

Islas de Calor Urbanas y sus vínculos territoriales con el sistema urbano y sociodemográfico de la Región Centro de México

Urban Heat Islands and their territorial links with the urban and sociodemographic system of the Central Region of Mexico

Israel Rosas Villar 

israel.rosvi@gmail.com

Enrique Pérez Campuzano 

eperez@igg.unam.mx

Departamento de Geografía Económica

Universidad Nacional Autónoma de México (México)

Resumen

La Región Centro de México concentra una porción importante de la población, de ciudades del sistema urbano y del aparato productivo del país. Su dinámica altera la temperatura en las ciudades, y abre paso a microclimas (identificados a través de las Áreas Geoestadísticas Básicas) que se caracterizan por la presencia de Islas de Calor Urbanas que repercuten en las actividades. En la investigación se adopta la metodología de estadística espacial como el Índice de Moran y el Modelo de Rezago Espacial para analizar la estructura urbana y demográfica asociada a la variabilidad territorial de la temperatura promedio a través de estaciones meteorológicas. Los resultados señalan que las Islas de Calor Urbanas parten de las zonas metropolitanas o los centros

de población hacía la periferia urbana de forma radial y asimétrica. Así mismo, su presencia está asociada a las viviendas particulares habitadas que cuenten con servicios de electricidad, refrigerador, computadora e internet; infraestructura vial, morfología urbana, manufactura, deforestación y altitud. Además, se contribuye a la comprensión de las Islas de Calor Urbanas con técnicas no convencionales como la estadística espacial, representación cartográfica y una escala territorial detallada.

Palabras clave: Índice de Moran; modelo de rezago espacial; Área Geoestadística Básica.

Abstract

The Central Region of Mexico concentrates an important portion of the population, urban systems and the national economy. The urban dynamics alter the cities average temperature, generating microclimates, identified through basic geostatistical areas that are characterized by the presence of Urban Heat Islands that can have an impact on urban activities. Spatial statistics as Global Moran's Index and spatial lag model was used to analyse the urban and demographic structure associated with the territorial variability of the average temperature through data obtained from the meteorological stations. Results indicated that Urban Heat Islands originate at metropolitan areas or population centres towards the urban periphery in a radial and asymmetric manner. The presence of Urban Heat Islands is associated with private inhabited dwellings that have electricity, refrigerator, computer and internet services, as well as the presence of road infrastructure, urban morphology, manufacturing, deforestation, and altitude. This study contributes to the understanding of the Urban Heat Islands by using unconventional techniques such as spatial statistics, cartographic representation and more detailed territorial scale.

Key words: Moran's index; spatial lag model; Basic Geostatistical Area.

1 Introducción

Los cambios en los patrones térmicos y pluviales presentan múltiples aristas referentes a su causalidad. En un primer momento, su análisis consistió en interpretaciones biofísicas; sin embargo, se ha vuelto fundamental incorporar un amplio espectro de variables sociales, entre las que se encuentran pautas demográficas, desarrollo socioeconómico, usos de suelo, tendencias político-económicas y tecnológicas (Bulkeley, 2019; Yohe & Schlesinger, 2002). En este contexto, las ciudades tienen un efecto importante por su alta concentración y dinámica sociodemográfica (Norton et al., 2015). Esto implica que las pérdidas humanas y económicas sean mayores;

asimismo, la estructura propia de las ciudades puede contribuir a resolver gran parte de los problemas ambientales ligados al clima.

Las Islas de Calor Urbana (ICU) son una forma más en que las ciudades presentan perturbaciones climáticas. Su presencia está condicionada a atributos urbanos, como el diseño de viviendas y los usos, coberturas y densidades del suelo, lo que da cabida al cambio en el régimen térmico y pluviométrico del clima urbano, (Romero et al., 2010; Ward et al., 2016). Por lo tanto, la contextualización de la interrelación entre aspectos urbanos y climáticos es relevante para los estudios urbano-regionales, a causa de su intensidad, incidencia y efectos sobre la dinámica urbana.

La espacialidad de la ICU es una expresión más de la variabilidad climática y se manifiesta con altas temperaturas en el centro de las ciudades en comparación con su periferia rural; por lo general presenta un gradiente espacial centro-periferia (Akbari & Kolokotsa, 2016; Debbage & Shepherd, 2015; Oke, 1973, 1987; Zhou et al., 2011). Sin embargo, se han documentado diferentes configuraciones territoriales que no necesariamente se apegan a ello (Córdova, 2011). Así que surge la necesidad de analizar aspectos que condicionan y fomentan la estructura espacial y la incidencia sociodemográfica que se tienen en los centros de población y sistemas urbano-regionales.

La literatura especializada referente a las ICU identifica diversos escenarios en la medición térmica de las ciudades. Esto puede ser a través de la variable de temperatura en la superficie terrestre o del aire, así como por temporalidad, y puede ser a través de horarios específicos, días, semanas o meses (Alomar Garau & Llop Garau, 2018; Debbage & Shepherd, 2015; Estrada et al., 2017; Nichol et al., 2009; Romero et al., 2010; Smith & Andrade, 2013; H.C. Ward et al., 2016; K. Ward et al., 2016; Zhou et al., 2011), situación que se adapta metodológicamente ante la amplia variabilidad de las ICU, lo cual conlleva a obtener realidades que se yuxtaponen y crean diversos escenarios que necesitan ser contrastados para poder ofrecer soluciones acordes a la realidad.

Dentro de esta misma literatura también reconocemos tres grupos de indicadores que permiten vislumbrar la relación y la configuración espacial con las ICU (Akbari & Kolokotsa, 2016; Crespo, 2019; Debbage & Shepherd, 2015; Jáuregui & Heres, 2008; Meinshausen et al., 2020; Schoenberger & Walker, 2017; Seto et al., 2010; Ürge-Vorsatz et al., 2018; Zhou et al., 2011). El primer grupo lo asociamos a los electrodomésticos en viviendas y los insumos necesarios para su funcionamiento; el segundo, a los usos y coberturas del suelo en la ciudad, y el tercero es de corte geográfico, que se refiere a los atributos de localización y difusión urbana.

El uso de electrodomésticos en las viviendas ocasiona dos problemas: el primero es esencialmente la generación de contaminación atmosférica por la producción de energía eléctrica que los hará funcionar. Esta masa contaminante genera Gases de Efecto Invernadero (GEI), responsables del deterioro de la calidad del aire y de retener/reflectar calor en el interior de las ciudades (Akbari & Kolokotsa, 2016; Delgado et al., 2015; Estrada et al., 2017; Federación Española de Municipios y Provincias et al., 2015; ONU-Habitat, 2011; Prinn et al., 2018; Quiroz Benítez, 2013; Ürge-Vorsatz et al., 2018). El segundo problema es que todos los aparatos eléctricos, sin excepción, desprenden energía que se degrada en forma de calor (entropía). Esto provoca un aporte calórico continuo y de contaminantes a las ciudades, lo que intensifica y contribuye a la configuración espacial de las ICU (Akbari & Kolokotsa, 2016; Debbage & Shepherd, 2015; ONU-Habitat, 2011; Ürge-Vorsatz et al., 2018).

El uso del internet supone el uso de múltiples electrodomésticos y dispositivos móviles, que tienen en común el consumo energético continuo y progresivo, degradación energética y emisión de contaminantes. En conjunto, esto representa un reto para el clima urbano por su efecto sobre el balance térmico, pues la contaminación emitida por el consumo energético mundial para su funcionamiento es igual al de la sexta nación del *ranking* mundial. Esto, a partir de una estimación que contabiliza al menos 30 000 millones de dispositivos enlazados y más de 4100 millones de usuarios en el mundo (Crespo, 2019). Por ello es prudente valorar su disposición espacial y posibles efectos sobre la isla de calor dentro de los sistemas urbanos.

Otra variable que requiere atención en la aprehensión de las ICU es el hidroclorofluorocarbono. Su uso se da a través de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, aparatos ampliamente distribuidos en las ciudades. Éste es un GEI que posee la propiedad de absorber y retener el calor (Meinshausen et al., 2020; Montzka et al., 2018; Prinn et al., 2018) lo que trae consigo una adición calórica y desproporcionada a causa de sus propiedades longevas y por la destrucción de la capa de ozono que, a su vez, impide que los rayos solares sean atenuados por la atmósfera. Lo anterior se traduce en mayor incidencia calórica en la superficie terrestre. Esta situación podría estar configurando la espacialidad de las ICU.

El segundo bloque de indicadores que ayuda a identificar la configuración regional de la ICU está ligado a los usos y cobertura de suelo. Aquí se resalta el emplazamiento de la industria manufacturera por dos razones: la primera es que promueve el crecimiento urbano y demográfico, que por su dinámica contribuye al incremento calórico de los centros poblacionales (Schoenberger & Walker, 2017; Seto et al., 2010); y, la segunda, es que su funcionamiento implica un aporte

continuo de GEI que tiende a exacerbar la intensidad y configuración de las ICU (ONU-Habitat, 2011).

La cobertura de concreto y/o pavimento es otro atributo que ha sido indicativo de la distribución de las ICU. Su incorporación es importante por su capacidad para retener y almacenar la radiación solar del día, para después liberarla en forma de calor durante las noches (Jáuregui y Heres, 2008; Norton et al., 2015; Ürge-Vorsatz et al., 2018; Zhou et al., 2011). Esto lo coloca en el debate central de diferentes vertientes teóricas que buscan revertir su difusión o al menos hacerlo de manera amigable con el medioambiente a través del desarrollo de ecotecnias.

Los espacios que disponen de áreas verdes funcionan como agentes climáticos reguladores al interior de las urbes. Su consideración dentro del análisis de las ICU recae sobre su capacidad de evapotranspiración y filtración de agua, elementos que ayudan a refrescar y humedecer espacios aledaños; además, contribuye a generar oxígeno y filtrar la contaminación, así que su ausencia incentiva la conformación de ICU (Akbari & Kolokotsa, 2016; Estrada et al., 2017; Jáuregui & Heres, 2008; Norton et al., 2015; K. Ward et al., 2016; Zhou et al., 2011). Cabe resaltar que estas propiedades pueden variar en función de la densidad, el tipo de vegetación que se disponga y el clima.

En lo referente al tercer grupo de indicadores, la compactidad nos permite valorar la contigüidad de la infraestructura y el equipamiento urbano. Esto parte del supuesto de que las ciudades densas y compactas poseen mayor eficiencia energética, esto tiene que ver con la reducción en distancias que recorre la población, por lo tanto, disminuye sus emisiones de contaminación y suelen ser más frescas que su contraparte (Debbage & Shepherd, 2015; González & Larralde, 2018; Lauf et al., 2016; Tsai, 2005; K. Ward et al., 2016). Además, al ocupar un menor espacio existe mayor disponibilidad para áreas verdes endémicas que permiten mantener fresco el medioambiente.

La altitud es nuestro último indicador de referencia, es un elemento que determina de forma natural las características térmicas de cualquier región y, en donde, a mayor altitud supone espacios más frescos, mientras que conforme nos acercamos al nivel del mar, la temperatura tiende a incrementarse notablemente (Núñez & Higuera, 2018; Sarricolea & Martín-Vide, 2014). Esta variable numérica se emplea como medida alterna al clima en condiciones estables, por lo tanto, es capaz de ofrecer explicación térmica en el comportamiento del clima urbano.

Bajo este contexto consideramos relevante analizar la estructura urbana, sociodemográfica y económica asociada a la variabilidad territorial de la temperatura promedio en el sistema urbano de la Región Centro de México (RCM), a partir de las estaciones meteorológicas, estaciones del

año y por Área Geoestadística Básica (AGEB), datos a los cuales se les brinda un tratamiento estadístico espacial.

Este planteamiento contribuye teórica y metodológicamente con un cambio en la escala territorial, la representación espacial y técnicas no convencionales en la comprensión de las ICU, pues al menos en México no se han abordado los elementos mencionados de manera conjunta y solo se ha trabajado para algunas ciudades de manera aislada (Ballinas, 2011; García et al., 2007; Jáuregui, 1993b, 1993a; Jáuregui & Heres, 2008; Morales et al., 2007; Oke et al., 1999; Villanueva et al., 2013).

