, con importantes repercusiones ambientales en la calidad del aire.

Las nuevas inversiones en estos espacios, en infraestructuras, tienen un alto coste, resultando en general deficitarias cualitativa y cuantitativamente, con una mediocre oferta comercial y de servicios públicos y privados. En estas zonas, sus pobladores se enfrentan durante largos periodos a la carencia de elementos fundamentales como espacios culturales, deportivos o recreativos.

El análisis bivariado ofrece la posibilidad de profundizar en la relación existente entre la sustentabilidad ambiental urbana, y sus subíndices e indicadores, con fenómenos como la pobreza, el IDH y la mortalidad por ciertos tipos de enfermedad, lo cual es un aspecto novedoso en gran medida.

---

<sup>8</sup> Se calculó en este trabajo de investigación el crecimiento demográfico municipal en la Megalópolis en el periodo 2000-2010, comprobándose que los municipios y alcaldías centrales presentaron un crecimiento más bajo que los municipios periféricos e incluso un declive demográfico en algunas alcaldías de la Ciudad de México (Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Iztacalco, Venustiano Carranza). Así mismo, los 41 municipios con una tasa de crecimiento superior a 25% en el periodo 2000-2010, tuvieron un promedio de ISAU para esa última fecha de únicamente 41.8, y 21 de ellos el ISAU fue inferior a 40.

El análisis bivariado local de Moran se ha empleado en trabajos de investigación como parte del análisis espacial (Gordziejczuk y Lucero, 2019; Leveau y Úbeda, 2012), esta técnica nos indica el grado de asociación lineal (positiva o negativa) entre el valor de una variable en una unidad espacial (municipio/alcaldía) y la media de otra variable en emplazamientos vecinos (municipios/alcaldías) (retardo espacial), además, en la cartografía nos indica la generación de clústeres. En el presente trabajo de investigación se obtuvieron resultados significativos de la aplicación del análisis bivariado, con el ISAU, subíndices y ciertos indicadores, tanto como variables tanto dependientes como explicativas

La sustentabilidad ambiental urbana es un fenómeno multidimensional cuyos niveles dentro de la Megalópolis del Centro de México presentan una gran heterogeneidad. Tales niveles tienen una distribución espacial con una tendencia de decrecimiento de los municipios y alcaldías centrales, de las diferentes capitales metropolitanas, hacia las periferias, de municipios conurbados, consolidados urbanísticamente, a municipios que ocupan espacialmente una situación intersticial entre los grandes centros metropolitanos.

Las unidades espaciales con menores niveles de sustentabilidad ambiental urbana (de cada una de las dimensiones) tienen una menor superficie de AGEB de tipo urbano y por lo tanto de porcentaje de población puramente urbana. Mediante el análisis bivariado local se buscó averiguar si existe una relación de dependencia de los valores del ISAU (y subíndices) con el fenómeno del grado de urbanización, detectándose una relación significativa positiva: a mayor porcentaje de población en AGEB de tipo urbano, mayor nivel de ISAU y de cada uno de los subíndices. Con la salvedad del subíndice de sustentabilidad en Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental, con el que la relación no fue significativa, esto se debe a que esta dimensión cuenta con un cierto número de indicadores de tipo puramente ambiental (tres, dos de contaminación del aire y un tercero de contaminación de las aguas superficiales).

Esta relación se produjo fundamentalmente en las alcaldías y municipios del aglomerado conurbado de la Ciudad de México y para Puebla, y de forma menos evidente para Toluca y Pachuca, en donde los altos niveles de ISAU y se hallan rodeados de altos niveles de población urbana, y en contrapartida, en el NE megalopolitano, una amplia zona de municipios con bajos niveles de ISAU rodeados de bajos niveles de población urbana.

Así mismo se estudió la relación espacial existente entre los niveles de ISAU y de cada una de sus dimensiones, es decir, subíndices, con una serie de variables dependientes, en particular

con la incidencia de ciertos tipos de enfermedades, en particular neoplásicas, siguiendo orientaciones de la OMS y de la literatura especializada.

Si bien en México la mortalidad por diabetes es considerada como una de las amenazas más graves para la salud de la población (Escobedo-de la Peña et al, 2011; Hernández-Ávila et al, 2013; Secretaría de Salud, 2001), no es menos cierto que las muertes por neoplasias malignas se han posicionado como un problema de salud pública significativo en México, en el año 2018 (INEGI, 2018) fallecieron en el país 722,611 personas, posicionándose el cáncer como tercera causa de muerte (85,754 fallecimientos), solo por detrás de enfermedades del corazón (149,368) y de la diabetes mellitus (101,257).

La relación positiva significativa entre las tasas de mortalidad por neoplasias y los niveles de ISAU y subíndices puede parecer contradictorio con respecto a los informes de la OMS. Se observó en el trabajo que hay una relación positiva entre niveles de contaminación del aire en superficie y las tasas de mortalidad por neoplasias, pero hay que tener presente que los subíndices e ISAU miden la sustentabilidad de forma multidimensional. Así pues los resultados deben de considerarse desde la perspectiva del desarrollo social, cultural, urbano, institucional y económico de la megalópolis.

Se encontró que el ISAU presenta una relación significativa con el IDH de la zona de estudio, lo cual era de esperar, dado que el ISAU tiene dimensiones ambiental, socio-económica y financiera. Esto tiene importancia en el aspecto de comprender que la relación con las tasas de mortalidad por enfermedades neoplásicas fue significativa y positiva, para el conjunto de este tipo de enfermedades, y para la mayoría de las tipologías de cáncer por separado. Esto se debe, como se explicó más arriba, a que este tipo de enfermedades, salvo algunas excepciones, se asocian a sociedades desarrolladas, con ciertos hábitos de vida y una estructura demográfica por edades envejecida, lo cual viene asociado en nuestro caso a mayores niveles de ISAU. Existe también la posibilidad de que en aquellas áreas más rezagadas (y en este caso, con unos niveles de ISAU generalmente más bajos) se den situaciones de subregistro sanitario en las defunciones, como se pudo intuir del cálculo de la mortalidad por enfermedades infecto-parasitarias, consideradas por la literatura especializada como vinculadas y asociadas a pobreza y rezago, y que en este caso se dieron mayores tasas en zonas con alto ISAU, alto IDH y baja pobreza.

La literatura ha constatado la mayor incidencia de mortalidad por cáncer en poblaciones envejecidas y de gran desarrollo socioeconómico (con algunas excepciones como el cáncer de

cérvix), en fases avanzadas de la transición demográfica (Barrios y Garau, 2017), junto a mortalidad por enfermedades cardiovasculares y degenerativas en favor de la mortalidad por enfermedades infecciosas.

Se comprobó la existencia de una relación negativa significativa entre el porcentaje de población en situación de pobreza y las tasas de mortalidad por neoplasias, así mismo, existe una relación positiva con Índice de Desarrollo Humano (IDH) por municipios, e indicadores como porcentaje de población con acceso a servicios de salud, porcentaje de población mayor de 65 años, porcentaje de población urbana y porcentaje de población de 18 años y más con educación superior. Todo ello es consecuente con las afirmaciones anteriores del carácter socioeconómico de la presencia de tasas más elevadas de mortalidad por cáncer. Sin perjuicio de lo anterior, hay que tener presente, así mismo, la posibilidad de subregistro o mala clasificación de fallecimientos (Torres Sánchez et al, 2014) en zonas menos sustentables, con menor porcentaje de población con acceso a servicios de salud o con mayor rezago educativo

Así pues, se profundizó en la temática tomando en cuenta algunos de los indicadores creados para la construcción del ISAU y subíndices, más concretamente los indicadores de contaminación del aire y del agua, del Subíndice de Riesgo de desastres, cambio climático y calidad medioambiental y los indicadores de pobreza e inequidad de ingreso, del Subíndice de Desarrollo Urbano Integral.

Estudios han explorado y establecido relación entre la mortalidad por neoplasias malignas y los niveles de contaminación atmosférica (Dario Consonni et al, 2018; Gabriele Nagel et al, 2018; Thomas Datzmann et al, 2018; Yi Zhou, Lianshui Li y Lei Hu, 2017) y de las aguas (Kenneth Cantor, 1997; Saurabh Kant, 2017).

