

Expansión y crecimiento urbanos en México, 1975-2020

Urban Growth and Expansion in Mexico, 1975-2020

Jorge Alberto Montejano-Escamilla*  <https://orcid.org/0000-0002-6914-1229>

Camilo Alberto Caudillo-Cos**  <https://orcid.org/0000-0002-2450-5295>

Felipe Gerardo Ávila-Jiménez***  <https://orcid.org/0000-0001-5590-5577>

Rodrigo Tapia-McClung****  <https://orcid.org/0000-0002-7784-5867>

Itzia Gabriela Barrera-Alarcón*****  <https://orcid.org/0000-0002-5561-7177>

Resumen

Objetivo: averiguar si en México el ritmo del crecimiento del suelo edificado y del suelo urbano edificado ha ido a la par del aumento de la población en general y de la población urbana en particular, y si en verdad las ciudades han crecido de manera dispersa. Metodología: se presenta una estimación del aumento de la población y de la expansión urbana en México —tanto del suelo no urbano edificado como del suelo urbano edificado— entre 1975 y 2020, utilizando sobre todo fuentes de percepción remota. Además, se calculan métricas de estructura espacial urbana para evaluar las tendencias de determinados principios de sustentabilidad. Resultados: se concluye que mientras que el suelo edificado total creció tres veces en cuarenta años, la población tan solo se duplicó. Valor: la presente investigación matiza resultados oficiales previos, lo cual podría tener consecuencias importantes en materia de política pública territorial. Limitaciones: la estimación de la expansión urbana mediante percepción remota tiene un margen de error dependiente de la resolución de la fuente de información. Conclusiones: se confirma que hay una tendencia generalizada a la expansión urbana dispersa.

Palabras clave: expansión urbana; crecimiento urbano; forma urbana; México.

Abstract

Objective: to figure out if the rate of growth of built-up land and built-up urban land has gone hand in hand with the growth of the general population and the urban population in particular, and, if indeed, the cities have grown sprawly. Method: this paper presents an estimate of population growth and physical expansion in Mexico —both built-up land and urban footprint— between 1975 and 2020, using mainly remote sensing sources. Additionally, urban spatial structure metrics are calculated to assess trends with respect to some sustainability principles. Findings: it is concluded that, while the built-up land grew 3 times in the span of 40 years, the population doubled. Added value: this research nuances previous official results with serious consequences in terms of public policy. Limitations: growth estimation using remote sensing has a margin of error dependent on the resolution of geospatial databases. Conclusions: a general trend towards urban sprawl is confirmed.

Keywords: urban expansion; urban growth; urban form; Mexico.

■ Cómo citar: Montejano-Escamilla, J. A., Caudillo-Cos, C. A., Ávila-Jiménez, F. G., Tapia-McClung, R., y Barrera-Alarcón, I. G. (2023). Expansión y crecimiento urbanos en México, 1975-2020. *región y sociedad*, 35, e1734. <https://doi.org/10.22198/rys2023/35/1734>

*Autor para correspondencia. Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A. C., Estudios Urbanos y Territoriales. Contoy 137 Esq. Chemax, Col. Lomas de Padierna, Tlalpan, C. P. 14240, Ciudad de México, México. Correo electrónico: jmontejano@centrogeo.edu.mx

**Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A. C., Estudios Urbanos y Territoriales. Contoy 137 Esq. Chemax, Col. Lomas de Padierna, Tlalpan, C. P. 14240, Ciudad de México, México. Correo electrónico: ccaudillo@centrogeo.edu.mx

***Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Programa de Investigación de Estudios Metropolitanos. Calz. del Hueso 1100, Coapa, Villa Quietud, Coyoacán, C. P. 04960, Ciudad de México, México. Correo electrónico: gavila@centrogeo.edu.mx

****Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A. C. Estudios Urbanos y Territoriales. Contoy 137 Esq. Chemax, Col. Lomas de Padierna, Tlalpan, C. P. 14240, Ciudad de México, México. Correo electrónico: rtapia@centrogeo.edu.mx

*****Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A. C., Estudios Urbanos y Territoriales. Contoy 137 Esq. Chemax, Col. Lomas de Padierna, Tlalpan, C. P. 14240, Ciudad de México, México. Correo electrónico: ibarrera@centrogeo.edu.mx

Recibido: 12 de diciembre de 2022.

Aceptado: 31 de mayo de 2023.

Liberado: 11 de septiembre de 2023.



Esta obra está protegida bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial 4.0 Internacional.

Introducción

La extinta Secretaría de Desarrollo Social publicó en 2012 un reporte institucional intitulado *La expansión de las ciudades 1980-2010* (Secretaría de Desarrollo Social [SEDESOL], 2012). En él se afirmaba que las manchas urbanas de México habían crecido en promedio diez veces entre esos años, mientras que su población solo se había duplicado (p. 8). En dicho documento no se encontró acápite metodológico alguno que explicara cómo se había llegado a esa conclusión. Sin embargo, se intuye que el cálculo se hizo a escala de manzanas con base en los censos, conteos y marcos geoestadísticos nacionales disponibles y en los que, como se explicita en la metodología del marco geoestadístico nacional de 2010, se registran localidades rurales que solo se consignan como puntos (de los que no se puede sacar el área) y no como polígonos, lo que pudo haber influido en sus resultados.

El resultado de SEDESOL provocó —como efecto inmediato— la creación de políticas públicas federales, como la de los polígonos de contención urbana, que pretendía responder al “acelerado crecimiento urbano” mediante la ubicación de vivienda social con base en el acceso a satisfactores básicos (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2014, p. 92). Aunque en 2016 se promulgó la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (DOF, 2021), las ciudades mexicanas se han expandido adoptando un modelo 4D (distantes, dispersas, desconectadas y desordenadas) sin planeación ni ordenamiento territorial que posibiliten el crecimiento armónico y sustentable de los asentamientos urbanos —tanto al interior de ellos como en relación a otros— en aras de un desarrollo regional equilibrado. La conclusión de la SEDESOL fue cuestionada hace poco, cuando se encontró que “ese informe, era incorrecto y desorientador, pues aplica[ba] las cifras de población del territorio completo de los municipios al suelo de áreas urbanas, reduciendo la densidad drásticamente” (Monkkonen y Comandon, 2016, p. 50; Monkkonen, Comandon, Montejano y Guerra, 2018). Incluso estos autores argumentan que la densidad urbana apenas había aumentado, hallazgo que contradecía lo reportado en ese informe. El presente estudio pretende matizar la información de ese documento oficial, poniendo el énfasis en la calidad de la información geoespacial disponible en la actualidad para el cálculo de la expansión urbana.

Aun cuando en México los trabajos que abordan el grado de urbanización y la expansión urbana son de larga data (Aguilar, 2005; Aguilar, Castro y Juárez, 1995; Garza, 2002, 2010; Sobrino, 1996; Unikel, 1976), pocos de ellos se aventuraron a examinar el cambio en la estructura espacial o a cuantificar la expansión de todo el sistema urbano nacional (Monkkonen y Comandon, 2016), porque las fuentes de información son insuficientes o no son imputables a la escala de análisis. Por eso en este trabajo se presenta una estimación del ritmo de la expansión del suelo edificado y del suelo urbano edificado¹ que ha experimentado el país y el sistema urbano nacional (SUN) entre 1975 y 2020. Se analizan

1 Por “suelo urbano edificado” se entiende el suelo edificado dentro de los límites del SUN de 2018. En cambio, el “suelo edificado” incluye tanto el “suelo urbano edificado” como el “suelo no urbano edificado”. Ninguno de ellos incluye calles ni carreteras, solo la huella de la edificación.

las transformaciones más importantes a escala regional y se calculan métricas espaciales que dan cuenta de las principales transformaciones de la estructura espacial urbana. Las preguntas centrales de este trabajo son si el ritmo de crecimiento del suelo edificado y del suelo urbano edificado ha ido a la par del crecimiento de la población y de la población urbana y si, en efecto, las ciudades han crecido de manera dispersa, como se asienta en la literatura especializada.

El artículo se organiza de esta forma: en la siguiente sección, se destaca la relación entre las formas de crecimiento urbano² y el desarrollo sustentable. Después se reseñan los estudios previos que reportan la expansión urbana en México y sus principales hallazgos. En la sección “Materiales y métodos” se describen tanto el proceso como las bases de datos que se utilizaron para el cálculo del ritmo de expansión de todo el suelo edificado y del suelo edificado en entornos urbanos. Enseguida se analizan los resultados más importantes a escalas nacional, regional y de ciudad. En las conclusiones se plantean algunas recomendaciones de política pública territorial y se confrontan varios hallazgos con diversas políticas actuales de la Estrategia Nacional de Ordenamiento Territorial 2020-2040 (ENOT) (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano [SEDATU], 2021).

Expansión urbana y desarrollo sustentable

Desde la década de 1990 se ha producido una inagotable cantidad de literatura especializada en el fenómeno de la expansión física³ del entorno edificado sobre suelo natural y su relación con la sustentabilidad, pero puede juzgarse en muchos casos como no concluyente. Sin embargo, al menos tres principios han sido medianamente consensuados entre las esferas gubernamentales y académicas, nacionales e internacionales.

El primero se refiere a que las ciudades más compactas y densas tienden a producir menos gases de efecto invernadero, aumentan la productividad, reducen la presión sobre el gasto que los gobiernos tienen que realizar para la provisión de servicios debido a que tienen una mejor colocalización⁴ residencia-trabajo y aumentan la probabilidad del uso de transporte público para la movilidad obligada, lo cual reduce la generación de contaminantes y el gasto energético.