2 Materiales y método

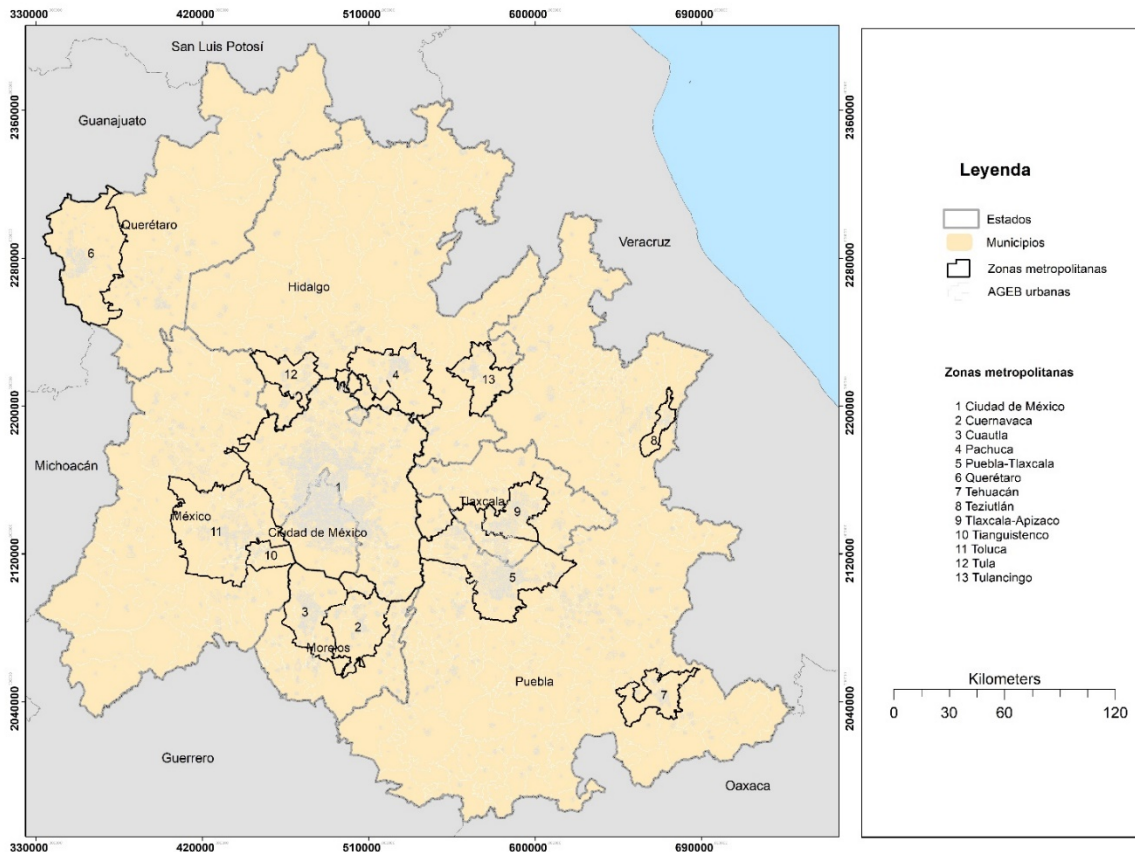
2.1 Delimitación de la zona de estudio

Existe consenso que la Región Centro de México se encuentra conformada por los estados de Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala (Delgado et al., 2015; Galindo Pérez et al., 2020; Negrete, 2008). Su importancia radica en el volumen demográfico y económico que alberga, según datos del censo de población del año 2020 indican que la zona concentra el 33 % de la población, el 44.1 % de inmigrantes (INEGI, 2020) y el 33.8 % del Producto Interno Bruto (PIB) (INEGI, 2019). Esto la convierte en el centro neurálgico del país.

La división territorial que se toma para esta investigación y que va de lo general a lo particular se conforma por 7 estados, 13 zonas metropolitanas, 556 municipios y 10 897 Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) (Figura 1).¹

1 La AGEB más pequeña y grande tienen un área de 0,0044 – 13,9845 km² respectivamente.

Figura 1. Región centro de México



Fuente: elaboración propia a partir de Inegi (2022)

2.2 Autocorrelación espacial: Índice de Moran

Este trabajo usa principalmente estadística espacial por su bondad para analizar, sintetizar y asociar datos georreferenciados con complejos patrones espaciales y de diversa naturaleza. Particularmente nos centramos en el Índice de Correlación Espacial de Moran (Anselin, 1988; Bivand & Piras, 2015; Fujita et al., 1999; Kim et al., 2021; Krugman, 1991; You & Lv, 2018), el cual posee dos variantes que se aplican consecutivamente, y tiene por objeto valorar la existencia de vínculos de dependencia espacial y confirmar la correlación de cada unidad espacial a un fenómeno en particular. El Índice de Correlación Espacial global se expresa de la manera siguiente:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} Z_i Z_j}{s \sum_{i=1}^n Z_i^2}$$

donde: n refiere al total de unidades espaciales, W_{ij} representa una matriz binaria de contigüidad, s es la sumatoria de la matriz W , mientras que Z_i y Z_j representan la estandarización de los valores bajo estudio i y j .

Por su parte, el Índice de Moran local presenta la especificación siguiente:

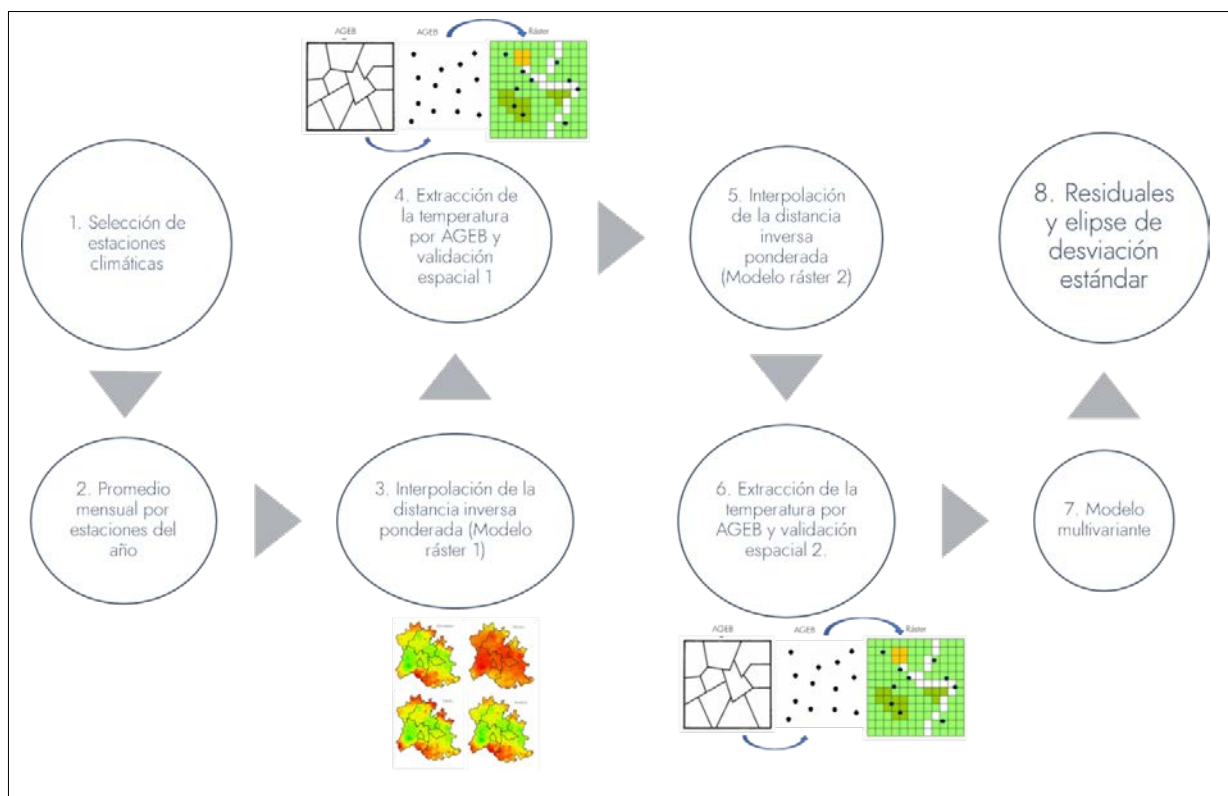
$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 / n}$$

donde: x_i representa un atributo de una unidad espacial bajo análisis, i refiere a la media de los atributos dentro de toda el área de estudio y j indica la sumatoria de las unidades vecinas de i . De esta forma se valida la asociación de espacios contiguos con el total regional (Anselin, 2005; Valdivia, 2008).

2.3 Selección de estaciones climáticas e interpolación de la temperatura promedio mensual

La Base de Datos Climatológica Nacional (Sistema CLICOM) brindó el soporte de datos térmicos a través de las estaciones meteorológicas (CLICOM, 2022). A esta se le realizó un proceso de validación de la temperatura como sugieren diversas investigaciones (Fernández, 1996; Guajardo et al., 2017; Mendoza, 2019). Solo se tomaron en cuenta aquellas con más de 30 años de operación, que estuvieran activas, información a 90 % y que la temperatura promedio mensual fuera inferior a la máxima y superior a la mínima. De esta manera se exploraron diversos años y se determinó que el más reciente y que ofreció una mejor cobertura fue el 2015, con 1031 estaciones climáticas, de las cuales, 509 estaciones meteorológicas cumplieron con los requisitos preestablecidos, 181 corresponden a la RCM y 328, a los estados periféricos (Figura 2).

Figura 2. Proceso metodológico



Fuente: elaboración propia

Posteriormente se obtuvo un nuevo promedio de la temperatura mensual tras haberla agrupado de marzo a mayo (primavera), junio a agosto (verano), septiembre a noviembre (otoño) y diciembre a febrero (invierno). De esta manera antepone el análisis de la temperatura por periodos más allá de días o semanas para poder obtener mejores interpretaciones del vínculo entre urbanización e ICU, tal como lo sugieren diversos autores (Akbari & Kolokotsa, 2016; Debbage & Shepherd, 2015; Estrada et al., 2017; Sarricolea & Martín-Vide, 2014; Zhou et al., 2011).

A la temperatura promedio por estaciones del año se le aplicó el método de interpolación de la Distancia Inversa Ponderada (IDW) con ayuda del *software* ArcMap 10.8 (ESRI, 2022); su aplicación tomó como referencia el radio de búsqueda de 12 estaciones climáticas para poder realizar la interpolación, y un parámetro 2 como exponente de la potencia, con lo cual se obtuvo un modelo ráster que cubriera con valores térmicos a toda la RCM, así quedó completado el tercer paso metodológico.

Luego se extrajo la temperatura del modelo ráster para cada AGEB (paso 4), para posteriormente aplicar el Índice de Moran (global y local) y una simulación de Montecarlo, que en conjunto determinaron qué AGEB, con su respectiva temperatura, era estadísticamente significativa ($p < 0.05$), con lo que se cumplió con los estándares propuestos para la validación de la

temperatura de manera espacial (Guajardo et al., 2017). Así que se obtuvieron nuevos valores de temperatura promedio, que originaron un nuevo modelo ráster que cubriera toda la RCM para cada estación del año, teniendo como referencia la temperatura de cada AGEB. De esta manera, para la primavera se obtuvieron 4137 casos; en verano, 4257; en otoño, 4085, y en invierno, 3465. Finalmente, pasamos estos últimos datos de temperatura promedio de cada AGEB a una tabla de datos para poder ejecutar el modelo multivariante.

2.4 Modelo multivariante

Demostrada la correlación espacial, se aplicó un modelo de rezago espacial, el cual nos permitió valorar la dependencia espacial de los valores que adopta la temperatura promedio y su incidencia en los atributos demográficos, económicos y urbanísticos de la RCM.