Por otra parte, la relación entre pobreza y mortalidad por cáncer ha generado toda una literatura con conclusiones muy diversas. En general se asocia mortalidad por cáncer superior en aquellas zonas con niveles bajos de pobreza, por su estructura demográfica envejecida, hábitos de vida, mayor esperanza de vida y mejores condiciones sanitarias que permiten correctos diagnósticos, así mismo en zonas con niveles elevados de pobreza, la mortalidad tiende a ser superior en otros tipos de patologías como las infecciosas.

No obstante, se ha reconocido que por tipologías, las neoplasias tienen una mayor o menor incidencia según los niveles socioeconómicos de la población, así por ejemplo las neoplasias respiratorias se asocian con niveles de ingreso superiores y otras neoplasias, como los cánceres

cérvico-uterinos, con altos niveles de rezago socioeconómico (Barrios y Garau, 2017; Batalha de Menezes et al, 2007; Johnson y Loraine, 2014).

No se obtuvo ninguna autocorrelación bivariada significativa entre este indicador y diferentes tasas de mortalidad por tipos de neoplasias, a pesar de que ciertos tipos de cáncer han mostrado relación con contaminación de las aguas.

Una de las conclusiones del trabajo es la confirmación de hay asociación espacial positiva entre las tasas de mortalidad por diferentes tipos de neoplasia y los niveles de ISAU. Igualmente se evidenció para el caso mexicano la correlación aparente entre IDH y tasas de mortalidad por cáncer. A pesar de que en la literatura se hace incapié en la importancia de la incidencia de mortalidad por cáncer en sociedades y países económicamente rezagados (Arias, 2009; Solidoro, 2006; Solidoro, 2010) o como mínimo en la mayor incidencia de ciertos tipos de cáncer entre las clases socioeconómicamente desfavorecidas (Fica, 2014), lo cierto es que existe una asociación entre población envejecida y mayor esperanza de vida y tasas de mortalidad por neoplasias. Dado que uno de los indicadores empleados para la elaboración del Subíndice de sustentabilidad de desarrollo urbano integral y por tanto, del ISAU es precisamente el de pobreza, se decidió averiguar el comportamiento de este indicador con las tasas de mortalidad por cáncer en la Megalópolis del Centro de México, para comprobar si la autocorrelación era positiva o negativa y para cada uno de los tipos de cáncer.

El indicador de Pobreza se calculó con la variable proporcionada por CONEVAL denominada *Porcentaje de población en situación de pobreza para 2010*, que engloba a la población de cada municipio y delegación en situación de pobreza extrema y de pobreza moderada.

Únicamente para el cáncer de hueso y cartílago (CIE 40-41) se encontró una autocorrelación bivariada positiva, es decir, áreas con elevadas tasas de mortalidad por cáncer rodeadas por espacios con altos porcentajes de población en situación de pobreza. Para lo demás casos, la autocorrelación bivariada, en los casos significativos, fue siempre negativa.

La literatura especializada menciona el cáncer uterino (Cérvico Uterino, CIE 53) como uno de los que tienen mayor asociación con situaciones de pobreza (Ortiz et al, 2004; Solidoro, 2010). Sin embargo se encontró que el número de defunciones de este tipo de neoplasia en el periodo 2005-2016 fue muy bajo, por ejemplo, en la totalidad de las alcaldías de la Ciudad de México se produjeron en tal periodo únicamente 22 decesos y solamente 19 en la totalidad del estado de México. De esta manera, en la mayoría de los municipios de la megalópolis han habido

escasísimas defunciones y en un número significativo ninguna, con un patrón espacial de las tasas de mortalidad escasamente significativo.

Las autocorrelaciones bivariadas de mayor significancia del indicador de Pobreza son los cánceres de caja torácica (Pulmón etc.), sistema digestivo y mama; en menor grado, pero todavía significativas, con los cánceres orales y se tracto superior (COOC14), de hueso y cartílago, y de tejido linfático.

Profundizando en el análisis bivariado, se decidió aplicar análisis bivariado local con ciertos indicadores de las dimensiones I y II con las tasas de mortalidad por tipos de enfermedad, en particular con indicadores de contaminación atmosférica y del agua de la primera dimensión y de la segunda, el indicador de pobreza. Los resultados de esta última con las tasas de mortalidad, son previsibles con la explicación anterior del ISAU.

En cambio, se obtuvieron resultados muy interesantes de la relación entre niveles de contaminación del aire en superficie con diferentes tipos de contaminantes y los diferentes tipos de cáncer. La literatura es extensa en estudios de relación entre la mortalidad por neoplasias malignas y los niveles de contaminación atmosférica (Dario Consonni et al, 2018; Gabriele Nagel et al, 2018; Thomas Datzmann et al, 2018; Yi Zhou, Lianshui Li y Lei Hu, 2017) y de las aguas (Kenneth Cantor, 1997; Saurabh Kant, 2017).

Por otra parte, la relación entre pobreza y mortalidad por cáncer ha generado toda una literatura con conclusiones muy diversas. En general se asocia mortalidad por cáncer superior en aquellas zonas con niveles bajos de pobreza, por su estructura demográfica envejecida, hábitos de vida, mayor esperanza de vida y mejores condiciones sanitarias que permiten correctos diagnósticos, así mismo en zonas con niveles elevados de pobreza, la mortalidad tiende a ser superior en otros tipos de patologías como las infecciosas.

No obstante, se ha reconocido que por tipologías, las neoplasias tienen una mayor o menor incidencia según los niveles socioeconómicos de la población, así por ejemplo las neoplasias respiratorias se asocian con niveles de ingreso superiores y otras neoplasias, como los cánceres

---

<sup>9</sup> En España la tasa de mortalidad bruta por todo tipo de neoplasias en 2013 fue de 215 por cien mil en el caso de hombres y de 100.6 por mil para las mujeres. En México el mismo año la tasa global fue de 66.37 por cien mil (Reynoso-Noverón y Torres, 2017). Para el conjunto de la Unión Europea las tasas para hombres y mujeres fueron del 253 y 112 por cien mil respectivamente. Dentro de México, los estados con tasas más elevadas ese mismo año fueron Sonora (86.7), Colima (77.3) y Ciudad de México (77.2) que ocupaban en 2012 los puestos 3º, 6º y 1º en IDH. En cambio, las entidades con menor IDH, Guerrero y Chiapas, ocupaban los puestos 25º y 29º en mortalidad por cáncer (únicamente 54.1 y 59.9 por cien mil).

cérvico-uterinos, con altos niveles de rezago socioeconómico (Barrios y Garau, 2017; Batalha de Menezes et al, 2007; Johnson y Loraine, 2014).

En efecto, se corroboró en general una autocorrelación espacial bivariada positiva y significativa de contaminantes como las PMIO, Ozono o N02 y neoplasias orales y respiratorias, y con la cartografía se pudo determinar las áreas más afectadas y en algunos casos, fenómenos anómalos.

El empleo de un índice (ISAU) y de subíndices implica la integración de variables interrelacionadas, lo cual garantiza el grado de individualidad interna requerida para la definición de las zonas de atención prioritaria. El criterio de delimitación de las áreas de atención prioritaria se basó en los niveles de sustentabilidad, en particular aquellos municipios con Muy Baja y Baja sustentabilidad.

## **5. Conclusiones**

En este apartado de exponen, de forma breve, las principales conclusiones derivadas del presente trabajo de investigación.

La creación de un índice que comprendiese la sustentabilidad ambiental urbana de forma multidimensional era uno de los objetivos principales de este trabajo de investigación, objetivo que se ha realizado con el ISAU y los tres subíndices.

El ISAU y subíndices comprenden un abanico de indicadores, cuya selección se basó en las directrices del BID, que permiten cuantificar y sintetizar la totalidad de las dimensiones de la sustentabilidad y la mayoría de sus temáticas (Agua, saneamiento y drenaje, gestión de residuos sólidos, energía, calidad del aire, uso del suelo, ordenamiento del territorio, desigualdad urbana, transporte, seguridad, empleo, conectividad, educación, sanidad, impuestos, gestión de gasto público...) con alguna excepción del Subíndice de Sustentabilidad Fiscal y gobernabilidad.

Se empleó el MCP para construir el ISAU y los Subíndices, que fueron convenientemente validados.