El segundo alude a que las ciudades que tienen más mezcla de uso de suelo reducen los viajes motorizados y la segregación socioespacial.

El tercer principio explica que las ciudades con una estructura policéntrica parecen atenuar la presión sobre las reservas naturales estratégicas y a la vez aumentan la productividad y reducen las externalidades negativas derivadas de

- 2 En este trabajo se entiende por *crecimiento urbano* el incremento de la concentración de personas en un entorno geográfico determinado, asentadas en suelo categorizado como “urbano”.
- 3 En este artículo *expansión física* o *crecimiento del área urbana* se refiere al cambio de uso del suelo de actividades que otrora no eran urbanas en urbanas.
- 4 De acuerdo con los supuestos clásicos de localización, la colocalización se presenta cuando, a medida que aumenta la distancia entre el nuevo hogar y el viejo trabajo (que impulsó el cambio residencial), también incrementa la probabilidad de cambiar de trabajo.

una mayor aglomeración (Camagni, Gibelli y Rigamonti, 2002; Cervero, 1995 y 1996; Frank y Pivo, 1994; Giuliano y Narayan, 2003; Guerra, Caudillo, Monkkonen y Montejano, 2018; Hanson y Schwab, 1987; Meijers y Burger, 2010; Monkkonen, Guerra, Montejano y Caudillo, 2022; Monkkonen et al., 2018; Montejano y Caudillo, 2017; Montejano, Monkkonen, Guerra y Caudillo, 2019; Senado de la República, Fundación Idea y Simo Consulting, 2014).

No obstante que Boarnet (2011), Boarnet y Crane (2001) y Levinson y Kumar (1997) cuestionen estos principios y a pesar de los límites que tienen los beneficios que la economía de la aglomeración supone (Chen y Zhou, 2017; Shen, Chen, Yang y Zhang, 2019) y aunque se conozca que algunas acciones que tienden a la redensificación presionan el precio del suelo en áreas centrales, y obligan, muchas veces, al desarrollo exurbano (Mieszkowski y Mills, 1993), no queda lugar a dudas sobre el impacto negativo que están teniendo las actividades antropogénicas sobre el medio físico natural (Burdett y Sudjic, 2007).

Sin embargo en los estudios de Ahrend, Farchy, Kaplanis y Lembcke (2017), Angel y Blei (2016), Batty (2008) y West (2017) se señala que la productividad en las ciudades aumenta entre 3 y 15% cuando se duplica su tamaño, fenómeno que constituye uno de los incentivos más potentes de la expansión urbana y que demuestra que el crecimiento de las ciudades está ligado de manera íntima al modelo de desarrollo económico expansionista actual frente al postulado de decrecimiento económico (Kallis, 2011). Por otro lado, también se sabe que dicha expansión urbana —al menos para el caso de la zona metropolitana del Valle de México— se correlaciona de manera positiva con el mayor grado de segregación socioespacial (Monkkonen et al., 2018, p. 73) y con la reducción sustancial del acceso a oportunidades de empleo y movilidad social (Caudillo, 2022). En el estudio longitudinal de Montejano et al. (2019, pp. 61-62) sobre las cien ciudades más grandes del SUN mexicano en el periodo 1990-2010, se puede apreciar con claridad la correlación positiva entre la expansión urbana y los niveles de segregación social por ingreso, lo cual demuestra que el crecimiento de las urbes tiene diferentes efectos sobre distintos pilares de la sustentabilidad —económica (+), social (-) y ambiental (-)—.

Angel, Parent, Cívico, Blei y Potere (2011, p. 54) estudiaron el crecimiento urbano y la expansión física de 120 ciudades del mundo entre 1990 y 2000 y hallaron que, en promedio, se estaban expandiendo más del doble al año (3.6%) pero no su población (1.6%), y señalaron que contener dicha expansión era una empresa fallida, por lo que restaba tener previsiones realistas sobre la futura demanda de suelo urbano. De continuar esa tendencia, se pronostica que la superficie edificada de esas ciudades podría llegar, en 2030, a ser el triple con respecto a su población (Anzaldo, 2017).

Angel, Lamson-Hall, Blei, Shingade y Kumar (2021) estudiaron doscientas ciudades en todo el mundo entre 1990 y 2014. Encontraron que en tres cuartas partes de estas la población que se sumó a ellas, se ubicó en nuevas zonas de expansión urbana, con la consecuente reducción de la densidad, a pesar del casi incuestionable consenso según el cual el crecimiento futuro de las ciudades debe darse sobre la huella urbana existente por la vía del aumento de densidad e intensidad.

Estudios previos sobre crecimiento urbano y expansión física en México

El trabajo más importante realizado para estudiar el crecimiento urbano en México ha sido el de Unikel (1976), quien indaga la evolución no solo del crecimiento urbano, sino también del fenómeno de la creciente metropolización y del cambio en la importancia relativa (primacía) que se observaba en aquella época en el sistema de ciudades mexicanas. Aun siendo un trabajo ejemplar, el análisis deriva de cálculos basados sobre todo en la población, y deja un hueco importante en lo relativo a la expansión física, de la cual solo hay un acápite descriptivo cuando se habla del proceso de urbanización (p. 54).

Otro trabajo seminal es el de Garza (2010), quien hace un recuento de la transformación urbana de México entre 1970 y 2020. Allí se estudian los periodos de la urbanización del país. Luego se presentan las desigualdades con base en una regionalización de Bassols (1983) y, por último, se muestra un ejercicio prospectivo. Al igual que el trabajo de Unikel (1976), no hace uso de otros datos que los poblacionales para explicar el proceso de urbanización. Sobresalen en ese trabajo los cálculos del grado de urbanización para diferentes periodos, así como la conclusión sobre la improbable descentralización del SUN hacia 2020.

Un trabajo que sí estudia la expansión urbana es el de Bazant (2010), quien muestra cálculos prospectivos del crecimiento urbano y de la expansión física para al menos quince ciudades del país. En su investigación se pueden apreciar casos extremos, como el de Toluca, sobre el cual argumenta que dicha zona metropolitana “se expandió [de 1970 a 2030] 21 veces [...] mientras que su población creció 14 veces” (p. 491). Aunque es un trabajo robusto en términos teóricos, no parece haber utilizado información precisa para realizar esos cálculos, pues asegura que “las manchas urbanas se obtuvieron de la cartografía de estas ciudades en años cercanos a las décadas 1970, 1980 y 1990” (p. 494). Sin demeritar el esfuerzo, sus cálculos no coinciden con los del presente estudio (esto es, en esta investigación, la ciudad de Toluca tuvo, entre 1975 y 2014, una expansión urbana de 12.5 veces y un crecimiento poblacional de 3 veces) y, al parecer, tampoco observó las tendencias al aumento de la densidad en las periferias. El autor argumenta que “si la tasa de expansión de la mancha urbana ha sido mayor que la tasa de incremento demográfico significa que la densidad poblacional de las ciudades ha venido disminuyendo con el tiempo en casi todas las ciudades” (p. 496). Sin embargo, dicho argumento podría refutarse porque esa densidad depende del nivel de agregación del indicador en cuestión.

El trabajo más reciente en este ámbito es el de Couturier et al. (2020). Dicho grupo creó una plataforma cartográfica en línea para las diez zonas metropolitanas más grandes del país entre 2000 y 2010, con base en la clasificación de usos de suelo impermeable proveniente de fuentes de percepción remota. Los autores argumentan que, derivado de los objetivos de desarrollo sustentable (ODS) para 2030, es necesario que México cuente con una plataforma robusta que posibilite monitorear (y controlar) con mayor precisión el crecimiento del suelo urbano, especialmente, en la periferia. El argumento para el desarrollo de dicha plataforma es que la clasificación del uso de suelo urbano mexicano

proviene en esencia de fuentes cartográficas oficiales nacionales relacionadas con áreas geoestadísticas básicas y no con el suelo impermeable o con las áreas edificadas: el mismo argumento que se adopta en el presente estudio y del que deriva este cálculo a escala nacional.