La representación matemática del modelo general es la siguiente:²

$$y = pWy + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n + u$$

donde: pW_y es un rezago espacial de la variable dependiente, B_nX_n constituye una matriz de variables independientes explicativas y u indica términos de errores que no están especificados (Anselin, 2005; Anselin y Rey, 2014; CEDRUS, 2022). Con base en lo anterior, se elaboraron cuatro modelos con información estandarizada, en cada uno se utilizó la temperatura promedio mensual de cada estación del año como variable dependiente y como variable independiente se seleccionaron algunos indicadores de corte demográfico, económico y urbano (Tabla 1)³.

2 Este procedimiento se realizó mediante el software GeoDa.

3 Los datos de viviendas particulares habitadas fueron interpolados al año 2015 con los censos del año 2010 y 2020 a través de la Tasa de Crecimiento Medio Anual (Torres, 2009):

$$TCMA = \left[\left(\sqrt[n]{K/k} \right) - 1 \right] \times 100$$

donde:

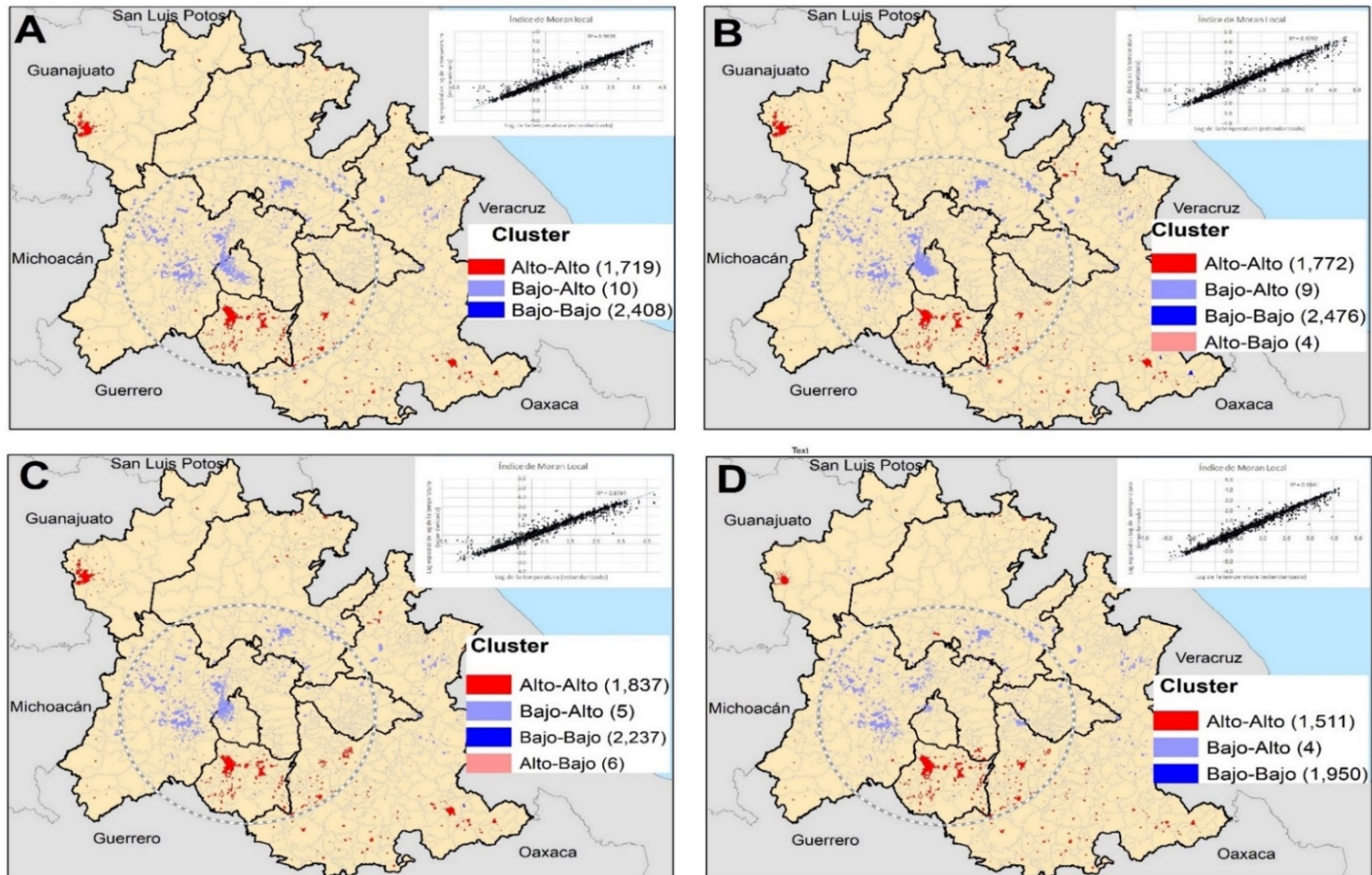
TCMA= tasa de crecimiento medio anual (%).

n= Periodo de cambio (en años)

K: Valor del parámetro en el año final

k: Valor del parámetro en el año inicial

Figura 3. Índice de Moran local: validación de la temperatura por AGEB urbana



Fuente: elaboración propia a partir de CLICOM (2022); Galindo Pérez et al. (2020) & Inegi (2022)

Tabla 1. Variables independientes

VARIABLE	JUSTIFICACIÓN DE SU IMPLEMENTACIÓN	FUENTE
Viviendas Particulares Habitadas con Electricidad (VPHE)	La disponibilidad de energía eléctrica en unidades territoriales con altas densidades incrementa la probabilidad de un mayor uso de electrodomésticos, lo que se traduce en áreas con mayor radiación calórica; relación inversa en áreas poco densas.	Censos y Censos de Población y Vivienda (INEGI, 2020)
Viviendas Particulares Habitadas con Refrigerador (VPHR)	Pese a los esfuerzos por modernizar los sistemas de refrigeración, aún se encuentran en funcionamiento algunos sistemas y otros tantos que todavía emplean gases de hidroclorofluorocarbono (HFC). Este gas es 4000 veces más potente que el dióxido de carbono y su existencia en la atmósfera puede llegar a décadas antes de degradarse. Así que su presencia vislumbrada indirectamente a través de este indicador es que se puede conocer la configuración de las ICU.	Censos y Censos de Población y Vivienda (INEGI, 2020)
Viviendas Particulares Habitadas con Computadora (VPHC)	Su presencia supone un indicador de calidad de vida. Viviendas que posean mayores equipos tendrán un mejor estatus social que aquellas que tienen un número limitado o nulo.	Censos y Censos de Población y Vivienda (INEGI, 2020)
Viviendas Particulares Habitadas con Internet (VPHI)	Supone un uso continuo de energía y aparatos electrónicos, situación que incrementa la aportación termal en su entorno a través de la entropía y emisiones de carbono producto del consumo energético.	Censos y Censos de Población y Vivienda (INEGI, 2020)
Densidad vial	Refiere a cuántos kilómetros de vialidades se encuentran pavimentadas en cada unidad territorial, puesto que el asfalto o concreto representa mayor absorción de la radiación solar, que tiende a ser retenida y liberada en forma de calor.	Geografía y medioambiente: mapas (INEGI, 2022)
Compacidad	Toma como referencia el círculo que se sobrepone en cada unidad territorial bajo análisis; con ello se realiza una comparación matemática, donde el valor de 1 es una aproximación a un círculo perfecto, mientras que el 0 es lo opuesto. Lo ideal sería la aproximación al círculo, ya que denota contigüidad de infraestructura y equipamiento. Esto implica un menor consumo energético por concepto de desplazamientos, que se traduce en menor aporte térmico a las ciudades.	Geografía y medioambiente: mapas (INEGI, 2022)
Manufactura	Su emplazamiento podría ser indicativo de GEI que retienen calor por efecto de la radiación solar y coadyuban a la conformación de ICU.	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) (INEGI, 2015)
Deforestación	La pérdida de vegetación puede interpretarse como ausencia de humedad en el suelo y el aire; conjuntamente expone la superficie ante la radiación solar, sucesos que tienden a elevar la temperatura superficial.	Geografía y medio ambiente: mapas (INEGI, 2022)
Altitud	La distancia respecto al nivel del mar es un factor relevante que condiciona la temperatura de manera natural.	Geografía y medio ambiente: mapas (INEGI, 2022)

Fuente: elaboración propia a partir de Akbari & Kolokotsa (2016); BBC Mundo (2016); Debbage & Shepherd (2015); González & Larralde (2018); Jáuregui & Heres (2008); Norton et al. (2015); Romero et al. (2010); Sarricolea & Martín-Vide (2014); Smith & Andrade (2013); K. Ward et al., (2016); Zhou et al. (2011)

Del modelo de rezago espacial se obtuvieron los valores residuales, correspondientes a la temperatura promedio de cada AGEB. Aquellos con signo positivo muestran una temperatura más allá del promedio observado, es decir, son más cálidos, por lo tanto, son considerados ICU (valores máximos), mientras que los residuales negativos denotan las llamadas islas frías o frescas (valores mínimos). También se obtuvieron los valores intermedios que rondan la temperatura promedio regional y que denominaremos zonas en transición hacia lo frío o cálido. Su delimitación se fijó con base en las frecuencias y los cambios abruptos de la temperatura, y apoyados en un conocimiento regional de la zona de estudio.⁴

Por último, para poder determinar la dirección del gradiente térmico que sigue la ICU por zona metropolitana, se aplicó la técnica de elipse de desviación estándar a cada conjunto de AGEB, tomando el tipo 1 y la temperatura residual del modelo multivariado como valor ponderado. El resultado muestra una elipse superpuesta que adquiere valores de 0 a 360 en sentido de las manecillas del reloj, lo que indica la tendencia térmica de cada zona metropolitana.

3 Resultados: validación del modelo y comparación estacional

De la Tabla 2 se destacan dos aspectos relevantes: el primero, que los signos de todos los coeficientes se comportan de manera estable en las cuatro estaciones del año; en donde la constatación, las Viviendas Particulares Habitadas con Electricidad (VPHE), las Viviendas Particulares Habitadas con Computadora (VPHC), la manufactura y la altitud son las que muestran valores negativos, mientras que el resto de las variables son positivas. En segundo lugar, el modelo en todos los casos es altamente predictivo, con 98 % de la varianza de la temperatura explicada por las variables independientes. Esta situación coincide con estudios que estiman la temperatura con técnicas multivariantes (Demuzere et al., 2017; Meili et al., 2020; Nice et al., 2018; Sarricolea & Martín-Vide, 2014).

La implementación del modelo de rezago espacial permite que los valores residuales sean adecuados para la identificación de la configuración urbano-regional de las ICU en la RCM. Con estos valores se obtiene una representación cartográfica que contribuye más allá de la configuración clásica y ampliamente documentada a través de isotermas ya que su territorialidad se representa por medio de unidades político-administrativas que se encuentran a escala urbana,

4 La edición cartográfica se realizó con el software ArcMap 10.8.

contexto ideal para la implementación de políticas públicas que pretendan hacer frente a la variabilidad climática.

Tabla 2. Centro de México: modelo de rezago espacial para las cuatro estaciones del año

VARIABLE	COEFICIENTES			
	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO
Temperatura promedio (estacional)	0.912*	0.887*	0.896*	0.948*
Constante	-0.177*	-0.206*	-0.180*	-0.079*
Viviendas Particulares Habitadas con Electricidad	-0.041*	-0.029*	-0.022*	-0.017*
Viviendas Particulares Habitadas con Refrigerador	0.060*	0.049*	0.039*	0.030*
Viviendas Particulares Habitadas con Computadora	-0.047*	-0.031*	-0.034*	-0.037*
Viviendas Particulares Habitadas con Internet	0.031*	0.016**	0.022*	0.028*
Densidad vial	0.003*	0.004*	0.004*	0.002*
Compacidad	0.004*	0.003*	0.002*	0.003*
Manufactura	-0.002**	-0.003*	-0.004*	-0.005*
Deforestación	0.010*	0.007*	0.008*	0.006*
Altitud	-0.048*	-0.058*	-0.053*	-0.028*
R ²	0.983	0.98	0.98	0.984

Fuente: elaboración propia

La Figura 4 muestra la configuración espacial de los valores residuales de temperatura para primavera, verano, otoño e invierno. La distribución territorial de las Islas de Calor está representada por el color rojo; su opuesto, la Isla Fría, se indica con color verde oscuro, entre estas dos bandas encontramos los tonos anaranjados y verde claro, los cuales indican temperaturas más cálidas y más frescas, respectivamente. Estas dos últimas representaciones no consolidan una isla térmica en específico; sin embargo, son más susceptibles hacia lo que denominaremos una transición térmica urbana, es decir, pueden consolidarse como Isla de Calor o Isla Fría, hecho susceptible a los intervalos estadísticos que defina el investigador, de ahí que se recomienda una revisión teórica detallada y un reconocimiento climático amplio de la zona en estudio.