A diferencia de otros estudios de sustentabilidad urbana este trabajo de investigación, desde la Geografía, tuvo la dimensión espacial, el espacio geográfico, como perspectiva fundamental,

al aproximarse al fenómeno de la sustentabilidad de una zona concreta, la Megalópolis del Centro de México, mediante técnicas de análisis espacial y aplicando sistemas de información geográfica (SIG).

Todo ello ha permitido la detección del patrón espacial de la sustentabilidad a lo largo de la megalópolis, la delimitación de aquellas áreas con mayor y menor sustentabilidad, detectando de forma precisa y exacta que espacios megalopolitanos necesitan una intervención y en donde y en que grado variables influyen en los niveles de sustentabilidad y a su vez, esta, como se relaciona en la megalópolis con variables demográficas como la mortalidad por ciertos tipos de patologías.

Los indicadores seleccionados y la metodología de construcción del ISAU y Subíndices hacen susceptible su reproducción para otros estudios de zonas metropolitanas en México.

Entre los resultados obtenidos, hay que destacar, en primer lugar, la confirmación de la Megalópolis de México cuenta con una gran heterogeneidad interna en niveles de sustentabilidad ambiental urbana, además, hay segregación, es decir, presencia de aglomerados en su interior de alta y baja sustentabilidad, o lo que es lo mismo, su distribución no es aleatoria.

El patrón espacial de los niveles de sustentabilidad ambiental urbana (y de los tres subíndices) es de decrecimiento de los centros a las periferias, esto es, valores de ISAU elevados en los centros metropolitanos y municipios vecinos, muchas veces conurbados (sobre todo en la Ciudad de México) y valores bajos de sustentabilidad en municipios periféricos, exteriores de las diferentes metrópolis, en especial en espacios intersticiales entre las mismas. Existen algunas excepciones a este patrón general, a destacar los municipios conurbados situados entre las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala y Tlaxcala-Apizaco (aun cuando en estas zonas metropolitanas, los municipios centrales capitalinos son los que tienen una sustentabilidad más elevada). Otra excepción es en la zona metropolitana de Tula, en la cual no es el municipio central el más favorecido, sino el contiguo de Atitalaquia (sede de fraccionamientos recientes de clase media-alta, como el de Los Atlantes).

Es decir, no solo existe una gradación centros-periferias en sustentabilidad, sino entre diferentes zonas metropolitanas, en este último aspecto, la Ciudad de México mantiene una amplia ventaja sobre las restantes.

Con las técnicas bivariadas se pretendió, en primer lugar, averiguar la relación espacial existente entre grado de urbanización consolidada (con el porcentaje de población que habitaba

en 2010 AGEBS urbanas) y el ISAU y subíndices como variables dependientes, y en segundo lugar, la relación del ISAU y subíndices como variables explicativas de fenómenos demográficos como mortalidad por diversos tipos de patologías. Profundizando en este último aspecto, se realizaron análisis bivariados entre algunos indicadores de la dimensión I de la sustentabilidad (contaminación del aire en superficie con diversos elementos) y su posible relación espacial explicativa con tasas de mortalidad.

Se encontró una relación significativa entre los niveles de ISAU y subíndices y las tasas de población en AGEBS urbanas, lo que reafirma el comportamiento espacial de centros metropolitanos consolidados a periferias.

Así mismo se averguó que existe una relación positiva significativa entre ISAU y subíndices y la incidencia de mortalidad por cáncer en general y con ciertos tipos del mismo, así como con mortalidad por enfermedades infecciosas. La explicación de estos resultados aparentemente contradictorios, como se mencionó en los resultados, hay que buscarla en la consideración multidimensional de la sustentabilidad ambiental urbana, su vinculación con la baja pobreza y alto IDH, ya que la mortalidad por neoplasias, con algunas excepciones, se relacionan con alto IDH, baja pobreza y ciertos hábitos de vida.

Por otra parte, los resultados entre ISAU y mortalidad por enfermedades infecciosas y parasitarias, pueden tener su base en el subregistro en aquellas áreas con menor sustentabilidad y accesoriamente más rezagas en los sanitario, social y económico, y a una mejor dotación y servicios de salud en las zonas con mayor ISAU que garanticen un mejor diagnóstico.

Dado que el análisis bivariado de ISAU y tasas de mortalidad podía verse alterado por el carácter multidimensional de la sustentabilidad ambiental urbana, se consideró su aplicación con los niveles de contaminación del aire en superficie calculados para la creación del indicador de *Concentración de contaminantes en el aire*, de la dimensión I. Con estos, se encontraron correlaciones positivas significativas de gran interés, localizando con la cartografía aquellas áreas más afectadas, como por ejemplo las tasas de mortalidad por neoplasias orales y respiratorias y los niveles de contaminación por PMIO.

Finalmente se realizó una propuesta de zonificación de la Megalópolis del Centro de México, delimitando aquellas zonas en situación de mayor riesgo desde la perspectiva de la sustentabilidad ambiental urbana, de forma que se puedan delimitar espacialmente posibles medidas correctivas.

La aproximación geográfica a la realidad es fundamentalmente espacial. Esta máxima se halla en el núcleo de la Geografía Tradicional, continuado por la Geografía Cuantitativa y en los últimos años, trasladada al uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Buzai, 1999).

Podemos considerar que el análisis espacial constituye una serie de técnicas matemáticas y estadísticas aplicadas a los datos distribuidos sobre el espacio geográfico. Cuando es enfocado desde la tecnología de los SIG se considera su núcleo (sinónimo de su subsistema de tratamiento) ya que es el que posibilita trabajar con las relaciones espaciales de las entidades contenidas en cada capa temática de la base de datos geográfica.

En el ámbito de la Geografía Cuantitativa, el análisis espacial cuenta con dos líneas de definición. En primer lugar la que considera a todo tipo de procesamiento de datos espaciales (O'Sullivan y Unwin, 2003) y en segundo lugar, las que consideran únicamente los aspectos geométricos de las entidades espaciales considerando que el espacio geográfico siempre interviene en el resultado (Berry, 1996).

Lo que es indudable es que en todo momento el basamento del análisis espacial se encuentra específicamente en el espacio geográfico.

En este trabajo de investigación la aplicación de técnicas de análisis espacial ha permitido descubrir y analizar la distribución territorial de la sustentabilidad ambiental urbana, así mismo, detectando zonas, con precisión y respaldo estadístico, que requieren medidas para afrontar sus problemáticas ambientales existentes. También ha facilitado penetrar en las relaciones espaciales existentes entre el ISAU y variables como la urbanización, el desarrollo humano o la mortalidad. Además, el análisis espacial ha puesto en evidencia estructuras y formas de organización en el medio geográfico, como el modelo dicotómico centro-periferia existente en la megalópolis de los niveles de sustentabilidad.

La propuesta de elaboración de un ISAU multidimensional, su validación y aplicación para un escenario megalopolitano constituye un primer estudio aplicado con perspectiva espacial sobre una metrópolis mexicana. La elaboración de investigaciones posteriores permitirá estudios y análisis comparativos sobre la dinámica espacial de la sustentabilidad, y averiguar si por ejemplo el patrón centro-periferias se repite o la existencia de relación espacial entre contaminantes e incidencia de mortalidad por diferentes tipos de neoplasias.

La disponibilidad de datos es una problemática creciente en México ante la irregularidad de disponibilidad de variables según los censos con los que construir los indicadores. Fuentes como SEMARNAT y SINAICA para la elaboración de indicadores a partir de los niveles de concentración del aire tiene una gran irregularidad y lagunas de información, sobre todo en las zonas metropolitanas vecinas a la Ciudad de México.

De enorme interés para los estudio geográficos en México es la existencia de unidades espaciales de análisis inframunicipales como son las AGEBS y secciones electorales. El presente trabajo de investigación se hubiese beneficiado enormemente de una disponibilidad adecuada de datos de los diferentes censos a tal nivel de desagregación, desafortunadamente, un gran número de indicadores no pueden calcularse con los datos existentes a nivel de AGEB o Sección (por ejemplo tratamiento de residuos sólidos, seguridad vial, todos los indicadores de la dimensión de sustentabilidad fiscal y gobernabilidad).