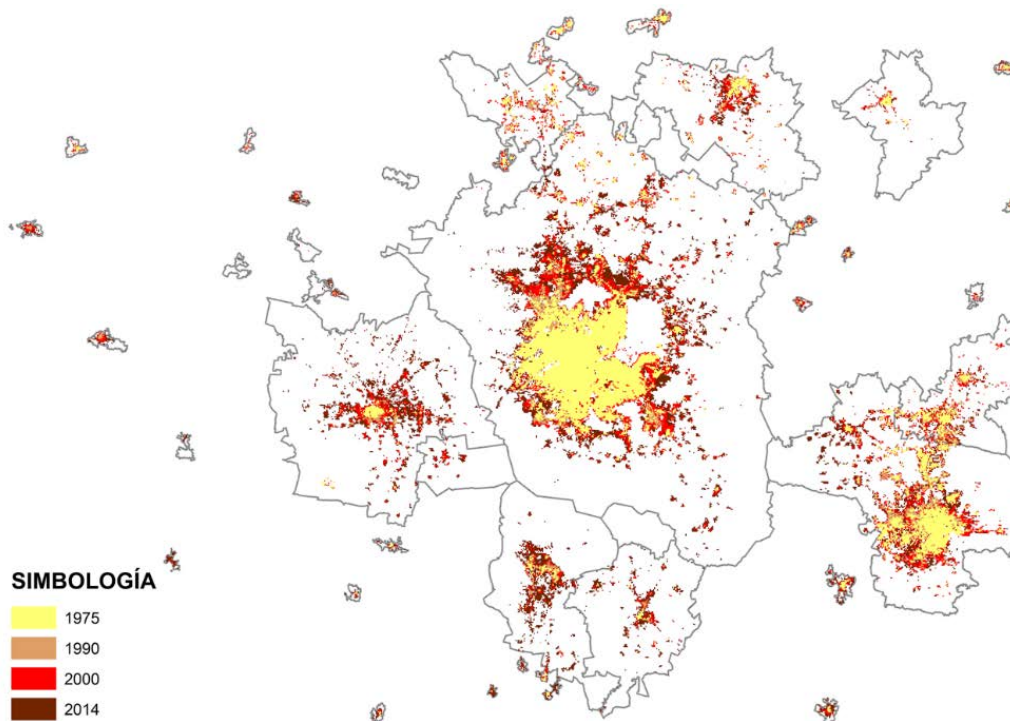
Materiales y métodos

Fuentes de datos

Si bien es cierto que con los censos y conteos de población y vivienda del INEGI y sus respectivos marcos geoestadísticos es posible estimar el ritmo de crecimiento de la población y del suelo edificado para algunos lapsos, no es posible hacerlo con precisión debido a que el marco geoestadístico no consigna todas las manzanas rurales como polígonos (Couturier et al., 2020). Por esa razón, para estimar la expansión urbana de México entre 1975 y 2020, se utilizaron imágenes satelitales que ya contienen de origen un postproceso de clasificación del suelo en los años 1975, 1990, 2010, 2014 (a 250 metros [m]) y 2019 (a 30 m), provenientes del proyecto Global Human Settlement Layer (GHSL versión 2018) (European Commission, s. f.) y con base en los satélites Sentinel 1 y 2 de la Agencia Espacial Europea (ESA, 2019). Las bases de datos geoespaciales se presentan en diferentes resoluciones. Para el presente trabajo se utilizaron resoluciones espaciales de 250 m y de 30 m. Las imágenes de 250 m se emplearon para confeccionar la métrica de dispersión y para comparar la tasa de cambio de la expansión de suelo urbano edificado en el periodo 1975-2014 —bases de datos geoespaciales agregadas al SUN 2018 (véase figura 1), mientras que la base de datos con resolución de 30 m se usó para aproximar el crecimiento urbano y la expansión del suelo edificado en todo el país. Todas las bases de datos que se descargaron se unieron y se reprojectaron en Arc Gis 10.3. La base de datos de 30 m contiene píxeles con valores de 0 (no edificado) y de 1 (edificado), por lo que la cantidad de suelo edificado a escala nacional resulta de la suma de los píxeles con valor 1 multiplicados por el área del píxel (30 x 30 m) por cada corte temporal. La base de datos GHSL con resolución de 250 m presenta valores de entre 0 y 100 y representa el porcentaje de área urbanizada por píxel. Esto fue muy útil para remover los píxeles que presentaban menos de 30% del área urbanizada, ya que muchos de ellos son errores imputables al proceso de percepción remota. Los errores más frecuentes de interpretación se encuentran en las zonas áridas y en las zonas con alta densidad de cobertura forestal y, aun cuando se reporta en el manual del desarrollo de la base de datos GHSL un nivel de precisión de 0.96 y un valor Kappa⁵ de 0.32, en algunos casos Kappa llega a alcanzar valores cercanos a 0.9 (Florczyk et al., 2019).

5 El coeficiente Kappa mide el grado de congruencia entre una determinada clasificación y los valores reales. Un valor Kappa de 1 representa una perfecta concordancia, mientras que un valor de 0 representa nula concordancia (L3Harris Geospatial, s. f.).

Figura 1. Imagen ilustrativa que muestra las capas de datos satelitales a 250 m, vectorizadas y agregadas a escala del SUN para el cálculo de la expansión urbana 1975, 1990, 2000 y 2014.



Fuente: elaboración propia con base en GHSL 2018 (European Commission, s. f.)

Para estimar los cambios en el grado de urbanización en las ciudades (1975-2014), se utilizó la base de datos Global Population of the World Project (GHS-POP), creada por el Socioeconomic Data and Applications Center (s. f.) de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA por sus siglas en inglés). En esa base, cada celda tiene imputada población censal y población imputada de modelos de estimación basados en crecimientos exponenciales. La cantidad de población fue recolectada para áreas administrativas superiores y distribuida con base en la proporción de suelo urbano en cada celda (Florczyk et al., 2019, p. 13; Freire, Doxsey-Whitfield, MacManus, Mills y Pesaresi, 2016, p. 5). Esta base de datos se ha utilizado con cautela, ya que, como se ha señalado, la base de datos GHSL con resolución de 250 m tiene errores de subestimación y de sobreestimación, por lo cual la población imputada por celda con base en la proporción de suelo urbano en cada celda ya conlleva un error implícito y no es adecuada para estimar densidades urbanas, pero sí cambios en el grado de urbanización, porque este se agrega a escala municipal y a su vez a escala del SUN.

Para el análisis de resultados, las bases de datos antes mencionadas (1975-2014) se agregaron a nivel del SUN 2018, el cual está conformado por 74 zonas metropolitanas, 132 conurbaciones y 192 centros urbanos definidos en el propio

SUN (Gobierno de México, 2018) y que, en total, suman 401 ciudades.⁶ Además, los datos geoespaciales se agregaron a las macrorregiones definidas en la ENOT (SEDATU, 2021, p. 125), con el objeto de observar tendencias regionales diferenciadas.

Para calcular la expansión del suelo edificado en todo el país, se utilizó la base de datos GHSL con una resolución de 30 m correspondiente a los años 1975, 1990, 2000 y 2014. Para 2020, se usó la base de datos World Settlement Footprint (WSF) 2019 proveniente de la Agencia Espacial Europea (ESA) (2019) y desarrollada en colaboración con el Centro Aeroespacial Alemán (DLR por sus siglas en alemán) cuya resolución espacial es de 10 m. Para comparar el último periodo, se remuestrearon los valores de las celdas con base en la vecindad más cercana a 30 m. La base de datos consta de un mosaico de imágenes satelitales a escala mundial, provenientes de los satélites Sentinel 1 y Sentinel 2, las cuales presentan diez clases de uso del suelo y aseguran una precisión de 75% (Marconcini, Metz-Marconcini, Esch y Gorelick, 2021). Al comparar las tres bases de datos anteriores (GHSL) con la de la ESA, se observa que la última, que tiene una resolución más alta, detecta con mayor precisión el suelo edificado, aunque también conlleva errores de teledetección. Sin embargo, se presume que son los datos disponibles más actualizados y sin exceso de postprocesos para estimar los cambios en lo referente a la expansión del área edificada.⁷ En la tabla 1 se presenta un resumen de las bases de datos que se utilizaron y el producto obtenido.

Tabla 1. Fuentes de datos utilizadas para la estimación de crecimiento poblacional y del suelo edificado en México, 1975-2020

Fuente	Satélite o serie	Resolución	Años	Uso	Escala	Observaciones
Global Human Settlement Layer	Landsat	250 m	1975, 1990, 2000, 2014	Cálculo de tasa de cambio y expansión de suelo urbano edificado.	Sistema urbano nacional (SUN) o escala regional	Reducción de píxeles por debajo del umbral de 30% de suelo edificado por pixel para reducir errores.
Global Human Settlement Layer	Landsat	30 m	1975, 1990, 2000, 2014	Estimación de la expansión de suelo edificado.	Nacional	

6 Derivado de pérdida de datos o ausencia de ellos por el lapso de estudio, el universo de ciudades del SUN 2018 analizadas y consignadas en el panel es de 371.
 7 También se calculó el área con los datos de la ESA 2020 a 10 m (<https://worldcover2020.esa.int/>) y con los datos provenientes del satélite chino HJ-1 y del estadounidense Landsat a 30 m (GlobeLand 30 http://www.globallandcover.com/home_en.html). Se encontró en estas últimas bases muchos errores de clasificación. Por eso, aun cuando eran las que coincidían con el año 2020, se optó por usar la base WFS 2019 a 10 m.

Fuente	Satélite o serie	Resolución	Años	Uso	Escala	Observaciones
Global Human Settlement Layer-Pop	Gridded Population of the World (GPW), v4	250 m	1975, 1990, 2000, 2014	Estimación de la tasa de cambio poblacional.	Sistema urbano nacional (SUN) o escala regional	
European Spatial Agency (ESA) o LR	Sentinel 1; Sentinel 2	10m	2019	Estimación de la expansión de suelo edificado	Nacional	Remuestreada a 30 m para efectos de comparabilidad.
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)	Censos de Población y Vivienda; Encuesta Intercensal 2015; Estadísticas Históricas de México	–	1975, 1990, 2000, 2015, 2020	Estimación de tasa de cambio poblacional.	Nacional	Imputada la población de 2015 a la expansión de suelo edificado para 2014 y la población de 2020 a la expansión de suelo edificado de 2019.

Fuente: elaboración propia con base en los datos del estudio.

Métricas de la forma del crecimiento urbano

En el presente artículo se calcularon dos métricas de estructura espacial urbana entre 1975 y 2014 para las ciudades del SUN de 2018. Ambas dan cuenta de manera parcial del estado que guarda la forma urbana de las ciudades mexicanas en relación con los supuestos principios de sustentabilidad antes mencionados.