En las subdivisiones de la Figura 4 que corresponden a cada estación del año podemos identificar patrones térmicos sobre las AGEB en sus diferentes connotaciones y grados de influencia, con base en esta incidencia se subdividieron las unidades político-administrativas de la región en

aquellas que requieren una atención prioritaria y no prioritaria. La Figura 4.a refiere a la estación de primavera, donde 18 y 35 % del total de AGEB de las entidades Estado de México, Ciudad de México y Puebla son de atención prioritaria. Por ejemplo, solo en la Ciudad de México, poco más de 30 % son de esta característica. En segundo lugar, Morelos, Tlaxcala, Hidalgo y Querétaro tienen una afectación de entre 4 y 8 % del total de AGEB.

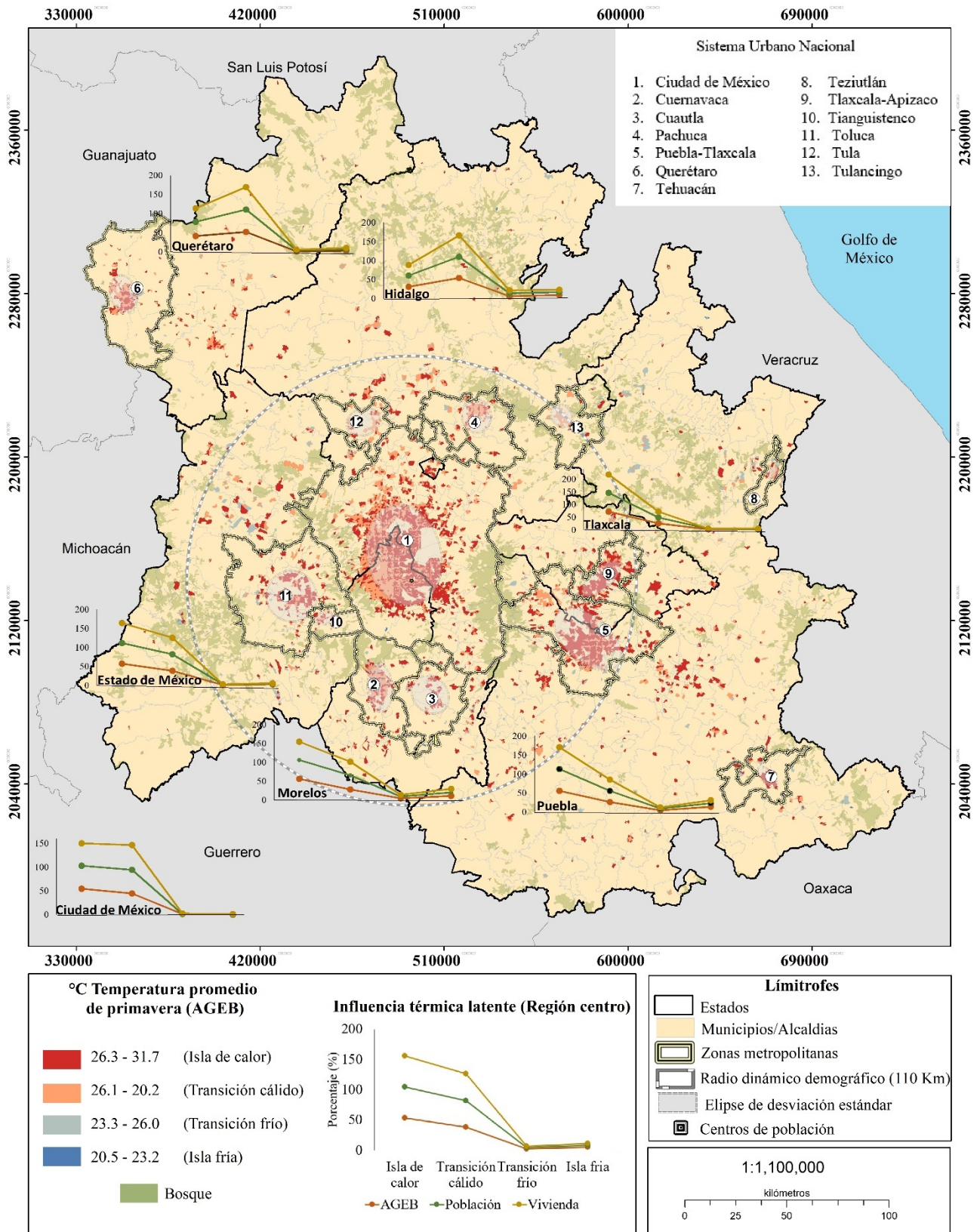
Referente a las zonas metropolitanas, Tulancingo rompe con el esquema térmico anterior, pues muestra signos hacia una transición cálida, pero con importantes áreas que denotan una Isla Fría. Teziutlán, Tula y Cuernavaca muestran un patrón similar, pero con menores AGEB frías. El resto de las zonas metropolitanas evidencian una fuerte presencia de Islas de Calor en su centro urbano, que disminuye de manera irregular hacia la periferia.

Tlaxcala, Estado de México, Morelos, Puebla y Ciudad de México tienen más de 50 % de sus AGEB urbanas, su población y sus viviendas bajo el efecto de Islas de Calor. Querétaro e Hidalgo presentan una menor proporción. Las zonas metropolitanas del norte de la Región Centro presentan una menor incidencia de Islas de Calor en comparación con las del sur, situación que podría estar influenciada por la superficie más amplia, las zonas boscosas y la cercanía a otros centros urbanos en el sur más que en el norte.

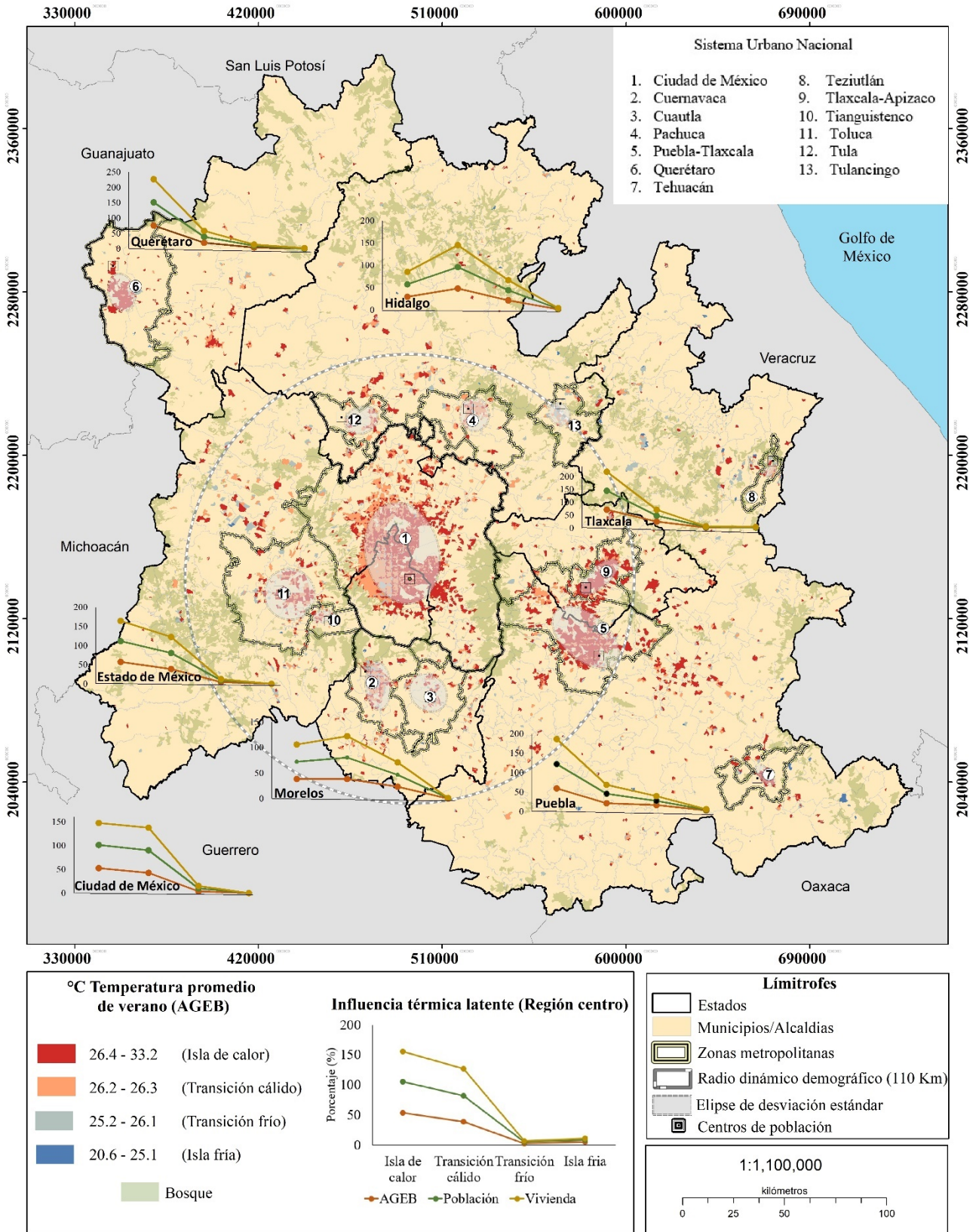
Las ICU se encuentran definidas por la escala geográfica con que se analicen. Sin embargo, podemos asumir que existe evidencia de un gradiente térmico que surge en los centros de población, con mayor presencia hacia el oriente de la Región Centro de México y que parte de las zonas metropolitanas. Además, se identifican dos bloques térmicos espaciales: el primero es más cálido y está en las inmediaciones de las zonas más urbanas; el segundo, menos cálido, se aleja de los centros urbanos y se aproxima hacia zonas rurales, configuración regional que describe el comportamiento típico del fenómeno bajo estudio en diversas investigaciones (Debbage & Shepherd, 2015; Sarricolea & Martín-Vide, 2014; Smith & Andrade, 2013; K. Ward et al., 2016).