Finalmente, la mayoría de los indicadores dependen de los datos proporcionados por el censo de población y vivienda de INEGI, el último de los cuales se realizó hace diez años. La calidad de datos de los recuentos, como el realizado en 2015, no puede compararse, de forma que los datos pueden parecer relativamente atrasados.

No obstante, el trabajo *LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL DE LA MEGALÓPOLIS DEL CENTRO DE MÉXICO. METODOLOGÍA Y EVALUACIÓN.2010-2015* constituye una primera aproximación desde el punto de vista espacial al estudio de la sustentabilidad ambiental urbana en una megalópolis y metrópolis mexicana, lo cual facilitará un marco previo comparativo para posteriores investigaciones.

## 6. Bibliografía

- Alkire, S., Foster, J., Seth, S., Santos, M., Roche, J., y Ballón, P., (2015) *Mu/ti-dimensional poverty measurement and analysis*, Oxford, Oxford University Press.
- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (2006), Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla, Disponible en internet, en: [http://www.sevilla.org/urbanismo/plan\\_indicadores/OI-ndice.pdf](http://www.sevilla.org/urbanismo/plan_indicadores/OI-ndice.pdf).
- Alarcón, A., Terraza, H., Cabrera, J., Maleki, D., y Lew, S. (2013), Plan de acción área metropolitana de Cochabamba sostenible. Banco Interamericano de Desarrollo. Cochabamba: Sagitario.
- An J.L., Wang Y.S., Li X., Sun Y., Shen S.H., 2008: Relationship between surface UV radiation and air pollution in Beijing, en *Huan Jing Ke Xue*. 2008 Abril; 29(4): pp. 1053-8.
- Anderson, M. y Woodrow, P. (1989), *Rising from the ashes: development strategies in times of disaster*. Boulder, CO: Westview Press.
- Andrade Medina, P. y Bermúdez Cárdenas, D.C. (2010), La sostenibilidad ambiental urbana en Colombia, en *Bitácora* 17, 2 (17), 73-93. <http://dx.doi.org/10.15446/bitacora>
- Anfinsen K.P., Devesa S.S., Bray F., Troisi R., Jonasdottir T.J., Bruland O.S., Grotmol T., 2011: Age-period-cohort analysis of primary bone cancer incidence rates in the United States (1976-2005) en *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 2011 Aug;20(8):1770-7.doi: 10.1158/1055-9965
- Anselin, L., (1988), *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands
- Anselin, Luc, (1995), "Local indicators of spatial association LISA", en *Geographical Analysis*, 27 (2), The Ohio State University, Columbus, Ohio, pp. 93-115. <[https://dces.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/128/2013/08/W4\\_Anselin1995.pdf](https://dces.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/128/2013/08/W4_Anselin1995.pdf)>, 10 de junio de 2019.

- Anselin, L. (2002), Under the hood. Issues in the specification and interpretation of spatial regression models, en *Agricultura/ Economics*, 27(3):247-267
- Arias V., Samuel A., 2009, Inequidad y cáncer: una revisión conceptual, en *Revista Facultad Nacional Salud Pública*, 2009; 27(3): 341-348.
- Balaguer, P., Sarda, R., Ruiz, M., Diedrich, A., Vizoso, G., y Tintore, J., (2008), A proposal for boundary delimitation for integrated coastal zone management initiatives, en *Ocean Coast. Manag.*, 51: 806-814.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2011). Sostenibilidad Urbana en América Latina y el Caribe, Oficina de Relaciones Externas del BID.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2013). Indicadores de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles. Guía metodológica, Banco Interamericano de Desarrollo, segunda edición del Anexo 2.
- Banco Nacional de México S.A., BANAMEX, Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBAS), Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente (CNM), Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) (2014). Índice de Ciudades Competitivas y Sustentables 2014. México
- Barcelata Chávez, H. (2015), Círculos de pobreza y finanzas municipales en México, en *Economía, Teoría y práctica*, (42), 69-103. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281139894004>
- Barrios, Enrique, & Garau, Mariela. (2017): Cáncer: magnitud del problema en el mundo y en Uruguay, aspectos epidemiológicos, en *Anales de la Facultad de Medicina*, 4(1), 7-161. <https://dx.doi.org/10.25184/anfamed2017.4.1.2>
- Barrios, E., & Garau, M. (2017). Cáncer: magnitud del problema en el mundo y en Uruguay, aspectos epidemiológicos, en *Anales De La Facultad De Medicina*, Universidad De La República, Uruguay, 4(1), 9-46. <https://doi.org/10.25184/anfamed2017.4.1.2>
- Bermejo, R. (2000), Acerca de las dos visiones antagónicas de la sostenibilidad. En *Desarrollo sostenible; un concepto polémico*. Serie de Ciencias Sociales de la Universidad del País Vasco, Vol. n.º8, Bilbao, pp. 67-103.

- Berry, J.K., (1996), The Unique Character of Spatial Analysis, en *GIS World*. April, pp. 29-30.
- Borges, Danielle Muniz de Lira, Sena, Marina Femandes de, Ferreira, Maria Ángela Femandes, & Roncalli, Ángelo Giuseppe. (2009). Mortalidade por cancer de boca e condiçao sócio-económica no Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 25(2), 321-327. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2009000200010>
- Buzai, G.D. (1999), Geografía Global. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Buzai, G. y Baxendale, C., (2004), Distribución espacial socio-educativa y localización de escuelas polimodales en la ciudad de Luján. Una aproximación exploratoria bivariada, en *Huellas*. Santa Rosa: UNLPam, Instituto de Geografía, 2004, n° 9, pp.13-35.
- Buzai, G.D., (2009), Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica. Sus cinco conceptos fundamentales. En Gustavo D. Buzai, *Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aspectos conceptuales y aplicaciones*, CESIG, Universidad Nacional de Luján.
- Cabezas, C., 2014: Enfermedades infecciosas desatendidas: un permanente reto para la salud pública y la equidad en el Perú, en *Revista peruana de medicina experimental y salud publica* 31(2):326-335
- Cabrera Morales, C. M., y López-Nevot, M. A.. (2006). Efectos de la radiación ultravioleta (UV) en la inducción de mutaciones de p53 en tumores de piel, en *Oncología (Barcelona)*, 29(7), 25-32. Recuperado en 28 de abril de 2020, de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-48352006000700003&lng=es&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-48352006000700003&lng=es&tlng=es).
- Cabrera-Jara, N. E., Orellana-Vintimilla, D. A., Hermida-Palacios, M. A., y Osorio-Guerrero, P. E., (2015), Evaluando la sustentabilidad de la densificación urbana. Indicadores para el caso de Cuenca (Ecuador), en *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 25(2), 21-34. [fecha de Consulta 3 de Mayo de 2020]. ISSN: 0124-7913. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=748/74846550004>
- Cantor, K., 1997: Drinking water and cancer, en *Cancer Causes and Control* 8(3):292-308 · May 1997. DOI: 10.1023/A:1018444902486.

- Celemín, J. P. (2009), Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial. Importancia, estructura y aplicación, en *Revista Universitaria de Geografía*, 18, 11-31. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/3832/383239099001.pdf>
- Cendrero, A., (1997), Indicadores de desarrollo sostenible para la toma de decisiones, en *Naturzale*, 12, 5-25.
- Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente (CMM) (2013), "Más allá de las metrópolis: contexto global y retos locales". Senado de la República, Distrito Federal, 21 de mayo de 2013, México.
- Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente (CMM) (2014), "Actualización al diagnóstico de la Megalópolis del Centro de México". Ciudad de México, México, USAID-México, <<http://www.plataformaeds.org/images/images/0891470001471877373.pdf>>, 2 de mayo de 2020.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) (2010). Índice de peligro por inundaciones a nivel municipal. Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos.
- Chasco, C. (2006), Análisis estadístico de datos geográficos en geomarketing: el programa GeoDa, en *Distribución y Consumo*, 2, 34-45. Recuperado en [https://www.researchgate.net/publication/28281725\\_Analisis\\_estadistico\\_de\\_datos\\_geograficos\\_en\\_geomarketing\\_el\\_programa\\_GeoDa](https://www.researchgate.net/publication/28281725_Analisis_estadistico_de_datos_geograficos_en_geomarketing_el_programa_GeoDa)
- Chu, Y. H., Kao, S. W., Tantoh, D.M., Ko, P. C., Lan, S. J., & Liaw, Y. P. (2019). Association between fine particulate matter and oral cancer among Taiwanese men, en *Journal of investigative medicine : the official publication of the American Federation for Clinical Research*, 67(1), 34-38. <https://doi.org/10.1136/jim-2016-000263>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2012). Atlas Digital del Agua. México 2012. Sistema Nacional de Información del Agua.
- Connolly, Priscila y Cruz, Soledad, (2004), Nuevos y viejos procesos en la periferia de la Ciudad de México, en Aguilar, Adrián G. (Coordinador), *Procesos metropolitanos y grandes ciudades. Dinámicas recientes en México y otros países*, México: Miguel Ángel Porrúa.

- Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2012a). Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010. México: Consejo Nacional de Población.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2012b). Índice de marginación urbana. México: Consejo Nacional de Población.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) (2011). Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México, *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 2(1), 36-64. Recuperado en <https://www.inegi.org.mx/rde/2011/01/10/metodologia-para-la-medicion-multidimensional-de-la-pobreza-en-mexico/>
- Consonni, D., Carugno, M., De Matteis, S., Nordio, F., Randi, G., Bazzano, M., Caporaso, N.E., Tucker, M.A., Bertazzi, P.A., Pesatori, A.C., Lubin, J.H., Landi, M.T., 2018: Outdoor particulate matter (PM<sub>10</sub>) exposure and lung cancer risk in the EAGLE study, en *PLoS ONE*, Volume 13, Issue 9, September 2018.
- Correa, G. y Rozas, P. (2006), Desarrollo urbano e inversiones en infraestructura: elementos para la toma de decisiones. Serie DRNI N° 108. CEPAL. Santiago, Chile.
- Cortés, H.G. y Peña, J.I., (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 Rodríguez, Ma. Soledad (2000). Periferia y suelo urbano en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. *Sociológica*, 15(42),59-90.[fecha de Consulta 28 de Mayo de 2020]. ISSN: 0187-0173. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3050/305026734004>
- Datzmann, T., Markevych, I., Trautmann, F., Heinrich, J., Schmitt, J., Tesch, F., 2018: Outdoor air pollution, green space, and cancer incidence in Saxony: a semi-individual cohort study, en *BMC Public Health* 2018 Jun 8;18(1):715. doi: 10.1186/s12889-018-5615-2.
- Deepa y Saurabh, K., 2017: An Affiliation between Environmental Pollutants and Elevated Risk of Cancer, en *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)* 3(1), enero 2017.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (15/0711996). *Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal*, México.

- Dixon, J.A. y Fallon, L.A., (1989), *The Concept of Sustainability: Origins, Extensions and Usefulness for Policy*. Washington, World Bank Environment Department/Division Working Paper/Policy and Research Division, n.1989-1, July, 1989.
- Duncan, O. D. y Duncan, B. (1955), A methodological analysis of segregation indexes en *American Sociological Review*, 41, American Sociological Association, Washington D.C., pp. 210-217.
- Eibenschutz Hartman, R., (2006), La megalópolis: seis reflexiones necesarias, en Felipe de Alba (coord.) *Las paradojas de la megalópolis Un debate actual a distintas voces* pp. 19-25.
- Escobar, L., (2006). Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas, en *EURE*, 32 (96), 73-98. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612006000200005>
- Escobedo-de la Peña, J., Buitrón-Granados, L.V., Ramírez-Martínez, J.C., Chavira-Mejía, R., Schargrotsky, H., Marcet Champagne, B., (2011). Diabetes en México. Estudio CARMELA. *Cirugía y Cirujanos*, 79(5),424-431.[fecha de Consulta 28 de Abril de 2020]. ISSN: 0009-7411. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=662/66221420006>
- Fica, A. (2014). Prevención del cáncer cérvico-uterino en Chile: Mucha vacuna y poco Papanicolau en *Revista chilena de infectología*, 31(2), 196-203. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182014000200010>
- Franchi, A., 2012: Epidemiology and classification of bone tumors, en *Clinical Cases in mineral and bone metabolism*, 2012 May-Aug; 9(2): 92-95.
- Franco Paredes, C., Woodworth, M., Rodríguez Morales, A.J., 2007: "Las Enfermedades Desatendidas en Latino América: Un Circulo Vicioso entre Pobreza y Salud", en *Acta Científica Estudiantil 2007*, 5(4), Universidad Central de Venezuela, pp. 173-177.
- Franco Piedrahita, M.C., (2012), Análisis espacio-temporal de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica en el municipio de Itagüí. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín, Colombia.
- Gallego, A., González Fernández, I., Sánchez Gimeno, B., Fernández Remando, P., Garcinuño Martínez, R.M., Bravo Yagüe, J.C., Pradana Pérez, J.A., García Mayor, A. y Durand Alegría, J.S., (2012), Contaminación atmosférica. UNED, Madrid. 440 pp

- Garrocho, C. y Campos Alanís, J., (2013), Réquiem por los indicadores no espaciales de segregación residencial, en *Papeles de Población*, vol.19, núm.77.
- Garza, G. (2010). La transformación urbana de México, 1970-2020, en Garza, G. y Schteingart, M. (coords.), *Los grandes problemas de México. Desarrollo urbano y regional* (pp. 31-87). Ciudad de México: El Colegio de México.
- Gobierno del Distrito Federal (GDF) (2010), Fideicomiso de estudios estratégicos sobre la ciudad de México. Documento en línea: [http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2000/12p\\_fee.pdf](http://www.finanzas.df.gob.mx/egresos/cp2000/12p_fee.pdf)
- Gómez Barroso, D., Prieto Flores, M.E., Mellado San Gabino, A. y Moreno Jiménez, A., (2015), Análisis espacial de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares en la ciudad de Madrid, España, en *Revista Española de Salud Pública*, vol.89, núm.1.
- Gordziejczuk, M. A., y Lucero, P.I., (2019), Turismo y calidad de vida: un estudio de autocorrelación espacial aplicado a la ciudad de Mar del Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina, en *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 28 (1): 23-42. doi: [10.15446/rcdg.v28n1.67275](https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.67275).
- Gottmann, Jean (1957), Megalopolis or the urbanization of the Northeastern seaboard, en *Economic Geography*, 33 (3), Taylor & Francis, Abingdon-Oxfordshire, pp. 189-200.
- Graizbord, B., 2002: "Elementos para el reordenamiento territorial: Usos del suelo y recursos" en *Estudios Geográficos y Urbanos*, 17, El Colegio de México, México.
- Granados García, M., Estrada Lobato, E., Apodaca Cruz, A., 2009: Cáncer Diferenciado de la Tiroides: Aspectos Generales, en *Cancerología* 4 (2009): 65-71
- Granados García, M., Mitsuo León Takahashi, A., Guerrero Huerta, F.J., Taissoun Aslan, Z.A., 2014: Cáncer diferenciado de tiroides: una antigua enfermedad con nuevos conocimientos, en *Gaceta médica de México*, ISSN 0016-3813, Vol. 150, N°. 1, 2014, pp. 65-77
- Gutiérrez de MacGregor, M.T., (2003), Desarrollo y distribución de la población urbana en México, en *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, No. 50, 2003, pp. 77-91
- Guzmán Correa, P. R., (2018), Alcaldías y municipios, un análisis comparativo. Instituto de Investigaciones Parlamentarias. México, agosto 2018.