La primera es *compacidad*. Dicha métrica calcula qué tan compacta es una huella urbana basándose en su estructura geográfica. La métrica de compacidad que se eligió fue la geométrica de Marshall (Marshall, Gong y Green, 2019), la cual, con base en el precepto que plantean Angel, Parent y Civico (2010), en el que se postula que la forma más compacta es un círculo perfecto, mide la circularidad de los parches que conforman un conglomerado urbano. Se asume que un área edificada perfectamente circular tendría un valor de 1. Para calcular la compacidad de Marshall, se crean los círculos mínimos delimitadores de cada parche que conforman toda el área edificada dentro de cada una de las delimitaciones dadas por el SUN. La fórmula es:

$$[1] \frac{4(\sum_{i=1}^n A)}{(\sum_{i=1}^n P)(\sum_{i=1}^n D)}$$

Donde:

i es el número de áreas edificadas;

A es la suma de todas las áreas edificadas dentro de una delimitación espacial específica (zona metropolitana, conurbación o ciudad);

P es la suma de todos los perímetros de las áreas edificadas dentro de la delimitación espacial específica;

D es la suma de todos los diámetros de los círculos mínimos delimitadores de cada parche de áreas edificadas dentro de una delimitación espacial específica.

El factor de 4 asegura que un círculo tenga una máxima compacidad de 1 (Marshall et al., 2019, p. 440):

$$[2]C = \frac{4A}{PD} = \frac{4\pi r^2}{2r \cdot 2\pi r} = 1$$

La segunda métrica calculada, complementaria de la compacidad geométrica, es la *discontinuidad espacial que proponen Amindarbari y Sevtsuk (2015, p. 7)*. *Mide qué tan fragmentados están los parches de un conjunto de datos espaciales entre sí, variando de 0 a ∞ . Dada la alta correlación que existe con la compacidad de Marshall, se suele entender como una métrica inversa, aunque su operacionalización es diferente. Se expresa con la siguiente fórmula:*

$$[3]DC = \sum_{n=1}^N \left(\frac{\sum_{i=n+1}^N A_i}{A_n} \right) \left(\frac{\sum_{i=n}^N A_i}{A_{total}} \right)$$

Donde

N es el número de cúmulos urbanizados y

A_n es el área del n -ésimo cúmulo.

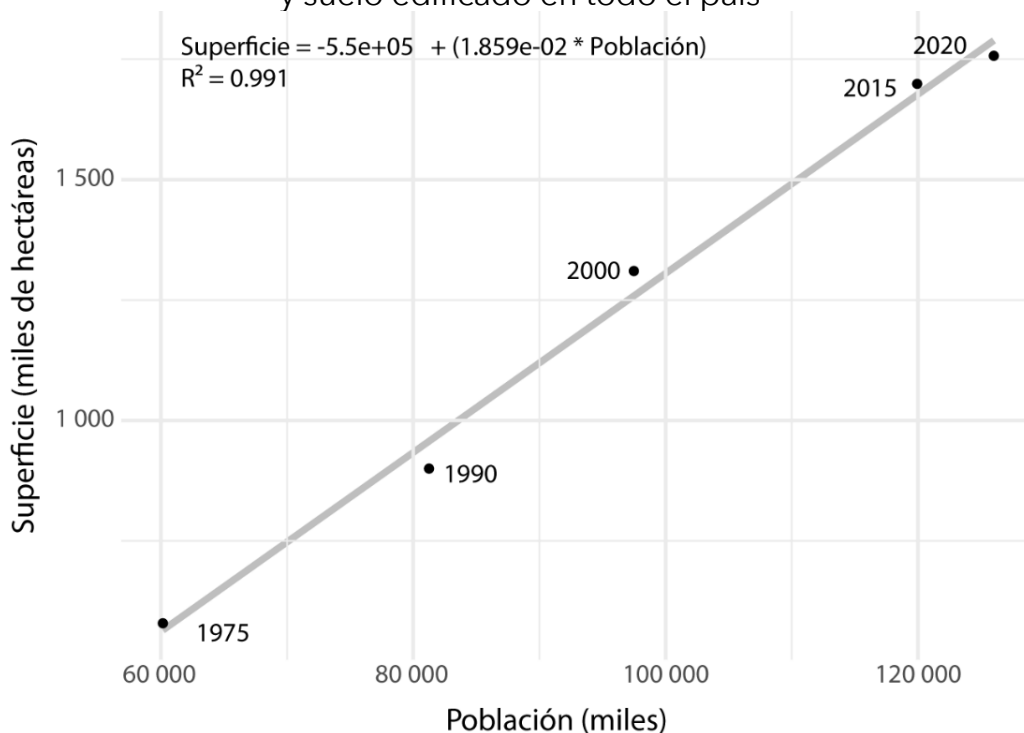
Resultados

Expansión del suelo edificado en México, 1975-2020

La tabla 2 y la figura 2 muestran el crecimiento poblacional en relación con la estimación del suelo edificado en todo el país en los periodos 1975-2015 y 1975-2020.⁸ Lo primero que debe subrayarse es que el crecimiento poblacional parece ir de conformidad con la expansión del suelo edificado, dada la relación cuasi lineal que se observa en la figura 2. Eso no implica *per se* que la ocupación del suelo sea racional ni ordenada; simplemente que, tanto la expansión física como el crecimiento de la población, parecen guardar una proporción constante en el territorio a escala nacional. Es importante recordar que el área total calculada conlleva errores implícitos, tanto derivados de la teledetección del suelo edificado como derivados de la reproyección y remuestreo espacial de las bases de datos. Incluso en un ejercicio comparativo entre el cálculo del área de los asentamientos humanos con una serie 1975-2014 de 30 m de resolución y una serie 1975-2014 de 250 m de resolución, se detectó que existe una diferencia de 10% de área total entre ellas (diferencia cercana a la que se halla también entre la base de datos de esta investigación y la que elaboraron Couturier et al. (2020) para algunas ciudades).

8 Como ya se señaló, se imputaron las poblaciones de los años 2015 y 2020 a las series de crecimiento urbano más cercanas, que son 2014 y 2019, respectivamente.

Figura 2. Relación entre crecimiento poblacional y suelo edificado en todo el país



Fuente: elaboración propia con base en Florczyk et al. (2019), ESA (2019) e INEGI (1990a, 1990b, 2000, 2010, 2015 y 2020).⁹

Tabla 2. Cálculo del crecimiento del suelo edificado en relación con el crecimiento poblacional

Año	Píxeles	Área total (m2)	Área total (ha)	Fuente de área	Población	Fuente de población
2020	19 521 208	17 569 087 200	1 756 909	WSF 2019 10 m → 30 m	126 014 024	INEGI (2020)
2015	18 875 121	16 987 608 900	1 698 761	GHSL 2014 30 × 30 m	119 938 473	INEGI (2015)
2000	14 557 023	13 101 320 700	1 310 32	GHSL 2000 30 m	97 483 412	INEGI (2000)
1990	9 998 908	8 999 017 200	899 902	GHSL 1990 30 m	81 249 645	INEGI (1990a)
1975	6 431 622	5 788 459 800	578 846	GHSL 1975 30 m	60 153 400	INEGI (1990b)

Fuente: elaboración propia con datos de Florczyk et al. (2019), ESA (2019) e INEGI (2020, 2015, 2000, 1990a y 1990b).

9 Si la población de México creciera en 2030 según las proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO) (138 millones), se tendría una expansión de suelo edificado de cerca de dos millones de hectáreas, lo que representaría un incremento en la superficie ocupada de 12% en 2020.

Aun con los errores reportados en las bases de datos de imágenes satelitales, es posible tener una idea de la magnitud del crecimiento,¹⁰ sin importar el número absoluto ni las tasas de crecimiento (véase tabla 3).

El segundo resultado es que las aseveraciones vertidas en el citado documento de la SEDESOL no son correctas. Aunque más adelante se analizará la expansión urbana a escala del SUN —nivel analítico del documento en cuestión—, a escala nacional no existe evidencia, incluso agregando suelo edificado que no es propiamente urbano, de que las ciudades hayan crecido en promedio a las tasas que se mencionan en dicho documento. En la tabla 3 se muestran las tasas de crecimiento de suelo edificado y del crecimiento poblacional.

Tabla 3. Tasas de crecimiento por periodos: porcentual y media anual

Periodo	TC* Suelo edificado (SE)	TC* Población (POP)	TCMA** SE	TCMA** POP	Años
1975-1990	55%	35%	3.0%	2.0%	15
1990-2000	46%	20%	3.8%	1.8%	10
2000-2015	30%	23%	1.7%	1.4%	15
2015-2020	3%	5%	0.7%	1.0%	5
1975-2000	126%	62%	3.3%	1.9%	25
1975-2015	193%	99%	2.7%	1.7%	40
1975-2020	204%	109%	2.5%	1.7%	45

*Tasa de crecimiento = $((Valor\ final - valor\ inicial)/valor\ inicial)*100$

**Tasa de crecimiento media anual (TCMA) = $((valor\ final/valor\ inicial)^{(1/t)} - 1)*100$

t = tiempo

Fuente: elaboración propia.

Mientras que el suelo edificado en el país creció tres veces en cuarenta años, la población tan solo se duplicó, lo cual pone en duda el cálculo de la SEDESOL (1980-2010), que aseguraba que las áreas urbanas se habían expandido en promedio diez veces, mientras que su población se había duplicado en treinta años.

Expansión del área urbana y crecimiento de la población urbana a escala regional, 1975-2014

A continuación, se exponen los resultados más relevantes del crecimiento poblacional urbano y del suelo urbano edificado agregados con base en las macroregiones definidas por la ENOT 2020-2040 (SEDATU, 2021) (véase figura 3).