Figura 4. Configuración regional de las Islas de Calor por AGEB urbana en la Región Centro de México (2015)

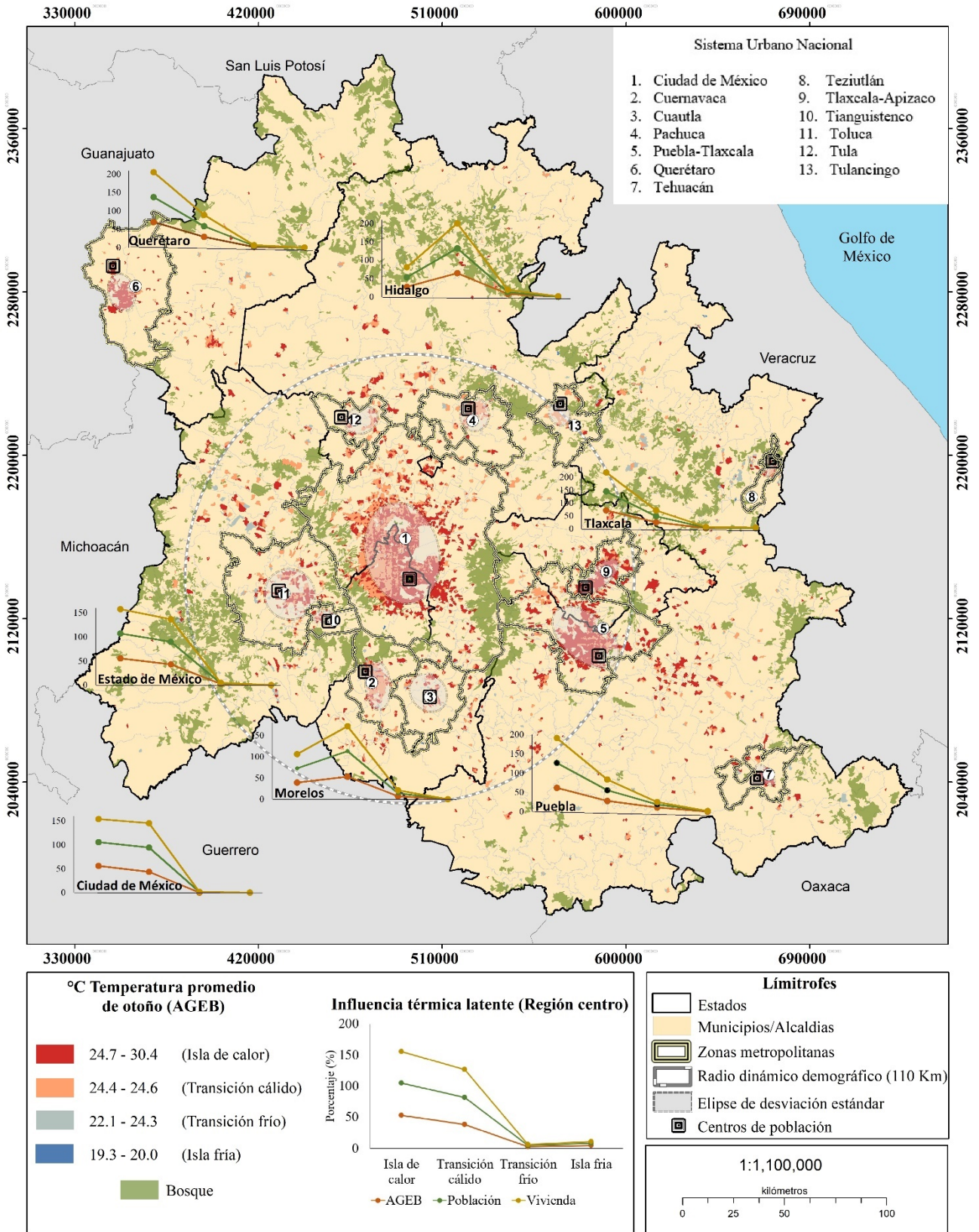
a) Primavera



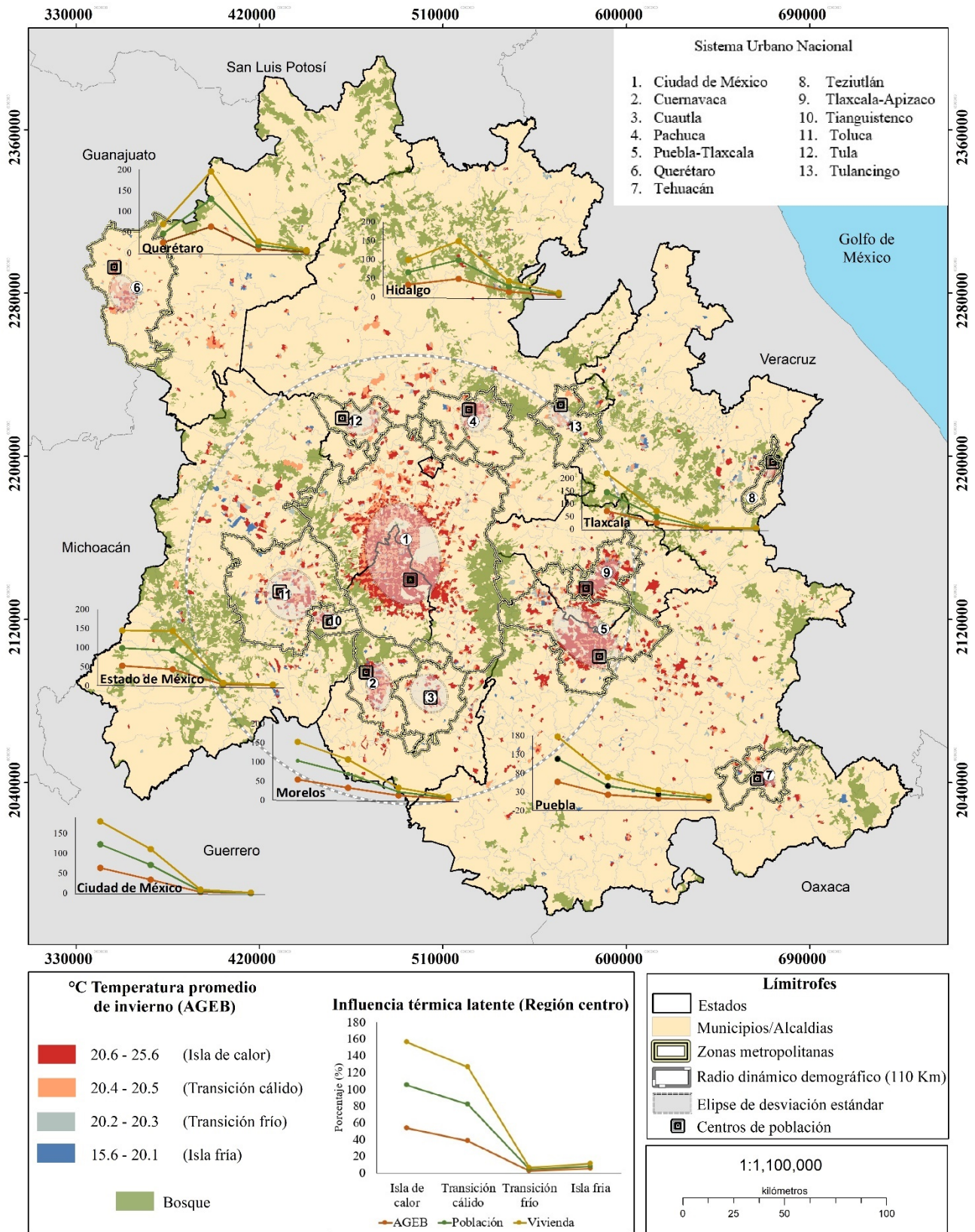
b) Verano



c) Otoño



d) Invierno



Fuente: elaboración propia a partir de CLICOM, (2022);

Galindo Pérez et al. (2020); Inegi, (2020, 2022)

Durante el verano, en el Estado de México, la Ciudad de México y Puebla, la Isla de Calor está presente entre 19 y 35 %, seguidos de Tlaxcala, Querétaro, Hidalgo y Morelos con 5 y 7.3 % de sus AGEB. Esta configuración se asemeja a la primavera, a excepción del segundo bloque, en el que se altera el orden, situación que evidencia cambios cíclicos del fenómeno bajo estudio a lo largo del año, motivo por el cual las acciones de mitigación y adaptación serán tareas que se complejizarán (Figura 4b).

Para este mismo periodo del año, en las zonas metropolitanas de Tulancingo, Teziutlán, Tula y Cuernavaca disminuyen las Islas de Calor, contrario a ello, una cantidad importante de AGEB se mantiene fría, pese al cambio estacional, mientras que en el resto de las urbes de la RCM persisten grandes retos ante la variabilidad climática por el número absoluto de individuos y la infraestructura expuesta a cambios abruptos en los regímenes térmicos.

Tlaxcala, Querétaro, Puebla, Estado de México y Ciudad de México tienen más de 50 % de sus AGEB urbanas, su población y sus viviendas bajo la presencia de Islas de Calor; contrario a ello, Morelos e Hidalgo, en menos de 39 %. Esto quiere decir que, en verano, las ciudades pequeñas y medias son las que presentan ICU más intensas que los centros urbanos más grandes y de mayor tradición, posiblemente como respuesta a un crecimiento más dinámico y desmesurado que su contraparte urbana que a causa de sus dimensiones no se efectúan grandes cambios. Asimismo, se revela la variabilidad térmica incentivada por la escala geográfica de referencia y la persistencia del fenómeno al este de la Región Centro de México con origen en las capitales estatales y zonas metropolitanas.

La Isla de Calor en otoño afecta, sobre todo, al Estado de México, la Ciudad de México y Puebla (entre 14 y 40 % de AGEB), seguidos de Querétaro, Tlaxcala, Morelos e Hidalgo (2.5 y 5.5 % de sus AGEB). Este último grupo es el que cambia en orden de importancia con respecto a las demás estaciones del año. Las zonas metropolitanas transitan por un cambio drástico en su configuración regional térmica, pues solo en Teziutlán persisten AGEB con Islas Frías, mientras que en el resto aumenta la presencia de Islas de Calor.

Referente a las AGEB de Tlaxcala, Querétaro, Puebla, Estado de México y Ciudad de México, seguidos de Morelos e Hidalgo, son más de 50 y 33 %, respectivamente, los que presentan incidencia de ICU en otoño, situación semejante al verano y distante de la primavera. Esto indica la presencia de una correspondencia cíclica asociada a las estaciones del año, situación que complejiza su mitigación y adaptación a causa del cambio que en la superficie afecta.

Hasta ahora, la configuración térmica continúa con su origen en el centro de las zonas metropolitanas y ciudades capital con dirección a la periferia de manera asimétrica, con un patrón espacial único para cada zona metropolitana; consecutivamente, las AGEB en transición cálida aumentan su presencia. Esta situación evidencia una cobertura cálida más amplia, pero con una menor intensidad que el resto de las estaciones del año.

La Isla de Calor en invierno afecta entre 19 y 33 % de las AGEB del Estado de México, la Ciudad de México y Puebla, seguidos de Morelos, Tlaxcala, Hidalgo y Querétaro con 2.5 y 7.6 %. Este segundo grupo es el que presenta mayor variabilidad en el orden de importancia. En lo referente a las zonas metropolitanas, Teziutlán es la única que persiste con AGEB con Islas Frías, el resto aumenta notoriamente la cobertura de Islas de Calor, lo que se asemeja a la estación de otoño, cuando aumenta la superficie, pero disminuye la intensidad calórica.

En los estados, el número de AGEB expuestas supera 50 % en Tlaxcala, Ciudad de México, Puebla, Morelos y Estado de México, mientras que Hidalgo y Querétaro, más de 33 %, patrón espacial que altera la configuración regional con el resto de las estaciones del año, a excepción de otoño. Esto sugiere una sucesión térmica acorde con las estaciones del año, en donde la superficie afectada es más amplia conforme nos acercamos al invierno pese a que la radiación solar dura menos tiempo. Una posible explicación serían los fenómenos meteorológicos propios de invierno: una escasa nubosidad y una alta persistencia de vientos. El primer factor permite el paso libre a los rayos del sol que incrementan más rápidamente la temperatura superficial, mientras que los vientos brevemente disipan este calor, situación que deriva en una ampliación en la superficie de las ICU, pero a una menor intensidad.

La Isla de Calor en la Región Centro de México es concordante con estudios que efectúan su estudio a escalas detalladas (ciudad, barrio o avenidas) (Ballinas, 2011; Jáuregui, 1995; Jáuregui y Heres, 2008; Morales et al., 2007; Villanueva et al., 2013), y con otros espacios geográficos del resto del mundo (Akbari & Kolokotsa, 2016; Córdova, 2011; Romero et al., 2010; Sarricolea & Martín-Vide, 2014; Smith & Andrade, 2013; K. Ward et al., 2016).

La configuración térmica regional parte del centro urbano con tendencia hacia la periferia de manera asimétrica, con cargas térmicas particulares hacia algún punto cardinal. Su origen subyace en las ciudades capitales y zonas metropolitanas, disposición constante a lo largo del año. Asimismo, destacamos que la estación que compromete un mayor porcentaje de AGEB por Isla de Calor Urbano es el verano, seguida del otoño, primavera e invierno, mientras que, por

intensidad, sea esta la temperatura promedio máxima, se encuentra en verano (33.2 °C), primavera (31.7 °C), otoño (30.4 °C) e invierno (25.6 °C).