- Hamra, G. B., Laden, F., Cohen, A. J., Raaschou-Nielsen, O., Brauer, M., & Loomis, D. (2015). Lung Cancer and Exposure to Nitrogen Dioxide and Traffic: A Systematic Review and Meta-Analysis, en *Environmental health perspectives*, 123(11), 1107-1112. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408882>
- Heinberg, R. (2010). What Is Sustainability?, en R. Heinberg, & L. Daniel, *The Post Carbon Reader: Managing the 21st Century's Sustainability Crises*. Santa Rosa, California , USA : Watershed Media .
- Hemández, V. (2015), Análisis geoespacial de las elecciones presidenciales en México, 2012, en *EURE*, 41 (122), 185-207. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612015000100009>
- Hemández-Ávila, M., Gutiérrez, J.P., & Reynoso-Noverón, N. (2013). Diabetes mellitus en México: El estado de la epidemia. *Salud Pública de México*, 55(Supl. 2), s129-s136. Recuperado en 27 de abril de 2020, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0036-36342013000800009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342013000800009&lng=es&tlng=es) .
- Hemández-Hemández, V., (2015), Análisis geoespacial de las elecciones presidenciales en México, 2012, en *EURE*, vol.41, núm.122, Santiago de Chile.
- Hinojosa, Raquel, Garrocho, Carlos Félix, Campos, Juan y Campero, Araceli Consuelo (2015), "Pronóstico de accidentes viales en el espacio intrametropolitano de Toluca: un enfoque Bayesiano" en *Transportes*, 23 (2), (2015), Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, p. 43-55.
- Huang, L., Wu, J. y Yan, L., (2015), Defining and measuring urban sustainability: a review of indicators, en *Landscape Eco/*, núm.30
- Imaz Gispert, M., Ayala Islas, D., y Beristain Aguirre, A.G. (2014). Sustentabilidad, territorios urbanos y enfoques emergentes interdisciplinarios, en *Interdisciplina* 2 (2), 33-49.)
- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) (2014). *Índice de Ciudades Competitivas y Sustentables 2014*, México
- Instituto Nacional de Ecología (INE) (2012). Iniciativa de ICLEI-Gobiernos Locales por la Sustentabilidad. Plan de Acción Climática Municipal (**PACMUN**).
- Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE) (2015). Resultados Nacionales de Planea Educación Básica 2015.

- Instituto Nacional de Ecología (INE) (2012). Iniciativa de ICLEI-Gobiernos Locales por la Sustentabilidad. Plan de Acción Climática Municipal (PACMUN).
- Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE) (2015). *Resultados Nacionales de Planeación Educación Básica 2015*.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2009). *Censos Económicos 2009*. Ciudad de México, México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2010a). *Marco Geoestadístico*, Ciudad de México, México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2010b). *Estadística de finanzas públicas estatales y municipales*.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2011a). *Censo de población y vivienda 2010*, Ciudad de México, México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2011b). *Cartografía geoestadística urbana, Censos Económicos 2009, DENUE marzo 2011*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2018), Registros administrativos. Estadísticas vitales. Mortalidad. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. Consultado el 27 de abril de 2020, en <https://www.inegi.org.mx/programas/mortalidad/>
- Iracheta, A., (2010), El fenómeno metropolitano en México, en *Economía y Sociedad*, vol. XIV, núm. 25, enero-junio, 2010, pp. 153-179 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Morelia, México
- Jordao Filho, R.S. y Maior de Oliveira, T.S., (2013), Planejamento e Sustentabilidade Urbana, en *Caderno Organiza<;ao Sistémica*, vol.3, núm.2
- Karimi P., Islami F., Anandasabapathy S., Freedman N.D., Kamangar F., 2014: Gastric Cancer: Descriptive Epidemiology, Risk Factors, Screening, and Prevention en *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 2014 May;23(5):700-13. doi: 10.1158/1055-9965

- Johnson, L., Wilcox, S., Mankoff, J., & Stricker, R. B. (2014). Severity of chronic Lyme disease compared to other chronic conditions: a quality of life survey, en *PeerJ*, 2, e322. <https://doi.org/10.7717/peerj.322>
- Lafferty, W. M., (1996), The politics of sustainable development: Global norms for national implementation, en *Environmental Politics*, 5:2
- Lavado, J.C. (2015), Evaluación de autocorrelación espacial global y local para zonas de tránsito. XIII Rio de Transportes 19 e 20 de agosto, Río de Janeiro, Brasil.
- Leveau, C. M. y Ubeda, C., (2012), Muertes por lesiones de tránsito en Argentina: un análisis espacial para el período 2001-2009, en [\*Revista Panamericana de Salud Pública\*](#), Mai 2012, Volumen 31, Nº 5. Pp. 439 - 442
- Lezama, J.L. y Graizbord, B.,(coords.), (2010), Los grandes problemas de México. Medio Ambiente. El Colegio de México. Ciudad de México. México.
- Lezama, J.L., & Domínguez, J. (2006). Medio ambiente y sustentabilidad urbana. *Papeles de Población*, 12(49),153-176. ISSN: 1405-7425. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=112/11204906>
- Li Xen y Xulin Guo, (2013) How to identify efficient indicators or indices for applicable Urban Sustainability Assessment?, en *International Journal of Humanities and Social Science*, vol. 3, núm.14.
- López Pérez, S., (2009), Diagnóstico sociodemográfico de la Megalópolis del centro del país. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- López Rodríguez, A., Lozano-Rivera, P. y Sierra-Correa, P.C., (2012), Criterios de zonificación ambiental usando técnicas participativas y de información: estudio de caso zona costera del departamento del Atlántico, en *Boletín de Información Marítimo Costera*, núm.41, Santa Marta, Colombia.
- Maciel S., Lessa F., Rodrigues C.S., 2000: Mortalidade por cancer bucal e desigualdades sociais em capitais brasileiras nos anos de 1980 e 1991 en *Revista Brasileira de Odontologia em Saúde Coletiva*; 1, pp. 51-61.
- Madronich, S., Wagner, M., Groth, P., 2011: Influence of tropospheric ozone control on exposure to ultraviolet radiation at the surface, en *Environ Sci Technol*. 2011 Agosto 15;45(16): pp. 6919-23. DOI: 10.1021/es200701q
- Martínez, P. M. (2015). La producción del espacio en la ciudad latinoamericana. El modelo del impacto del capitalismo global en la metropolización, en *Hallazgos*, 12 (23), 211-229. <https://doi.org/10.15332/2422409X>
- Martori, J.C. y Hoberg, K. (2008), Nuevas técnicas de estadística espacial para la detección de clusters residenciales de población inmigrante, en *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 12 (256-280). <https://doi.org/10.1344/sn2008.12.1409>

- Matos, E.L., Loria, D., y Vilenskiy, M., 1994: Cancer mortality and poverty in Argentina: A geographical correlation study en *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention* 3(3):213-8
- Meadows, D.H., Meadows, D.L. y Randers, J., (1992), *Beyond the limits: confronting global collapse envisioning a sustainable future*. Chelsea Green Publishing. Vermont.
- Mejía Reza, S., y Espinosa Cuock, J.C., (2007), Factores que propiciaron el crecimiento horizontal de la Zona Metropolitana del Valle de México, en *Arquitextos*, 081.03, año 7, febrero de 2007.
- Menezes, Maria de Fátima Batalha de, Camargo, Teresa Caldas, Guedes, Maria Teresa dos Santos, & Alcantara, Laisa F.F Lós de. (2007). Cancer, poverty and human development: challenges for nursing care in oncology, en *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 15(spe), 780-785. <https://doi.org/10.1590/S0104-11692007000700011>
- Méndez Chiriboga, M. A., (2012), La sostenibilidad y sustentabilidad en los museos, dos enfoques principales: La museología tradicional y la nueva museología. Estudio de caso en dos museos de la provincia de pichincha. Tesis previa a la obtención del título de licenciada en restauración y museología, Universidad Tecnológica Equinoccial
- Monkkonen, P., (2012), La segregación residencial en el México urbano: niveles y patrones, en *EURE*, vol.381, núm.11, Santiago de Chile.
- Montezuma, D., (2009), El Análisis Espacial en la formulación y ejecución de las políticas públicas en Venezuela, en *Terra Nueva Etapa*, vol. XXV, núm. 37, enero-junio, 2009, pp. 175-191, Universidad Central de Venezuela Caracas, Venezuela
- Mori, K. y Christodoulou, A. (2012). Review of Sustainability Indices and Indicators: Towards a New City Sustainability Index (CSI), en *Environmental Impact Assessment Review*, (32), 94-106. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2011.06.001>
- Moreno Sánchez, E. (2013). Indicadores para el estudio de la sustentabilidad urbana en Chimalhuacán, Estado de México, en *Estudios Sociales*, (43), 161-186. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=SO188-45572014000100007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=SO188-45572014000100007)
- Nagel G., Stafoggia M., Pedersen M., Andersen ZJ., Galassi C., Munkenast J., Jaensch A., Sommar J., Forsberg B., Olsson D., Oftedal B., Krog NH., Aamodt G., Pyko A., Pershagen G., Korek M., De Faire U., Pedersen N.L., Óstenson C-G., Fratiglioni L., S0rensen M., Tj0nneland A., Peeters PH., Bueno-de-Mesquita B., Vermeulen R., Eeftens M., Plusquin M., Key TJ., Concini H., Lang A., Wang M., Tsai M-Y., Griboni S., Marcon A., Krogh V., Ricceri F., Sacerdote C., Ranzi A., Cesaroni G., Forastiere F., Tamayo-Uria I., Amiano P., Dorronsoro M., de Hoogh K., Beelen R., Vineis P., Brunekreef B., Hoek G., Raaschou-Nielsen O., Weinmayr G., 2018: Air pollution and incidence of cancers of the stomach and the upper aerodigestive tract in the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE), en *Int J Cancer*. 2018 Oct 1;143(7):1632-1643. doi: 10.1002/ijc.31564