10 La superficie que ocupaba el suelo edificado de México en 2020 (1 756 909 ha) representa 0.9% del territorio nacional (196 018 900 ha). No hay que olvidar que, en el mundo, las ciudades ocupan cerca de 2.5% de la superficie del planeta.

Figura 3. Macrorregiones definidas por la ENOT y el conteo de centros de población (P), conurbaciones (C) y zonas metropolitanas (M) por región



Fuente: elaboración propia con base en la información de la SEDATU (2021).

En primer lugar, se puede apreciar que la región donde más crece la población urbana sigue siendo la del centro, que es también la que presenta, desde 1990, un aumento notable en su ritmo de expansión física (véase figura 4a). La proporción de la población urbana en la región centro con respecto al total sigue siendo preponderante (45%), aunque se aprecia una lenta pero continua pérdida desde 1975 (6 puntos porcentuales) en favor de las demás regiones. A pesar de esa pérdida en proporción de población urbana, se observa desde 1990 un aumento de 3% en la proporción del suelo urbano edificado (véase figura 4b).

Relativo al cociente del crecimiento poblacional frente al crecimiento del suelo urbano edificado (véase la figura 4c),¹¹ se destaca que la región norte-centro (cociente = 0.59) es la que menos veces ha incrementado su población (1.8) al tiempo que es la región donde la suma del área de sus ciudades se ha expandido más que en cualquier otra (tres veces). Por el contrario, la región noroeste (cociente = 1.4) ha aumentado su población 2.6 veces frente a una expansión física menor (1.9 veces).

11 El cociente, sin unidades, es el resultado de la división entre las veces que ha crecido la población urbana en la región y las veces que ha crecido el suelo urbano edificado en la misma región en el periodo especificado. Valores por arriba de 1 se consideran más adecuados; valores por debajo de 1 se consideran ineficientes. Estas TCMA son el resultado de la suma de los datos, no del promedio de la TCMA de cada ciudad.

Como se aprecia en la figura 4e, en casi todas las regiones el crecimiento acumulado de suelo urbano edificado en los centros de población (P) es mayor que el de las conurbaciones (C). El crecimiento acumulado mayor se ubica en las zonas metropolitanas (M) en casi todas las regiones. Se aprecia también que cada región tiene un orden distinto según el tipo de ciudad.

Expansión del suelo urbano edificado y crecimiento poblacional a escala del SUN 1975-2014 y grado de urbanización

Como se puede inferir de la tabla 4, en el periodo 1975-2014 la suma del suelo urbano edificado (así considerado por estar dentro del SUN) creció 2.63 veces su superficie, mientras que la suma del conjunto de la población urbana apenas se duplicó en el mismo lapso.¹² Si el cálculo se hace tomando el promedio de las tasas de crecimiento para cada ciudad,¹³ se observa que la superficie del suelo urbano edificado presenta una TMCA promedio mayor que la TMCA promedio de la población (3.47% frente a 2.37%). Con esto puede confirmarse que el crecimiento del suelo urbano edificado no ha sido tan dispar del crecimiento poblacional urbano, o al menos al ritmo que lo señalaba la SEDESOL. Las grandes diferencias se observan cuando se analizan los datos de crecimiento por cada ciudad y no en promedio o sumados con el resto de las ciudades.

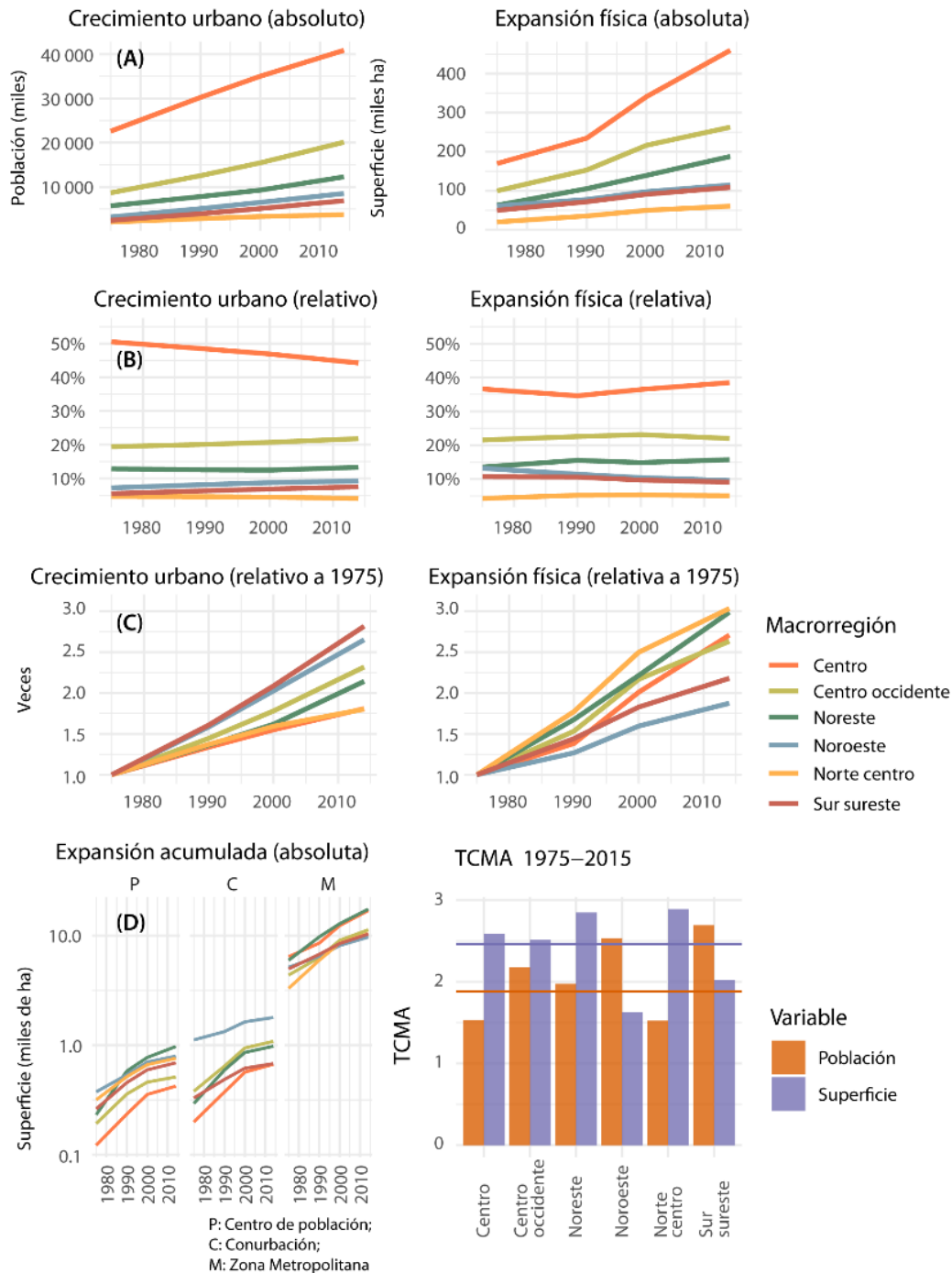
Otro hallazgo importante tiene que ver con el aumento del suelo edificado fuera de las zonas urbanas. En la tabla 4 se puede apreciar una reducción de la proporción del suelo urbano edificado con respecto al total del suelo edificado en México, pasando de 80.1% en 1975 a 71.8% en 2014, lo cual apunta sin duda a un proceso de edificación (dispersa o en clústeres dispersos) fuera de los límites oficiales de lo que se considera urbano, probablemente representado en su mayoría por desarrollos inmobiliarios periurbanos y zonas industriales. Por otro lado, se confirma la tendencia al aumento de la población urbana (grado de urbanización [GU]), pues pasa de 75.2% en 1975 a 78.4% en 2014, muy probablemente por la vía del aumento de la densidad en zonas periféricas de las ciudades.¹⁴

12 La diferencia de datos, tanto de población como de área para cada zona metropolitana, conurbación o centro de población que conforman el SUN con respecto a los datos oficiales de los censos y de los documentos de delimitación de zonas metropolitanas del INEGI, radican en que: a) para el caso de la población, se utilizó la Global Population of the World Project (GHS-POP), creada por el Socioeconomic Data and Applications Center (s. f.) y no la población oficial por municipio de los censos; y b) para el caso del área edificada en zonas urbanas, el cálculo de la suma del área se realiza con la delimitación del SUN 2018, el cual puede ser mayor que la suma estimada de manera oficial, debido a que en años anteriores el SUN tenía menos municipios.

13 Que se obtiene promediando las TCMA, tanto de la población como de la expansión urbana, por cada ciudad para todo el SUN.

14 Ya consignado en investigaciones previas (Monkkonen et al., 2018).

Figura 4. Crecimiento acumulado absoluto, relativo y respecto a 1975, tasas de crecimiento por región



Nota: las líneas representan el valor de las tasas del SUN en su conjunto.
 Fuente: elaboración propia con datos de Florczyk et al. (2019).

Tabla 4. Crecimiento urbano y expansión física 1975-2014 agregados a escala del SUN 2018.