Respecto a la configuración, sea esta centro-periferia asimétrica, nos referimos a que cada zona metropolitana posee cierta particularidad que no le permite un patrón espacial radial y uniforme, pues al menos así lo demuestra la elipse de desviación estándar (Figura 4), la cual no varía significativamente entre estaciones del año, por lo que podemos decir que las zonas metropolitanas de Querétaro, Tulancingo, Ciudad de México, Cuautla, Puebla-Tlaxcala y Tehuacán poseen un sesgo térmico en dirección sureste-noroeste, cada una de ellas con asimetrías locales.

Al menos en Querétaro esta particularidad denota una carga térmica en la mayor parte de su territorio; mientras que Tulancingo presenta un patrón térmico al suroeste de forma muy limitada, la Ciudad de México posee una mayor carga al oriente, Cuautla presenta altas temperaturas al norte-centro y sur de manera policéntrica, mientras que Puebla-Tlaxcala y Tehuacán la presencia de ICU está presente en la mayoría de su demarcación.

Las zonas metropolitanas de Tlaxcala-Apizaco, Teziutlán, Tianguistenco y Tula muestran, a partir de la elipse de desviación estándar, un patrón térmico en dirección noreste-suroeste. La primera ciudad presenta problemas térmicos en casi la totalidad de su territorio; mientras que Teziutlán, de manera muy puntual y limitada en las AGEB centrales, y Tianguistenco y Tula poseen un patrón territorial térmico más fragmentado con énfasis en las AGEB centrales.

Por último, Toluca y Cuernavaca muestran una configuración térmica única y distinta al resto de las otras zonas metropolitanas: la primera posee un patrón territorial central sin sesgo y policéntrico; la segunda, un patrón norte-sur con carga hacia el norte, sur y oriente de la ciudad.

4 Discusión

En ausencia de datos térmicos por AGEB, se usaron métodos de interpolación a partir de la información existente. Con ello cubrimos este faltante de datos y se logró determinar la configuración térmica regional y su comportamiento en el área urbana de la Región Centro de México a lo largo del año. Con ello trabajamos con unidades político-administrativas detalladas dentro de una escala regional más amplia, y obtenemos dos ventajas en particular: la primera, que el clima, es un componente muy amplio que requiere de un análisis regional para poder valorar su relación y desenvolvimiento en áreas específicas, sea ésta la climatología urbana (Domínguez et al., 2018; Li et al., 2011; Zittis et al., 2019). En este contexto, en las zonas urbanas contiguas,

como, por ejemplo, la Región Centro de México, las ICU necesitan un análisis que tome en cuenta la proximidad geográfica entre urbes para hacer frente a la variabilidad climática.

Segundo, para comprender la dinámica urbana y demográfica es prudente seleccionar una escala que permita adentrarse en el interior de la ciudad, pero sin perder su lógica regional, pues estas se vinculan funcionalmente con la dinámica económica (Camagni, 2005; Valdivia & Delgadillo, 2013). Esta interrelación modifica el desarrollo del medio ambiente, por lo tanto, es importante comprender y vincular de manera conjunta la lógica ambiental, el análisis económico, urbano y sociodemográfico dentro de un contexto local y regional, como respuesta a la proximidad geográfica de los sistemas urbanos

Trabajar a nivel de AGEB fue una decisión que mostró resultados positivos. Estudios previos lo sustentan al exponer cierta similitud con los cambios proyectados que demuestran uniformidad y coherencia (Akbari & Kolokotsa, 2016; Alomar Garau & Llop Garau, 2018; Jáuregui, 1995; Jáuregui & Heres, 2008; Morales et al., 2007; K. Ward et al., 2016). En nuestros resultados pudimos vislumbrar diversas Islas de Calor con distribuciones centro-periferia asimétrica que, con base en el modelo de rezago espacial y la cartografía resultante, concuerda con áreas de altas densidades en infraestructura permeable y poblacionales (mas no lo define), vínculos con la industria y reducción de áreas verdes.

El análisis permitió, también, determinar la incidencia, la intensidad y la cobertura de Islas de Calor. Sin embargo, algunos indicadores que estudios previos planteaban como significativos, no lo fueron para la RCM. Este es el caso de densidad poblacional y de vivienda (Elsayed, 2012; Steeneveld et al., 2011; Wolters & Brandsma, 2012), tasa de crecimiento poblacional (Schoenberger & Walker, 2017), parque vehicular (Morales et al., 2007), cobertura vegetal (con/sin vegetación) (Akbari & Kolokotsa, 2016; Coutts & Harris, 2013), cuerpos de agua (poza, lago, estanque, canal) (Liu & Weng, 2008; K. Ward et al., 2016) y conjuntos habitacionales (simulación de cañones urbanos) (Jáuregui & Heres, 2008). Lo anterior necesita mayor indagación, pues pudiera estar relacionado con la escala (municipal o metropolitana), ya que los estudios de referencia lo trabajan a distinto grado de desagregación territorial. Otra alternativa podría asociarse a la distribución de infraestructura en el espacio que posee cada región, abordaje teóricamente discutido en la dicotomía del crecimiento urbano horizontal y vertical (Barton, 2009; Debbage & Shepherd, 2015; Seto et al., 2010). Así que es importante no realizar una generalización de estudios previos y ahondar en cada espacio geográfico, pues al menos la distribución espacial de

las ICU en la Región Centro de México se asocia a una urbanización horizontal de tipo policéntrica y fragmentada.

Los indicadores utilizados arrojan que el comportamiento de las temperaturas promedio de las AGEB está en función de los atributos climáticos de sus vecinos inmediatos, así que las ICU son un fenómeno que posee un fuerte componente del distanciamiento y las similitudes geográficas entre áreas contiguas más que con zonas alejadas, planteamiento que pone su sustento en la primera ley de la geografía o ley de Tobler (Tobler, 1970): premisa de las técnicas econométricas del análisis estadístico espacial que fueron utilizadas en este trabajo para el estudio de las ICU.

Las VPHE denotan un vínculo negativo con el incremento de la temperatura, lo que sugiere que el consumo energético en viviendas en la Región Centro de México no es tan alto como para generar una Isla de Calor. Esta situación requiere mayor análisis a causa de su desfase respecto del planteamiento teórico expuesto en la tabla de indicadores y las investigaciones que denotan una relación positiva (Akbari & Kolokotsa, 2016; Debbage & Shepherd, 2015; Seto et al., 2010; Üрге-Vorsatz et al., 2018). Mayor significancia estadística pudiera estar sesgado a zonas menos extensas con una fuerte dinámica económica, en donde el consumo es más amplio y, además, podría existir una mayor densidad de GEI, elementos que contribuyen a la concentración, el almacenamiento y la difusión de altas temperaturas que dan cabida a las ICU (Akbari & Kolokotsa, 2016; Debbage & Shepherd, 2015; Seto et al., 2010; Üрге-Vorsatz et al., 2018).

En nuestros resultados, las VPHR muestran una asociación positiva con las Islas de Calor Urbanas, relación fundamentada con el hidroc fluorocarbono (Bolaños, 2021; Revadekar & Patil, 2011; Vilchis & Garrocho, 2019). Sin embargo, habría que deslindar si se trata de un problema heredado a causa de su alta persistencia atmosférica, por su uso indiscriminado en décadas previas y por un bajo compromiso por parte de las empresas en su implementación en sistemas de refrigeración y/o por el uso persistente de viejos sistemas de refrigeración que dependen de este gas.

La población con altos ingresos se encuentra en zonas con un mayor confort térmico, sin embargo, los individuos con ingresos bajos están más expuestos a las inclemencias de las Islas de Calor, situación coincidente con la literatura (Barton, 2009; Flores et al., 2018; Romero et al., 2010; Smith & Andrade, 2013). Esto podría implicar que su mitigación se trata de un problema de justicia social (Norton et al., 2015). Esto último conlleva a su incorporación en las agendas políticas y organizaciones civiles.

Además, diversos estudios apuntan que esta acción necesita su pronta intervención, pues han demostrado que los grupos de población que poseen recursos limitados tienen menores

oportunidades de hacer frente a la variabilidad climática y podrían estar expuestos a más contingencias que se podrían agudizar por su emplazamiento en zonas apartadas y de riesgos (Delgado et al., 2015; Romero et al., 2010; Sánchez & Morales, 2018). En esta lógica, la Región Centro de México se caracteriza por sus asimetrías regionales y por ser la zona de mayor concentración demográfica de México, de ahí la urgencia de una pronta intervención.

Las VPHI también denotan una correlación positiva con las ICU. La explicación tendría que ver con un mayor consumo energético que se traduce en huella de carbono por tres razones a destacar: a) suponen un uso continuo de aparatos electrónicos que se vinculan entre sí y por tanto existe una mayor demanda energética, b) incremento en el tráfico digital que requiere la construcción de centrales de ordenadores de diferentes operadores de servicios informáticos, que tienen necesidades de refrigeración por el calor que implica su funcionamiento (Crespo, 2019). Es importante reconocer que los centros urbanos cuentan con un importante desarrollo de este tipo infraestructura, el cual disminuye conforme nos dirigimos a la periferia, de ahí su relación con la configuración radial asimétrica de las ICU.

La densidad vial en la Región Centro de México posee una relación positiva con la configuración de las ICU. Esto tiene que ver con sus propiedades físicas: al tratarse de un material no poroso, tiende a retener con mayor intensidad los rayos solares y reflejarlos en forma de calor. Esta densidad posee fundamento en la amplia difusión de la movilidad motorizada en la zona de estudio, y se ha convertido un problema doble a causa de la contaminación proveniente de la combustión interna de los motores y su aportación calórica al medioambiente (Córdova, 2011; Jáuregui & Heres, 2008; Smith & Andrade, 2013).

La dimensión morfológica urbana fue evaluada a través de la compacidad, que refleja la contigüidad de infraestructura y equipamiento. La investigación manifiesta que la temperatura se acentúa conforme los centros de población tiende a la proximidad y a la aglomeración en la Región Centro de México. Bajo este precepto resulta relevante analizar los patrones de localización de la producción, el consumo y el crecimiento urbano horizontal o vertical.

Por lo que respecta a la industria, ésta muestra una relación negativa con el incremento de la temperatura, que se acentúa en las grandes urbes. La razón de ello es que la Región Centro de México ha experimentado una reestructuración económica que expulsó la industria de la Zona Metropolitana del Valle de México hacia la periferia rural, ciudades medias y capitales estatales (Aguilar & Hernández-Lozano, 2018; Escamilla, 2002; Galindo Pérez et al., 2020; Olivera & Galindo, 2013). De esta forma, la reestructuración industrial justificaría la existencia de Islas de

Calor en las AGEB de las ciudades medias, capitales estatales y periferia urbana; claro, es evidente que la desconcentración de las actividades económicas viene aparejada de una transformación de los patrones de migración interna. Esta situación conlleva a la extensión abrasiva de las ICU más allá de los grandes centros de población y convierte un fenómeno urbano en un problema regional, como respuesta a la proximidad que se tiene entre las ciudades de la RCM.

La deforestación es un atributo que en la Región Centro de México configura la extensión y la intensidad de las ICU, hecho documentado ampliamente en la literatura en otras regiones. Ante ello es de vital importancia destacar el papel que desempeñan los parques urbanos (Romero et al., 2010; Vásquez, 2016) y los tipos de vegetación urbana (Manoli et al., 2019; Pataki et al., 2011; K. Ward et al., 2016). En este contexto es imperante proteger las áreas verdes inmediatas a los centros urbanos e implementar políticas de infraestructura verde en las ciudades a fin de brindar un ambiente más fresco hacia la población.

La altitud denota una asociación negativa con la presencia de áreas cálidas, hecho geográfico que se asocia con los factores del clima (Sarricolea & Martín-Vide, 2014), que condiciona de forma natural los atributos de las regiones climáticas donde, a mayor altitud, se esperaría una menor presencia de ICU, y a la inversa.