- Okumu, Gok9er y Edelman, David (2015), "An indicator modelo f the spatial quantification and patten analysis of urban sustainability: A case of study of Cincinatti, Ohio" en *Current Urban Studies*, 03(03), Scientific Research Publishing, Wuhan, República Popular China, pp. 231-240, doi: 10.4236/cus.2015.33019
- Olivares, Barlín (2014), Aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP) en el diagnóstico socioambiental. Caso: sector Campo Alegre, municipio Simón Rodríguez de Anzoátegui, en *Multiciencias*, 14(4), pp.366-368. Recuperado de [https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=904\\_90433839011](https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=904_90433839011)
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (1987), Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo "Nuestro Futuro Común", Organización de las Naciones Unidas, Washington.
- <[http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE\\_LECTURE\\_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Am\\_biente-Desarrollo.pdt](http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Am_biente-Desarrollo.pdt)>, 24 de abril de 2019.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (1992), Agenda 21. Documentos oficiales de la Cumbre de la Tierra. Río de Janeiro
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2012), Conferencia de desarrollo sustentable de Naciones Unidas. Río+20. 20 a 22 junio 2012. Río de Janeiro, Brasil
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2018), DESA/Population Division. World Urbanization Prospects. <https://population.un.org/wup/Country-Profiles/>
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (1993), Report N°. 83. (39 pp.). Date of reference: February 1st of 2015. Organization for Economic Cooperation and Development. Recuperado de <http://enrin.grida.no/htmls/armenia/soe2000/eng/oecdind.pdf>.
- Ortiz-Lozano, L., Granados-Barba, A., y Espejel, I., (2009), Ecosystemic zonification as a management tool for marine protected areas in the coastal zone: applications for the sistema arrecifa! Veracruzano National Park, Mexico, en *Ocean Coast. Manag.*, 52: 317-323.
- Ortiz Serrano, Ricardo, & Uribe Pérez, Claudia Janeth, & Díaz Martínez, Luis Alfonso, & Dangond Romero, Yuriko Rafael (2004), Factores de riesgo para cáncer de cuello uterino, en *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología*, 55(2),146-160 .[fecha de Consulta 4 de Mayo de 2020]. ISSN: 0034-7434. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1952/195214306007>
- O'Sullivan y Unwin, (2003), *Geographic Information Analysis*. John Wiley & Sons. New Jersey.
- Pereira F.A., de Assun9ao J.V., Saldiva P.H., Pereira L.A., Mirra A.P., Braga A.L., 2005: nfluence of air pollution on the incidence of respiratory tract neoplasm, en *Journal Air Waste Management Association*. 2005 Jan;55(1):83-7.
- Pérez Abad, N. (2014). Minería de datos espaciales: detección de agregaciones espaciales de riesgo de morir por cáncer de mama y próstata en España y su asociación con la

contaminación industrial. Trabajo de Fin de Máster. Facultad de estudios estadísticos. Universidad Complutense de Madrid

- Piñeros M., Sierra M.S., Forman D., (2016), Etiology of lung cancer (C33-34) in Central and South America, en *Cancer in Central and South America*. Lyon: International Agency for Research on Cancer. Disponible en: [http://www-dep.iarc.fr/CSU\\_resources.htm](http://www-dep.iarc.fr/CSU_resources.htm), consultado 3 de mayo de 2020.
- Portman, M., (2007), Zoning design for cross-border marine protected areas: The Red Sea Marine Peace Park case study, en *Ocean Coast. Manag.*, 50: 499-522.
- Pradilla, E., (2015), De la ciudad compacta a la periferia dispersa, en *Ciudades 106*, abril-junio 2015, RNIU, Puebla, México. Consultado en: [https://www.researchgate.net/publication/279854016\\_De\\_la\\_ciudad\\_compacta\\_a\\_la\\_periferia\\_dispersa](https://www.researchgate.net/publication/279854016_De_la_ciudad_compacta_a_la_periferia_dispersa)
- Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z. J., Hvidberg, M., Jensen, S. S., Ketzel, M., S0rensen, M., Loft, S., Overvad, K., & Tj0nneland, A. (2011), Lung cancer incidence and long-term exposure to air pollution from traffic, en *Environmental health perspectives*, 119( 6), 860-865. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002353>
- Ramírez Velázquez, B. R., (2010), ¿De vuela a la Megalópolis y a la región centro del país? R., E. H. (ed.) *La Zona Metropolitana de México: los retos de la megalópolis*. México, DF: UAM-Xochimilco.
- Reynoso Noverón, N., y Torres-Domínguez, J.A., 2017: Epidemiología del cáncer en México: carga global y proyecciones 2000-2020, en *Revista Latinoamericana de Medicina Conductual*, Vol. 8, Núm. 1, Agosto 2017-Enero 2018
- Riojas-Rodríguez, H., Schilman, A., López-Carrillo, L., & Finkelman, J. (2013). La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futuras. *Salud Pública de México*, 55(6), 638-649.
- Rivas Tovar, Luís Arturo, Carmona Tapia, Salvador, Chávez Espejel, José Antonio, García Márquez, Mario, Maldonado Hernández, Berenice, (2006), Mapas políticos metropolitanos en las megalópolis mexicanas, en *Universidad & Empresa*, 5 (10), pp. 7-23. Universidad del Rosario, Bogotá
- Romanelli, A., y Massone, H. E., (2016), Desarrollo de indicadores ambientales e índice de calidad de lagos someros pampeanos de Argentina con alta intervención antrópica en *Tecnología y Ciencias del Agua*, V/1(6),123-137.[fecha de Consulta 3 de Junio de 2020]. ISSN: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3535/353549830008>
- Roy, M. (2009). Planning for sustainable urbanization in fast growing cities: Mitigation and adaptation issues addressed in Dhaka, Bangladesh, en *Habitat International*, 33, 276-286