Año	Área de suelo urbano edificado dentro del SUN (ha)	Área de suelo edificado en el país (ha)	Suelo urbano edificado (dentro del SUN (%))	Población urbana (dentro del SUN)	Población del país	Grado de urbanización (GU)	Área de suelo urbano edificado dentro del SUN (m ² costa)	Población urbana dentro del SUN en zonas de costa	Población urbana en zonas de costa + población urbana interior (SUN) expresado en porcentaje	Suelo urbano edificado en zonas de costa + suelo urbano edificado interior (SUN) expresado en porcentaje
2014	1 220 494	1 698 761	71.8%	94 044 712	119 938 473	78.49%	2 192 199 831	14 918 405	15.9%	18.0%
2000	945 485	1 310 132	72.2%	75 824 869	97 483 412	77.8%	1 813 073 993	11 396 562	15.0%	19.2%
1990	684 040	899 902	76.0%	63 337 654	81 249 645	78.0%	1 452 947 576	9 017 956	14.2%	21.2%
1975	463 660	578 846	80.1%	45 245 536	60 153 400	75.2%	1 139 364 377	5 861 620	13.0%	24.6%

Fuente: elaboración propia con datos de Florczyk et al. (2019).

Expansión de suelo urbano edificado y crecimiento poblacional en ciudades de costa, 1975-2014

Se calculó la evolución del proceso de concentración poblacional y de las actividades en las zonas costeras, denominado proceso de litoralización. Se argumenta que dicha concentración ejerce mucha presión sobre los sistemas naturales costeros (Dachary-Bernard, Gaschet, Lyser, Pouyanne y Virol, 2011; Zucca y Colombo, s. f.). Es importante conocer la evolución de dicha concentración de cara al cambio climático que enfrenta el planeta y la consiguiente elevación del nivel del mar, con presumibles efectos directos sobre los asentamientos urbanos en la costa. Es posible confirmar un patrón creciente en el lapso de 39 años, pasando de 13% en 1975 a 16% en 2014.¹⁵ Sin embargo, el fenómeno de concentración de población urbana en la costa no se aprecia tan acusado como en otras latitudes, sobre todo en las ciudades del Mediterráneo.¹⁶ Pero es muy importante señalar que la tasa de crecimiento porcentual de la suma de la población en las ciudades de costa rebasó en 56 puntos porcentuales la tasa de crecimiento porcentual de la suma de población en el conjunto de ciudades del SUN en el mismo periodo (1975-2014), lo cual representa cerca de una TCMA de la población en la costa de 2.4% frente a 1.9% en el conjunto de las ciudades del SUN.¹⁷

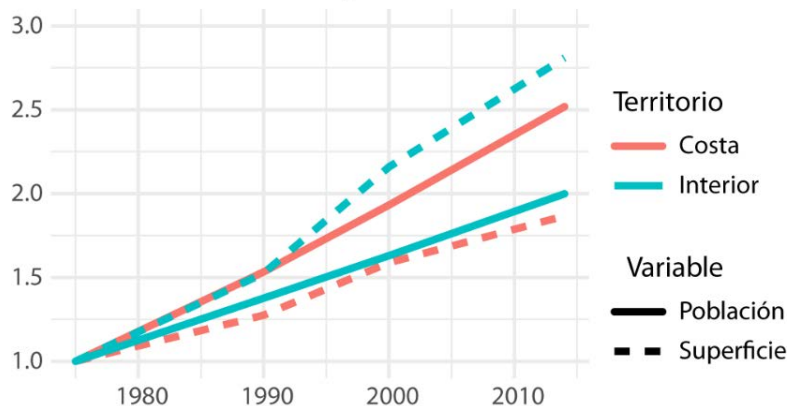
De manera inversa, se observa una tendencia a una menor participación de suelo urbano edificado en zonas costeras frente al total del suelo urbano edificado del país. En otras palabras, mientras que la población de las ciudades del interior ha crecido dos veces y sus ciudades se han expandido 2.8 veces (cociente = 0.71), la población de las ciudades de costa ha crecido 2.5 veces, como se muestra en la figura 5, mientras que sus ciudades se han expandido 1.8 veces (cociente = 1.38). De nuevo, esto no significa que no se hayan expandido las áreas urbanas en la costa de manera descontrolada (como se verá más adelante), sino que, en términos absolutos, ha crecido más el área urbana en el conjunto del territorio que en la costa (el centro del país).

15 En el trabajo de Gutiérrez y González (1999) se reporta una población urbana en costas para 1991 de 21% con respecto al total urbano. En el presente trabajo no se tomaron localidades, sino polígonos del SUN que estuvieran en franca relación con la costa.

16 En 2015, 69.56% de la población española residía en provincias litorales (http://atlasnacional.ign.es/wane/Sistema_urbano_y_%C3%A1reas_metropolitanas).

17 La importancia de este dato radica en que, frente al fenómeno del calentamiento global y la predicción de la elevación del nivel del mar, junto con la edificación de infraestructura para tener acceso a los municipios de la costa, es imperativo que la SEDATU tome previsiones para controlar el fenómeno.

Figura 5. Crecimiento poblacional y expansión del suelo urbano edificado en zonas del interior y en zonas de la costa, 1975-2014 (expresada en veces)



Fuente: elaboración propia con datos de Florczyk et al. (2019).

Expansión de suelo urbano edificado y crecimiento poblacional urbano en las ciudades del SUN, 1975-2014

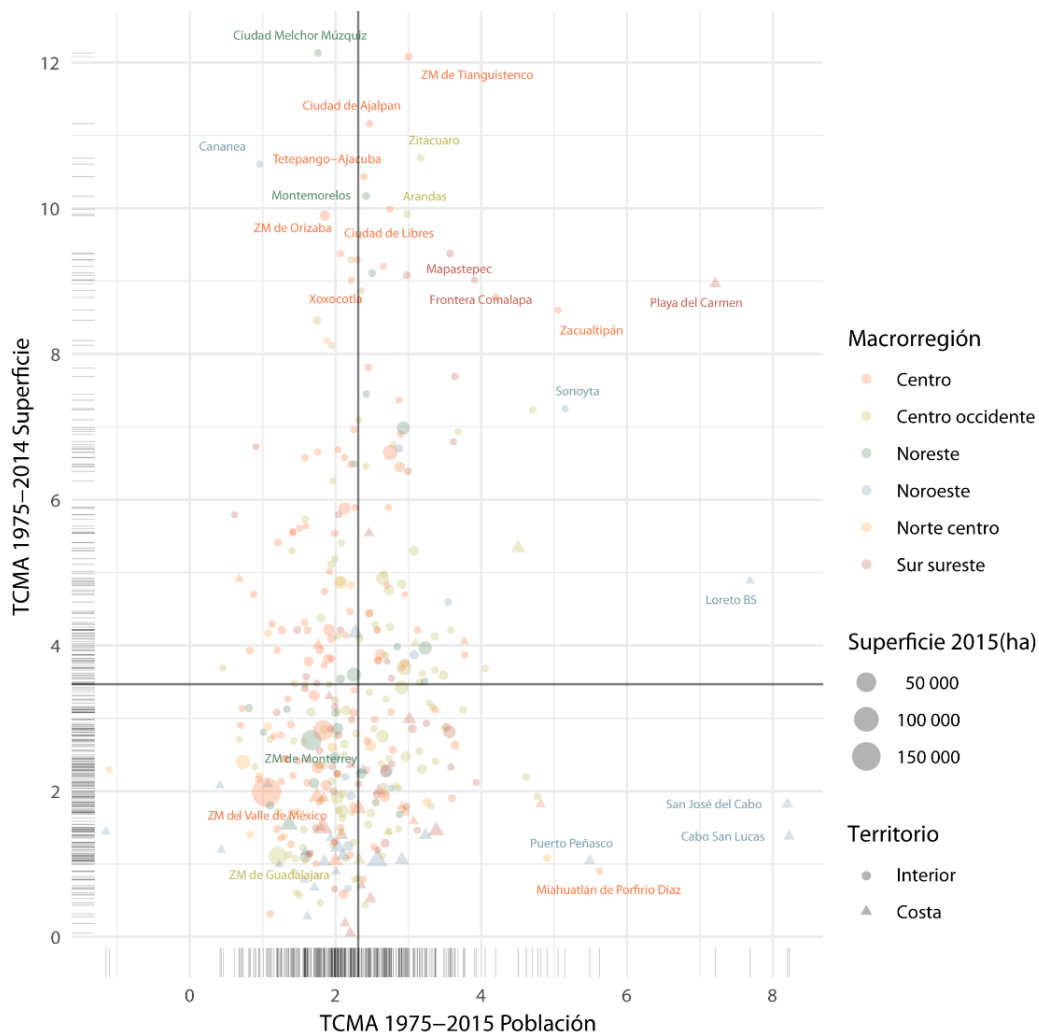
La figura 6 muestra todas las ciudades del SUN que se analizaron y sus valores individuales, tanto de la TCMA de población como de la TCMA de expansión de suelo urbano edificado en el periodo 1975-2014, su tamaño por población en 2014, su pertenencia a una macrorregión de la ENOT, si es una ciudad de costa o de interior y rectas de ajuste por región que muestran la relación entre ambas TCMA.¹⁸

Lo primero que puede observarse es que las aglomeraciones urbanas que tienen una TCMA de población más alta que el resto de las ciudades y muy por encima del promedio de la TCMA del SUN (2.4% anual) son, en general, ciudades de costa o pequeños centros de población del interior. San José del Cabo (8.4%), Cabo San Lucas (8.4%), Loreto (7.8%), Playa del Carmen (7.4%), Puerto Peñasco (5.6%) y Puerto Escondido-Zicatela (4.9) son las aglomeraciones urbanas de costa que más han aumentado su población en este lapso (1975-2015), mientras que Playa del Carmen (8.9%), Paraíso (5.5%), Puerto Vallarta (5.3%) y Loreto (4.8%) son las que sobresalen por su expansión en la superficie, mostrando valores muy por encima del promedio del SUN (3.4% anual) en el periodo 1975-2015. Estos asentamientos urbanos de costa, a excepción de Loreto, se caracterizan por tener valores altos de discontinuidad geométrica en relación con el conjunto del SUN (no visible en la gráfica).