5 Conclusiones

La distribución espacial de las distintas áreas con ICU en la RCM es del tipo centro-periferia asimétrico y con origen en los centros poblacionales de las ciudades capital o de las zonas metropolitanas. Las extensiones de estas zonas térmicas crean un área de calor policéntrica, dentro y fuera de cada estado, zona metropolitana y dentro de la Región Centro de México. Por lo tanto, la proximidad entre centros de población juega un factor relevante según lo demuestra el modelo e investigaciones previas (Debbage & Shepherd, 2015; K. Ward et al., 2016). En nuestra zona de estudio, este fenómeno da cabida a particularidades locales que requieren mayor investigación que explore la estructura territorial de las ICU a diversas escalas para realizar un balance de los hallazgos obtenidos.

La estructura morfológica vinculada a las ICU debería tener mayor relevancia e impacto en los planteamientos teóricos urbano-regionales de amplia tradición que han explicado la localización de las actividades económicas y centros de población documentados en diversas investigaciones (Isard, 1956; Krugman, 1991; Valdivia & Delgadillo, 2013); de ahí la necesidad de profundizar y actualizar las implicaciones teóricas del clima urbano y su influencia en los componentes teóricos

de la localización económica, tal como sugieren algunos autores (Schoenberger & Walker, 2017; Yohe & Schlesinger, 2002).

A partir de los resultados, es claro que los cambios térmicos significativos que dan origen a las ICU en la región están relacionados con las estaciones del año. Sobre esta base se podrá contribuir a combatir la incidencia térmica y sus múltiples repercusiones sobre la seguridad alimentaria, migración ambiental (Quintana, 2016); disminución de la productividad; actividades sociales, culturales y recreativas; mayor consumo energético para los sistemas de enfriamiento y aire acondicionado (Conde et al., 2013); sequías; inundaciones; y cambios en los ciclos agrícolas (Conde et al., 2013; Flores et al., 2018; Quintana, 2016).

Ante escenarios no controlados de ICU, las personas podrían presentar problemas que valdría la pena explorar en términos de salud a causa de incendios forestales (Córdova, 2011), mayor mortalidad por golpes de calor, morbilidad por alergias y problemas respiratorios, propagación de enfermedades tropicales fuera de su banda climática de origen (malaria, dengue, fiebre amarilla y encefalitis) (Flores et al., 2018), quemaduras de piel, calambres, agotamiento, insolación y golpes de calor, aspectos en los cuales la población más vulnerable se compone de ancianos, niños pequeños, enfermos crónicos y personas con obesidad (Córdova, 2011; Flores et al., 2018). De aquí surge la necesidad y la urgencia por identificar grupos vulnerables bajo el efecto de ICU en futuras investigaciones, para poder contrarrestar los efectos adversos en ella.

Se hace un llamado al análisis de ICU dentro de los sistemas urbanos nacionales y bajo contextos del cambio climático global, ola de calor, los fenómenos El Niño y La Niña solo por mencionar algunos. La razón de ello es alcanzar la mitigación y adaptación de las urbes puesto que ninguna ciudad está exenta de comenzar a presentar ICU en un futuro próximo (Bulkeley, 2019; Estrada et al., 2017; Ignjacevic et al., 2021; K. Ward et al., 2016; Yohe & Schlesinger, 2002). Así mismo vincularlo con la migración, crecimiento urbano y ciclos económicos a fin de dar un siguiente paso que conduzca hacia una política urbana regional integral (Bulkeley, 2019; Estrada et al., 2017; ONU-Habitat, 2011; Quiroz Benítez, 2013).

Agradecimientos: Este trabajo es producto de una estancia posdoctoral realizada gracias al Programa de Becas Posdoctorales en la UNAM (POSDOC).

Declaración responsable: El autor declara que no existe ningún conflicto de interés con relación a la publicación de este artículo. Las tareas se han distribuido de la manera siguiente: Israel Rosas coordinó el trabajo, participó en la revisión bibliográfica, procesamiento de datos y redacción del

artículo. Enrique Pérez participó en la revisión bibliográfica, sugerencias al proceso metodológico y redacción del artículo.

6 Bibliografía

Aguilar, A.G., & Hernández-Lozano, J. (2018). La reorientación de flujos migratorios en la ciudad-región. El caso de la Ciudad de México en la Región Centro. *EURE (Santiago)*, 44(133), 135-159. <https://doi.org/10.4067/s0250-71612018000300135>

Akbari, H., & Kolokotsa, D. (2016). Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and Buildings*, 133, 834-842. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.067>

Alomar Garau, G., & Llop Garau, J. (2018). La isla de calor urbana de Palma (Mallorca, Islas Baleares): avance para el estudio del clima urbano en una ciudad litoral mediterránea. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (78), 392-418. <https://doi.org/10.21138/bage.2404>

Anselin, L. (1988). *Spatial economics: methods and models (Primera)*. Kluwer Academic Publishers.

Anselin, L. (2005). *Exploring spatial Data with GeoDatm: A workbook (Primera)*. Luc Anselin.

Anselin, L., & Rey, S.J. (2014). *Modern Spatial Econometrics in Practice: A Guide to GeoDa, GeoDaSpace and PySA*. GeoDa press LLC.

Ballinas, M. de J. (2011). *Mitigación de la isla de calor urbana: estudio de caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México* (Master's Thesis, UNAM, Mexico). <http://132.248.9.195/ptd2012/abril/0678897/Index.html>

Barton, J.R. (2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. *Revista de Geografía Norte Grande*, 43, 5-30. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n43/art01.pdf>

BBC Mundo (2016). *Los gases ultracontaminantes que se encuentran dentro de tu casa*. BBC Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-37679462>

Bivand, R., & Piras, G. (2015). Comparing Implementations of Estimation Methods for Spatial Econometrics. *Journal of Statistical Software*, 63(18). <https://doi.org/10.18637/jss.v063.i18>

Bolaños, B. (2021). Mario Molina: pionero de la justicia ambiental. *Educación Química*, 32(4), 43-54. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.4.80331>

Bulkeley, H. (2019). Navigating climate's human geographies: Exploring the whereabouts of climate politics. *Dialogues in Human Geography*, 9(1), 3-17. <https://doi.org/10.1177/2043820619829920>

Camagni, R. (2005). *Economía urbana*. Antonio Bosch.

CEDRUS (2022). *Taller de análisis de datos espaciales. Modelo de rezago espacial con GeoDa*. UNAM. <https://cedrus-unam.blogspot.com/>

CLICOM (2022). *Base de datos climatológica nacional*. SMN. <http://clicom-mex.cicese.mx/>

Conde, C., Pabón, D., & Sánchez, R. (2013). *La importancia de la información climática para la planificación del crecimiento y el desarrollo urbano*. En *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina* (pp. 25-40). CEPAL. <http://hdl.handle.net/11362/37074>

Córdova, K. (2011). Impacto de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre-2009, marzo-2010. *Terra Nueva Etapa*, 27(42), 95-122. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-70892011000200005&lng=es&nrm=iso

Coutts, A., & Harris, R. (2013). *A multi-scale assessment of urban heating in Melbourne during an extreme heat event and policy approaches for adaptation*. Victorian Centre for Climate Change and Adaptation Research. <http://www.vcccar.org.au/sites/default/files/publications/Multiscale%20assessment%20Urban%20heating%20Technical%20Report.pdf>

Crespo, C. (2019). ¿Cuánto contamina internet? National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2019/02/cuanto-contamina-internet>

Debbage, N., & Shepherd, J. M. (2015). The urban heat island effect and city contiguity. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, 181-194. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.08.002>

Delgado, G.C., De Luca, A., & Vázquez, V. (2015). *Adaptación y mitigación urbana del cambio climático*. CEIICH-UNAM. <http://computo.ceiich.unam.mx/webceiich/docs/libro/Adaptacion-web1.pdf>

Demuzere, M., Harshan, S., Järvi, L., Roth, M., Grimmond, C.S.B., Masson, V., Oleson, K.W., Velasco, E., & Wouters, H. (2017). Impact of urban canopy models and external parameters on the modelled urban energy balance in a tropical city. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 143(704), 1581-1596. <https://doi.org/10.1002/qj.3028>

Domínguez, R., Carrizosa, E., Fuentes, G.E., Arganis, M. L., Osnaya, J., y Galván-Torres, A. E. (2018). Análisis regional para estimar precipitaciones de diseño en la república mexicana. *Tecnología y ciencias del agua*, 09(1), 05-29. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-01-01>

Elsayed, I. (2012). Effects of population density and landmanagement on the intensity of urban heat islands: A case study on the city of Kuala Lumpur, Malaysia. In B. Alam (Ed.), *Application of*

geographic information systems (pp. 267-282). Intech, Rijeka.

<https://www.intechopen.com/chapters/40507>

Escamilla, I. (2002). Dinamismo del mercado laboral urbano en la región centro de México. *Scripta Nova*. <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn119-61.htm>

ESRI (2022). Conceptos del conjunto de herramientas Interpolación de ráster. ESRI. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/2.8/tool-reference/3d-analyst/how-idw-works.htm>

Estrada, F., Botzen, W.J.W., & Tol, R. S. J. (2017). A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change*, 7(6), 403-406. <https://doi.org/10.1038/nclimate3301>

Federación Española de Municipios y Provincias, Red Española de Ciudades por el Clima y Ministerio de Agricultura, y Alimentación y Medio Ambiente (2015). *Medidas para la mitigación y la adaptación al cambio climático en el planeamiento urbano. Guía metodológica* (1a ed., vol. 1).

Federación Española de Municipios y provincias, Red Española de Ciudades por el Clima y Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente http://oa.upm.es/35571/7/FEMP_Medidas_CCC_Planeamiento_urbano.pdf

Fernández, F. (1996). *Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación*. Síntesis & Felipe Fernández García.

Flores, S., Vázquez, O., & Juárez, A. (2018). *El cambio climático en la región centro de México: bases para el diseño de una investigación interdisciplinaria*. UNAM-AMECIDER A.C. <http://ru.iiec.unam.mx/4255/>

Fujita, M., Krugman, P., & Venables, J.A. (1999). *The spatial economy. Cities, regions and international trade*. The MIT Press.

Galindo Pérez, M.C., Pérez Campuzano, E., & Suárez Lastra, M. (2020). Movilidad intrarregional en la región Centro de México, 2000-2015. *Investigaciones Geográficas*, 102. <https://doi.org/10.14350/rig.60093>

García, O. R., Jáuregui, E., Toudert, D., & Tejada, A. (2007). Detection of the urban heat island in Mexicali, B.C., México and its relationship with land use. *Atmósfera*, 20(2), 111-131. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362007000200001

González, S., & Larralde, A.H. (2018). La forma urbana actual de las zonas metropolitanas en México: indicadores y dimensiones morfológicas. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 34(1), 11-42. <https://doi.org/10.24201/edu.v34i1.1799>

- Guajardo, R.A., Granados, G.R., Sánchez, I., Díaz, G., & Barbosa, F. (2017). Validación espacial de datos climatológicos y pruebas de homogeneidad: caso Veracruz, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 08(5), 157-177. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-05-11>
- Ignjacevic, P., Estrada, F., & Botzen, W.J.W. (2021). Time of emergence of economic impacts of climate change. *Environmental Research Letters*, 16(7), 1-10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac0d7a>
- INEGI (2015). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- INEGI (2019). *Producto interno bruto por entidad federativa 2019*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/OtrTemEcon/PIBEntFed20>
- INEGI (2020). *Censos y conteos de población y vivienda*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- INEGI (2022). *Geografía y medio ambiente: mapas*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>
- Isard (1956). *Location and space-economy*. MIT Press. [http://www.economia.unam.mx/cedrus/descargas/locationspaceeco00isar%20\(1\).pdf](http://www.economia.unam.mx/cedrus/descargas/locationspaceeco00isar%20(1).pdf)
- Jáuregui, E. (1993a). La isla de calor urbano de la ciudad de México a finales del siglo XIX. *Investigaciones Geográficas*, 1(26), 185-195. <https://doi.org/10.14350/rig.59016>
- Jáuregui, E. (1993b). Mexico City's heat island revisited. *Erdkunde*, 47(3), 185-195. <https://www.jstor.org/stable/25646493>
- Jáuregui, E. (1995). Algunas alteraciones de largo periodo del clima de la ciudad de México debidas a la urbanización. *Investigaciones Geográficas Boletín*, 31, 9-44. <http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/59035/52022>
- Jáuregui, E., & Heres, M.E. (2008). El clima/bioclima de un parque periurbano de la Ciudad de México. *Investigaciones Geográficas*, 67, 101-112. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112008000300007&script=sci_abstract&lng=es