- Ruiz-Ruiz, N.J., 2018: Mortalidad por desnutrición en menores de cinco años. Pobreza y desarrollos regionales. Colombia. 2003-2012, en *Economía, Sociedad y Territorio*, vol. XVIII, núm. 56, 2018, 35-75. DOI: <http://dx.doi.org/10.22136/est20181077>
- Sakamoto, Assahito Joel, Brizon, Valéria Silva Candido, Bulgareli, Jaqueline Vilela, Ambrosano, Glaucia Maria Bovi, & Hebling, Eduardo. (2019). Influence of municipal socioeconomic indices on mortality rates for oral and oropharyngeal cancer in older adults in the State of Sao Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 22, e190013. Epub March 21, 2019. <https://doi.org/10.1590/1980-549720190013>
- Salzwedel, H., Zapata, N., Eilbrecht, M. y Arzola, M., (2003), Zoning the coast- methodological guidelines for the municipal level: the experience of the Region of Bío Bío. Chilean-German Technical Cooperation Project Spatial Planning of the Coastal Zone of the Region of Bio Bio. Concepción, Chile. 61 p
- Sánchez Gamboa, **J.M.** y Taddei Bringas, C. (2014), Regiones y distribución espacial de las actividades económicas en Sonora, en *Estudios Sociales*, 22 (43), 189-215. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=SO188-45572014000100008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=SO188-45572014000100008)
- Sánchez González, **D.** (2012). Aproximaciones a los conflictos sociales y propuestas sostenibles de urbanismo y ordenación del territorio en México. *Revista de Estudios Sociales*, (42), 40-56. <http://dx.doi.org/10.7440/res42.2012.05>
- Sánchez-Barriga, J.J., 2016: Tendencias de mortalidad y años potenciales de vida perdidos por cáncer gástrico en México, 2000-2012 en *Revista de Gastroenterología de México*, Volumen 81, 2, Abril-Junio 2016, pp. 65-73
- Satterthwaite, **D.**, 1998, ¿Ciudades sustentables o ciudades que contribuyen al desarrollo sustentable?, en *Estudios Demográficos y Urbanos*, Vol. 13, núm. 1 (1998)
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Consejo Nacional de Población (CONAPO) e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2012). Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010. México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (SEMARNAT), (2013), Cuadernos de divulgación ambiental. Calidad del aire: una práctica de vida. Tlalpan, Ciudad de México.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2014). El medio ambiente en México, 2013-2014, México.
- Secretaría de Salud, (SALUD/SSA), (2001), Programa de Acción Diabetes Mellitus. Secretaria de Salud, Col. Juárez, México.
- Secretaría de Salud, (SALUD/SSA), (2015), Panorama Epidemiológico y Estadístico de la Mortalidad en México 2011. Secretaría de Salud, Col. Juárez, México.
- Shen, L., Ochoa, J.J., Shah, M.N. y Zhang, X., (2011), The application of urban sustainability indicators - A comparison between various practices, en *Habitat International*, Volume 35, Issue 1, January 2011, Pages 17-29
- Shen, L. y Guo, X. (2014), Spatial quantification and pattern analysis of urban sustainability based on a subjectively weigh indicator model: A case study in the city of Saskatoon, SK, Canada, en *Applied Geography* 53, pp. 117-127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.06.001>
- Shmelev S. e Shmeleva, I., 2009: Sustainable Cities: Problems of Integrated Interdisciplinary Research, en *International Journal of Sustainable Development*, núm.12.
- Silva, Vanessa de Lima, Leal, Márcia Carréra Campos, Marino, Jacira Guiro, & Marques, Ana Paula de Oliveira. (2008). Associação entre carencia social e causas de morte entre idosos residentes no Município de Recife, Pernambuco, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 24(5), 1013-1023. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2008000500008>
- Sistema Nacional de Información de Calidad del Aire (SINAICA) (2010). Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental. México.
- Sobrinho, Jaime (2000), "Inversión Pública Federal", en Gustavo Garza (coord.), *La Ciudad de México en el fin del segundo milenio*, El Colegio de México, Ciudad de México, <<http://www.cervantesvirtual.com/obra/la-ciudad-de-mexico-en-el-fin-del-segundo-milenio-877011/>>, 13 de junio de 2019.
- Solidoro Santisteban, A., (2006), Cáncer en el Siglo XXI en *Acta Médica Peruana*, 23(2), 112-118. Recuperado en 28 de abril de 2020, de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1728-59172006000200011&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172006000200011&lng=es&tlng=es).

- Solidoro Santisteban, A. (2010). Pobreza, inequidad y cáncer, en *Acta Médica Peruana*, 27(3), pp. 204-206. Recuperado en 28 de abril de 2020, de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S 1728-59172010000300009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172010000300009&lng=es&tlng=es).
- Sordo, Carlos, y Gutiérrez, César. (2013). Cáncer de piel y radiación solar: experiencia peruana en la prevención y detección temprana del cáncer de piel y melanoma. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 30(1), 113-117. Recuperado en 28 de abril de 2020, de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=SI 726-46342013000100021&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=SI726-46342013000100021&lng=es&tlng=es).
- Sunkel, O. (1980), Introducción. La interacción entre los estilos de desarrollo y el medio ambiente en la América Latina, en: Sunkel, O. y N. Gligo (selección) *Estilos de desarrollo y medio ambiente en la América Latina*, México, Fondo de Cultura Económica, 2 v. (El Trimestre Económico, Lecturas 36).
- Terraza, H., Rocco, A., Adler, V., Bervejillo, F., Páez, T., y Scodelaro, F., (2012), *Montevideo sostenible plan de acción*. Banco Interamericano de Desarrollo. Montevideo.
- Tonon, G. (2010). La utilización de indicadores de calidad de vida para la decisión de políticas públicas. *Polis, Revista de la Universidad Bolivariana*, 9 (26), 361-370. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-65682010000200017>
- Torre Jofré, M., (2009), Índice de Sostenibilidad Urbana: una propuesta para la ciudad compleja, en *Revista Digital Universitaria*, 10(7), Ciudad de México, México, Universidad Nacional Autónoma de México, <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num7/art44/int44.htm>
- Torres Tovar, R., Adame Martínez, S. y Campos Medina, E. (2014). Propuesta de indicadores para medir la sustentabilidad en la zona metropolitana de Toluca, en *Debate Económico*, 3 (9), 119-143. Recuperado de <http://132.248.9.34/hevila/DebateeconomicoMexicoDF/2014/vol3/no9/5.pdf>
- Torres-Sánchez, Luisa E, Rojas-Martínez, Rosalba, Escamilla-Núñez, Consuelo, Vara-Salazar, Elvia de la, & Lazcano-Ponce, Eduardo. (2014). Tendencias en la mortalidad por cáncer en México de 1980 a 2011. *Salud Pública de México*, 56(5), 473-491. Recuperado en 27 de abril de 2020, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0036-36342014000500015&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342014000500015&lng=es&tlng=es).
- Trujillo Rivera, A., Sampieri, C.L., Morales J., Montero, H., Acosta, H.G., Cruz, N., Novoa, E.M., Córdoba K.L., 2018: Risk factors associated with gastric cancer in Mexico. Education, breakfast and chili en *Revista Española de Enfermedades Digestivas*, ISSN-e 1130-0108, ISSN 2340-4167, Vol. 110, N°. 6, 2018, pp. 372-379, DOI: 10.17235/reed.2018.5042/2017

- Varghesea, K., Ganeshb, L. S., Manic, M., Anilkumar, P. P., Murthy, R. y Subramaniam, B. R., (2008), Identifying critical variables for coastal profiling in ICZM planning - A systems approach, en *Ocean Coast. Manag.*, 51: 73-94.
- Veenhoven, R. (2000). Why social policy needs subjective indicators ?. En Casas, F y Saurina, C. (edits). *Proceedings of the Third Conference of the ISQOLS* (pp. 807-817). Universidad de Girona.
- Vicino, T. J., Hanlon, B., y Rennie Short, J., (2007), Megalopolis 50 Years On: The Transformation of a City Region, en *International Journal of Urban and Regional Research*, vol. 31, pp. 344--367.
- Wartenberg, D. (1985), Multivariate spatial correlation: a method for exploratory geographical analysis, en *Geographical Analysis*, 17 (4), 263-283.
- Zebadúa, A. (2006). El sector servicios en el subsistema urbano de la ciudad de México, 1980-2003, Gustavo Garza (coord.), La organización espacial del sector servicios en México, El Colegio de México, México (pp. 171-232).
- Zemelman, D. (2007). Radiación ultravioleta, epidemiología del cáncer cutáneo y factores de riesgo, en *Revista del Hospital Clínico de la Universidad de Chile*, 18(3), 239-246.
- Zhou Y., Li L. y Hu L., 2017: Correlation Analysis of PM10 and the Incidence of Lung Cancer in Nanchang, China, en *Int J Environ Res Public Health*. 2017 Oct 19;14(10). pii: E1253. doi: 10.3390/ijerph14101253.
- Zulaica, L. y Celemín, J.P. (2008). Estudio de las condiciones de calidad de vida en los espacios urbanos y periurbanos del sur de la ciudad de Mar del Plata (Argentina) a partir de la elaboración y análisis espacial de un índice sintético socioambiental. *Papeles de Geografía*, (47-48), 215-233. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40712217013>
- Zulaica, L. y Ferraro, R. (2012). Procesos de crecimiento, indicadores de sustentabilidad urbana y lineamientos de intervención en el periurbano marplatense. *Arquisur Revista*, (2), 124-142. <https://doi.org/10.14409/ar.v1i2.936>
- Zulaica, L. (2013). Sustentabilidad social en el periurbano de la ciudad de Mar del Plata: análisis de su evolución a partir de la construcción y aplicación de un Índice de Habitabilidad. *Revista Electrónica Geoaraguaia*, (3), 1-25. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/52476966.pdf>