Son muchas las aglomeraciones urbanas del SUN que presentan una TCMA de expansión física por encima del promedio (parte superior de la gráfica). Sin em-

18 En su versión interactiva es posible observar también a qué tipo de ciudad pertenece (centro de población, conurbación o zona metropolitana). Véase <https://is.gd/UEwEm>

Figura 6. Gráfica sintética de la evolución de las ciudades del SUN (tasas medias anuales de crecimiento, 1975-2015)



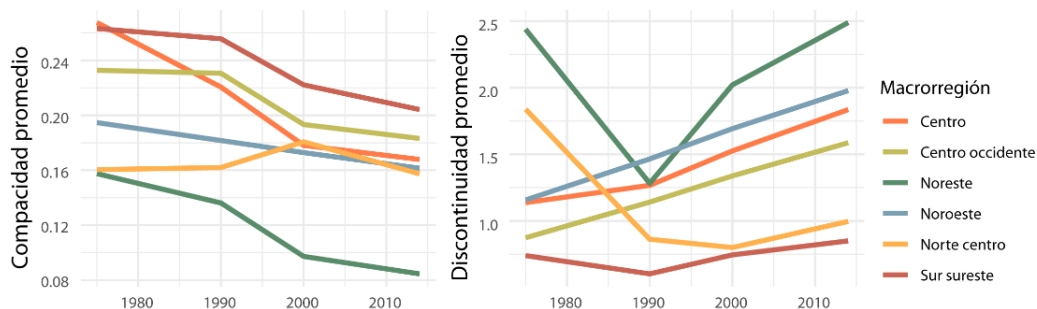
Fuente: elaboración propia con datos de Florczyk et al. (2019).

bargo, la mayoría de los casos extremos que se observan corresponden a aglomeraciones ubicadas en la región centro —la ZM de Tianguistenco (12%), Ciudad de Ajalpan (11%), la ZM de Orizaba (9.9%), Cananea (10%) en la región noroeste y algunos pequeños centros de población ubicados en la región noreste—. Las tres aglomeraciones urbanas más grandes del país —zona metropolitana del Valle de México, Guadalajara y Monterrey— presentan TCMA de expansión física menores que el promedio, lo cual obedece al gran tamaño que ya presentan. Sin embargo, se detectan casos críticos de ciudades de gran tamaño que muestran un crecimiento por encima del promedio, tanto en la población como en la expansión física, respectivamente: Querétaro (3% y 3.6%), León (2.9% y 3.4%), Saltillo (3% y 7%), Toluca (2.8% y 6.6%) y Cuernavaca (2.1% y 5.8%).

Estructura espacial urbana de las ciudades mexicanas, 1975-2014

A pesar de merecer un análisis adicional y más extenso que el que aquí se exhibe, en el SUN se confirma una tendencia generalizada de un crecimiento disperso de las ciudades en todas las regiones. En la figura 7 es posible apreciar con claridad este efecto. Se observa también que la región sur-sureste es la que, en promedio, aloja las ciudades que tienen menor dispersión geométrica y que la región noreste es la que en promedio alberga las ciudades con mayor dispersión. Todas las regiones muestran una tendencia al crecimiento disperso. Es muy interesante observar que, a partir de 1990, la pendiente se invierte, acelerando la forma de consumo espacial a manera de *leapfrog* o salto de rana en al menos tres regiones –para ahondar en sus implicaciones, véase Galster et al. (2001)–.

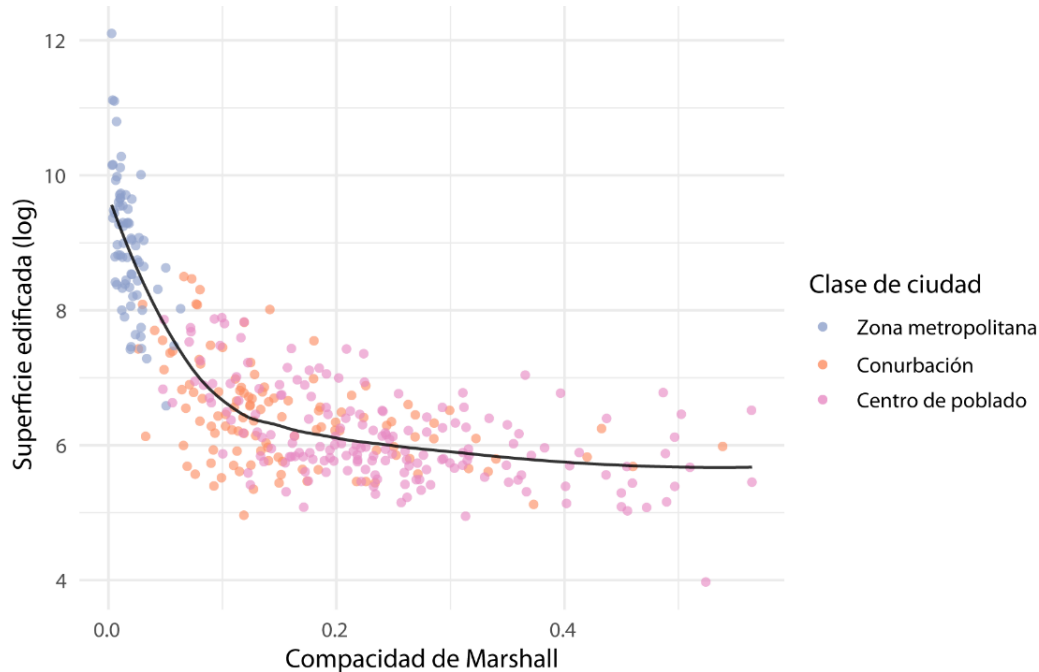
Figura 7. Evolución de la discontinuidad espacial en las ciudades del SUN (1975-2014) a escala regional



Fuente: elaboración propia.

La figura 8 muestra lo que ya se sabe desde hace tiempo en la literatura: que las aglomeraciones urbanas más grandes son las que presentan menores valores de compacidad (en este caso, la ZM del Valle de México es la que presenta la menor compacidad, lo cual coincide con el estudio de González-Arellano y Larralde (2019). Entre las diez aglomeraciones urbanas menos compactas, pueden incluirse Toluca, Monterrey, Mexicali, Querétaro, Celaya, la zona metropolitana Puebla-Tlaxcala, Villahermosa, Tula, la zona metropolitana de La Piedad-Pénjamo y León.

Figura 8. Gráfica de dispersión que muestra la relación entre el tamaño de las aglomeraciones urbanas del SUN y su compacidad geométrica

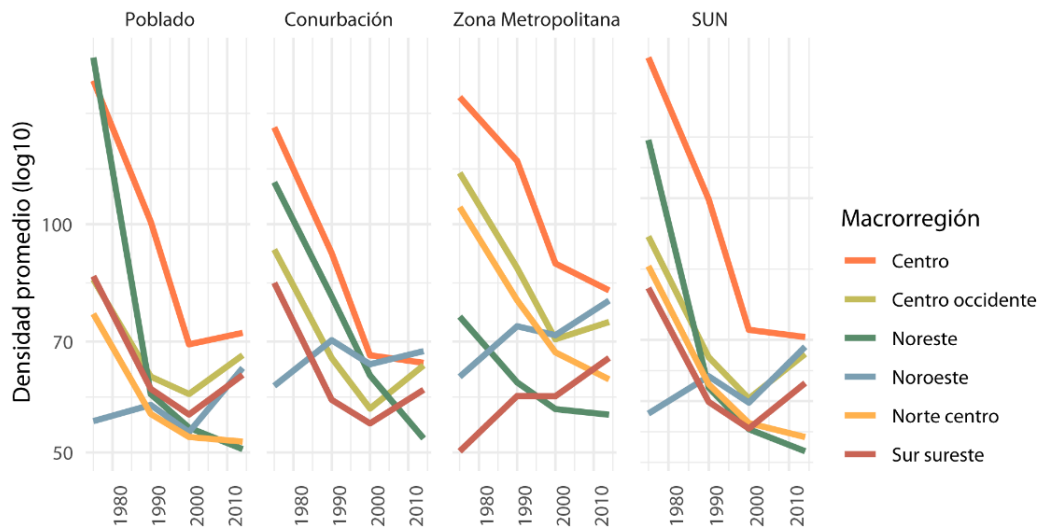


El eje de la Y se encuentra en la escala logarítmica natural.
Fuente: elaboración propia con datos de Florczyk et al. (2019).

Cuando se analiza la evolución de la densidad del conjunto de las aglomeraciones urbanas del SUN,¹⁹ se puede observar (véase figura 8) que, en efecto, los promedios regionales indican una tendencia muy pronunciada a la baja. Sin embargo, las macrorregiones sur-sureste, noroeste y centro-occidente muestran un repunte sostenido de esa evolución desde 2000. El centro, el noreste y el norte-centro continúan la tendencia a la baja. También es posible apreciar un comportamiento diferente a escala regional por tipo de ciudad, siendo los centros de población los que presentan una recuperación más acusada de la densidad, y las zonas metropolitanas las que presentan pérdida en este indicador.

19 La drástica caída en la densidad observada desde 1975 puede ser efecto de un problema en la consistencia de los datos espaciales. Sin embargo, esa tendencia se mantiene eliminando de la serie los datos de 1975. Se hace hincapié en que se utiliza la densidad con base en la población y no con base en la vivienda debido a que, en esta escala analítica, es indistinto el uso de una o de otra.