- Kim, Y.R., Williams, A.M., Park, S., & Chen, J.L. (2021). Spatial spillovers of agglomeration economies and productivity in the tourism industry: The case of the UK. *Tourism Management*, 82, 104201. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2020.104201>
- Krugman, P. (1991). *Increasing Returns and Economic Geography*. *Journal of Political Economy*, 99(3), 483-499. <https://doi.org/10.1086/261763>
- Lauf, S., Haase, D., & Kleinschmit, B. (2016). The effects of growth, shrinkage, population aging and preference shifts on urban development—A spatial scenario analysis of Berlin, Germany. *Land Use Policy*, 52, 240-254. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.12.017>
- Li, L., Casado, A., Dell'Aquila, A., Dubois, C., Elizalde, A., L'Hévéder, B., Lionello, P., Sevault, F., Somot, S., Ruti, P., & Zampieri, M. (2011). Modelling of the Mediterranean climate system. In P. Lionello (Ed.), *Mediterranean Climate Variability* (pp. 419-448). Elsevier B.V.
- Liu, H., & Weng, Q. (2008). Seasonal variations in the relationship between landscape pattern and land surface temperature in Indianapolis, USA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144(1-3), 199-219. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9979-5>
- Manoli, G., Fatichi, S., Schläpfer, M., Yu, K., Crowther, T.W., Meili, N., Burlando, P., Katul, G. G., & Bou-Zeid, E. (2019). Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population. *Nature*, 573(7772), 55-60. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1512-9>
- Meili, N., Manoli, G., Burlando, P., Bou-Zeid, E., Chow, W.T.L., Coutts, A.M., Daly, E., Nice, K. A., Roth, M., Tapper, N.J., Velasco, E., Vivoni, E.R., & Fatichi, S. (2020). An urban ecohydrological model to quantify the effect of vegetation on urban climate and hydrology (UT&C v1.0). *Geoscientific Model Development*, 13(1), 335-362. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-335-2020>
- Meinshausen, M., Nicholls, Z.R.J., Lewis, J., Gidden, M.J., Vogel, E., Freund, M., Beyerle, U., Gessner, C., Nauels, A., Bauer, N., Canadell, J.G., Daniel, J.S., John, A., Krummel, P.B., Luderer, G., Meinshausen, N., Montzka, S.A., Rayner, P.J., Reimann, S., Smith, S.J., Van den Berg, M., Velders, G.J.M., Vollmer, M.K., & Wang, R.H.J. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development*, 13(8), 3571-3605. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>

Mendoza, I. (2019). Metodología para validar datos climáticos de precipitación y temperatura. *Academia Journals*, 1857-1862.

https://www.researchgate.net/publication/346816119_METODOLOGIA_PARA_VALIDAR_DATOS_CLIMATICOS_DE_PRECIPITACION_Y_TEMPERATURA

Montzka, S.A., Dutton, G. S., Yu, P., Ray, E., Portmann, R.W., Daniel, J.S., Kuyjpers, L., Hall, B.D., Mondeel, D., Siso, C., Nance, J.D., Rigby, M., Manning, A.J., Hu, L., Moore, F., Miller, B.R., & Elkins, J.W. (2018). An unexpected and persistent increase in global emissions of ozone-depleting CFC-11. *Nature*, 557(7705), 413-417. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0106-2>

Morales, C., Madrigal, U., & González, L. (2007). Isla de calor en Toluca, México. *Ciencia Ergo*, 14(3), 307-316. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10414308>

Negrete, M.E. (2008). *El centro de México: evolución, límites y oportunidades para el desarrollo regional*. El colegio de México, Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales.

Nice, K.A., Coutts, A.M., & Tapper, N.J. (2018). Development of the VTUF-3D v1.0 urban microclimate model to support assessment of urban vegetation influences on human thermal comfort. *Urban Climate*, 24, 1052-1076. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.12.008>

Nichol, J.E., Fung, W.Y., Lam, K., & Wong, M. S. (2009). Urban heat island diagnosis using ASTER satellite images and 'in situ' air temperature. *Atmospheric Research*, 94(2), 276-284. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.06.011>

Norton, B.A., Coutts, A.M., Livesley, S.J., Harris, R.J., Hunter, A.M., & Williams, N.S.G. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 134, 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.018>

Núñez, A.C., & Higuera, E. (2018). Altitud, variables climáticas y tiempo de permanencia de las personas en plazas de Ecuador. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 10(2), 414-425. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.002.ao11>

Oke, T.R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7(8), 769-779. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6)

Oke, T.R. (1987). *Boundary layer climates*. Routledge.

Oke, T.R., Spronken-Smith, R.A., Jáuregui, E., & Grimmond, C.S.B. (1999). The energy balance of central Mexico City during the dry season. *Atmospheric Environment*, 33(24-25), 3919-3930. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00134-X](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00134-X)

Olivera, G., & Galindo, C.M. (2013). Dinámica económica y migración en el centro de México: impronta territorial de dos procesos convergentes. *Economía, sociedad y territorio*, 13(42), 381-430.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-84212013000200005&script=sci_abstract

ONU-Habitat (2011). *Informe mundial sobre asentamientos humanos 2011. Las ciudades y el cambio climático: orientaciones para políticas*. ONU-Habitat.

<https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Las%20Ciudades%20Y%20El%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20Orientaciones%20Para%20Pol%C3%ADticas.pdf>

Pataki, D.E., McCarthy, H.R., Litvak, E., & Pincetl, S. (2011). Transpiration of urban forests in the Los Angeles metropolitan area. *Ecological Applications*, 21(3), 661-677.

<https://doi.org/10.1890/09-1717.1>

Prinn, R.G., Weiss, R.F., Arduini, J., Arnold, T., DeWitt, H.L., Fraser, P.J., Ganesan, A.L., Gasore, J., Harth, C.M., Hermansen, O., Kim, J., Krummel, P.B., Li, S., Loh, Z.M., Lunder, C.R., Maione, M., Manning, A.J., Miller, B.R., Mitrevski, B., Mühle, J., O'Doherty, S., Park, S., Reimann, S., Rigby, M., Saito, T., Salameh, P.K., Schmidt, R., Simmonds, P.G., Steele, L.P., Vollmer, M.K., Wang, R.H., Yao, B., Yokouchi, Y., Young, D., & Zhou, L. (2018). History of chemically and radiatively important atmospheric gases from the Advanced Global Atmospheric Gases Experiment (AGAGE). *Earth System Science Data*, 10(2), 985-1018. <https://doi.org/10.5194/essd-10-985-2018>

Quintana, F. (2016). Dinámicas, escalas y dimensiones del cambio climático. *TLA-MELAU Revista de Ciencias Sociales*, 41, 180-200. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tla/v10n41/1870-6916-tla-10-41-00180.pdf>

Quiroz Benítez, D.E. (2013). Las ciudades y el cambio climático: el caso de la política climática de la Ciudad de México / Cities and Climate Change: The Case of the Climate Policy of Mexico City. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 28(2), 343. <https://doi.org/10.24201/edu.v28i2.1432>

Revadekar, J.V., & Patil, S.D. (2011). On the surface air temperature variation in relation to chlorofluorocarbons over the Indian region. *Atmospheric Environment*, 45(37), 6658-6668. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.069>

- Romero, H., Salgado, M., & Smith, P. (2010). Cambios climáticos y climas urbanos: Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile. *Revista INVI*, 25(70). <https://doi.org/10.4067/S0718-83582010000300005>
- Sánchez, R., & Morales, A. (2018). Vulnerability Assessment to Climate Variability and Climate Change in Tijuana, Mexico. *Sustainability*, 10(7), 2352. <https://doi.org/10.3390/su10072352>
- Sarricolea, P., & Martín-Vide, J. (2014). El estudio de la Isla de Calor Urbana de Superficie del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y Análisis de Componentes Principales. *Revista de geografía Norte Grande*, 57, 123-141. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022014000100009>
- Schoenberger, E., & Walker, R.A. (2017). Beyond exchange and agglomeration: resource flows and city environments as wellsprings of urban growth. *Journal of Economic Geography*, 17(5), 935-958. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbw012>
- Seto, K.C., Sánchez, R., & Fragkias, M. (2010). The new geography of contemporary urbanization and the environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 35(1), 167-194. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125336>
- Smith, P., & Andrade, X. (2013). Distribución termal intraurbana en las ciudades de Santiago y Valparaíso. Análisis comparativo de sus factores explicativos. *Investigaciones Geográficas*, 46, 25-46. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2013.30281>
- Steeneveld, G.J., Koopmans, S., Heusinkveld, B.G., van Hove, L. W. A., y Holtslag, A. A. M. (2011). Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands. *Journal of Geophysical Research*, 116(D20), 1-14. <https://doi.org/10.1029/2011JD015988>
- Tobler, W.R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46, 234-240. <https://doi.org/10.2307/143141>
- Torres, F. (2009). *Técnicas para el análisis regional. Desarrollo y aplicaciones*. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM y Trillas.
- Tsai, Y.-H. (2005). Quantifying urban form: compactness versus «Sprawl». *Urban Studies*, 42(1), 141-161. <https://doi.org/10.1080/0042098042000309748>
- Ürge-Vorsatz, D., Rosenzweig, C., Dawson, R.J., Sanchez, R., Bai, X., Salisu, A., Seto, K.C., & Dhakal, S. (2018). Locking in positive climate responses in cities. *Nature Climate Change*, 8, 174-185. www.nature.com/natureclimatechange

- Valdivia, M. (2008). Desigualdad regional en el centro de México. Una exploración espacial de la productividad en el nivel municipal durante el periodo 1988-2003. *Investigaciones Regionales*, 13, 5-34. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28901301>
- Valdivia, M., & Delgadillo, J. (2013). *La Geografía y la economía en sus vínculos actuales: una antología comentada del debate contemporáneo*. IIEc-UNAM y CRIM-UNAM.
- Vásquez, A.E. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, 63, 63-86. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022016000100005>
- Vilchis, I., & Garrocho, C.F. (2019). Comportamiento termopluviométrico en la zona metropolitana de Toluca: el deterioro ambiental de las ciudades. *Sociedad y Ambiente*, 7(18), 145-173. <https://www.scielo.org.mx/pdf/sya/n18/2007-6576-sya-18-145.pdf>
- Villanueva, J., Ranfla, A., & Quintanilla-Montoya, A. L. (2013). Isla de Calor Urbana: modelación dinámica y evaluación de medidas de mitigación en ciudades de clima árido extremo. *Información tecnológica*, 24(1), 15-24. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000100003>
- Ward, H.C., Kotthaus, S., Järvi, L., & Grimmond, C.S.B. (2016). Surface urban energy and water balance scheme (SUEWS): Development and evaluation at two UK sites. *Urban Climate*, 18, 1-32. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.05.001>
- Ward, K., Lauf, S., Kleinschmit, B., & Endlicher, W. (2016). Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of The Total Environment*, 569-570, 527-539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.119>
- Wolters, D., & Brandsma, T. (2012). Estimating the urban heat Island in residential areas in the Netherlands using observations by weather amateurs. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(4), 711-721. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0135.1>
- Yohe, G., & Schlesinger, M. (2002). The economic geography of the impacts of climate change. *Journal of Economic Geography*, 2(3), 311-341. https://www.jstor.org/stable/26160427#metadata_info_tab_contents
- You, W., & Lv, Z. (2018). Spillover effects of economic globalization on CO2 emissions: A spatial panel approach. *Energy Economics*, 73, 248-257. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.05.016>

Zhou, W., Huang, G., & Cadenasso, M.L. (2011). Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 102(1), 54-63. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.03.009>

Zittis, G., Hadjinicolaou, P., Klangidou, M., Proestos, Y., & Lelieveld, J. (2019). A multi-model, multi-scenario, and multi-domain analysis of regional climate projections for the Mediterranean. *Regional Environmental Change*, 19(8), 2621-2635. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01565-w>