Figura 9. Gráfica que muestra la densidad promedio a escala regional en el periodo 1975-2014, para centros de población (P), conurbaciones (C), zonas metropolitanas (M) y el SUN



Fuente: elaboración propia.

Cuando se confrontaron estos hallazgos con la revisión crítica de la ENOT, se observó que esta reconoce —al igual que este estudio— las diferencias existentes entre las aglomeraciones urbanas del SUN. Relativo a la política en general para la estructuración urbana, la ENOT se concentra en la promoción y en la regulación de las ciudades compactas, con densidades sostenibles en aras de evitar los procesos de dispersión periférica, además de favorecer la mezcla de usos del suelo compatibles. Para controlar el crecimiento urbano, considera constituir reservas territoriales para ubicar y ordenar el crecimiento urbano y aprovechar los lotes baldíos al interior de las ciudades e impulsar la constitución de reservas territoriales y de vivienda asequible.

En cuanto a la jerarquía de las aglomeraciones urbanas que conforman el SUN, la ENOT entiende las zonas metropolitanas como los principales nodos estructuradores para el desarrollo, el ordenamiento y la gobernanza del territorio. Al interior de ellas se prevé ordenar su estructura urbana, el uso y la ocupación del suelo, además de controlar la expansión periférica. Considera las ciudades medias y pequeñas nodos articuladores entre las grandes metrópolis y las zonas rurales (ciudades intermedias por su función de intermediación entre las dinámicas urbanas y las rurales). Las ciudades medias son más dinámicas y crecen más rápido. Por eso en la ENOT se propone el fortalecimiento de estas como nodos articuladores mediante el impulso al desarrollo de ciudades medias y pequeñas que puedan reducir la presión que se ejerce dentro de las zonas metropolitanas.

En relación con el proceso urbano en las ciudades litorales, solo se menciona en la ENOT este diagnóstico: “Las costas mexicanas presentan formas de ocu-

pación desordenada de las playas, destrucción de manglares y contaminación de puertos causadas, principalmente, por una equivocada concepción de los desarrollos turísticos e industriales” (SEDATU, 2021, p. 10). Sin embargo, no se consideran en la estrategia de manera puntual.

La política regional subraya el fortalecimiento de la integración de las ciudades pequeñas y las medias a través de inversiones en infraestructura. Dicha política se presume adecuada a la luz del hallazgo obtenido en este trabajo, que sustenta que, en promedio, la región sur-sureste alberga las ciudades que tienen más compacidad geométrica. No obstante, se deberán controlar sus ritmos de crecimiento y su densidad urbana.

En lo concerniente a las políticas por cada macrorregión planteadas en la ENOT, se ha demostrado que en la región centro continúa aumentando la población urbana, así como su ritmo de expansión física. El gobierno federal, frente a esta realidad, establece una estrategia que pretende limitar los procesos de expansión horizontal de la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM). No obstante, perfila como alternativa alentar el desarrollo del resto de las zonas metropolitanas y de las ciudades medias, y de las pequeñas de la corona metropolitana (descentralización de proximidad). Es una estrategia que deberá controlar el ritmo del crecimiento acumulado de la superficie a través de la instrumentación para el uso de lotes baldíos, del incremento de la densidad habitacional y mediante instrumentos que revaloricen el suelo natural contiguo, con el objetivo de desincentivar la ocupación en zonas de alto valor medioambiental.

En el caso de la zona metropolitana de Guadalajara, los ritmos de crecimiento de población y expansión se han mantenido en proporciones similares, aunque es un poco mayor su expansión física. La política apunta hacia la consolidación de la estructura urbana polinuclear y una mayor regulación.

La región noreste aloja –en promedio– las ciudades con menor compacidad y con mayor pérdida de densidad. La ENOT establece para esta región que se deberá equilibrar el sistema de ciudades consolidando corredores y fortaleciendo las ciudades.

La región norte-centro muestra un patrón urbano extensivo, pues su crecimiento poblacional es menor que la expansión promedio, mientras que su expansión física está por encima del promedio. Es decir, en la región se observa una tendencia franca a la reducción de su densidad. Dadas sus condiciones naturales, la ENOT quiere regular la expansión periférica en Ciudad Juárez, fortalecer la subregión de La Laguna como centro regional de servicios y al mismo tiempo impulsar las ciudades medias y pequeñas.

Como muestra la figura 4, es imperativo seguir fomentando la descentralización, pero no solo desde la región centro a otras regiones, sino también desde las zonas metropolitanas hacia los centros de población, que desempeñan un papel preponderante en la relación funcional entre el sistema rural y el sistema urbano. Por otro lado, es necesario reducir la distancia entre la TCMA de población y la expansión física mediante una mezcla de mecanismos novedosos de subsidio en suelo servido y la elevación de precios en suelo periférico que reduzcan la presión de los gobiernos para aumentar la dotación de servicios en

zonas muy alejadas de los centros urbanos. Si se observa un aumento generalizado en la dispersión urbana, es sobre todo debido a la errónea decisión de promover vivienda exurbana sin centros de trabajo que hubieran acompañado dicha iniciativa. Por eso urgen nuevas ideas que propugnen un reordenamiento del espacio que rodea a las grandes ciudades, en lugar de poner el foco en el centro de ellas.

Conclusiones

Los resultados más importantes de este trabajo pueden resumirse en las siguientes aseveraciones. 1) Que el ritmo de crecimiento del área urbana (3.5% anual) no ha sido tan dispar del crecimiento de la población urbana (2.4% anual) entre 1975 y 2014 como se ha aseverado. Ello no significa que las ciudades del país estén creciendo de manera sostenible. La relación entre el crecimiento de la población urbana y el crecimiento del suelo urbano debe revisarse para lograr que las ciudades sean menos dispersas y de baja densidad edilicia. Pero, al mismo tiempo, deben diseñarse políticas *ad hoc* que aseguren la expansión urbana necesaria pero sin la inclusión de límites al crecimiento que promuevan una expansión en una segunda o tercera corona metropolitana —como ocurrió en la Ciudad de México con la promulgación del Bando 2, el cual restringió la construcción en las zonas periféricas y trasladó la presión inmobiliaria a los municipios conurbados del Estado de México—, además de políticas de redensificación que consideren el subsidio al precio del suelo urbano y reduzcan el efecto de gentrificación que por tradición acompaña a estos procesos derivados del aumento del precio del suelo. Mediante estos mismos datos, se observa que el crecimiento urbano y la expansión física en México no son un fenómeno exclusivo nacional, pues están en concordancia con los datos que observaron Angel et al. (2011) para diversas ciudades en el mundo hacia 2011.

2) Se aprecia que la macrorregión centro sigue siendo donde se concentra la mayoría de la población y del suelo urbano, lo cual pone en evidencia que las políticas de descentralización planteadas desde la década de 1970 no han rendido los frutos deseados. Por eso es imperativo promover nuevamente la relocalización de actividades productivas en todo el país; esto es, una deslocalización espacial de las empresas productivas con base en las potencialidades regionales con miras a conseguir un mayor equilibrio nacional en la distribución de infraestructuras y cargas del crecimiento urbano.

3) Una tercera observación importante es que existe una creciente tendencia a la litoralización que, aun cuando no es tan aguda como en otras latitudes, debe colocarse en la agenda pública como un problema de ordenamiento territorial particular en los años venideros, sobre todo por los efectos que el calentamiento global pueda tener sobre el aumento del nivel del mar.

4) Queda demostrado que el conjunto de las ciudades del SUN está creciendo sin continuidad espacial; es decir, están creciendo de forma dispersa, presentando además una pérdida de densidad sostenida promedio a escala regional.

5) Parece necesario desarrollar, de manera sistémica, un proyecto de generación de datos de crecimiento de los asentamientos humanos por la vía remota que considere, en principio, las pautas en las que el país recaba información de población (cada cinco años). La información geoespacial que se produzca de forma sistemática deberá mantener una misma resolución espacial, con el objetivo de poder comparar los cambios con precisión en el tiempo. Ello contribuirá a tomar decisiones más racionales sobre el uso del territorio y el destino de los recursos para el desarrollo o para la remediación.

Referencias

- Agencia Espacial Europea (ESA). (2019). *World Settlement Footprint (WSF) 2019 10m*. European Spatial Agency/Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Recuperado de <https://geoservice.dlr.de/web/maps/eoc:wsf2019>
- Aguilar, A. (2005). *Procesos metropolitanos y grandes ciudades dinámicas recientes en México y otros países*, Vol. 1a. México: Cámara de Diputados, LIX Legislatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y M. A. Porrúa.
- Aguilar, A., Castro, L., y Juárez, E. (1995). *El desarrollo urbano de México a fines del siglo XX*. Monterrey: Instituto de Estudios Urbanos de Nuevo León.
- Ahrend, R., Farchy, E., Kaplanis, I., y Lembcke, A. (2017). What makes cities more productive? Evidence from five OECD countries on the role of urban governance. *Journal of Regional Science*, 57(3), 385-410. doi: <https://doi.org/10.1787/20737009>
- Amindarbari, R., y Sevtsuk, A. (2015). *Metropolitan form analysis toolbox for ArcGIS v 10.2 and v 10.3.1*. City Form Lab. Recuperado de http://media.voog.com/0000/0036/2451/files/20150913_MFA_Help.pdf
- Angel, S., y Blei, A. (2016). The productivity of American cities: How densification, relocation, and greater mobility sustain the productive advantage of larger U. S. metropolitan labor markets. *Cities*, 51(enero), 36-51. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.11.030>
- Angel, S., Lamson-Hall, P., Blei, A., Shingade, S., y Kumar, S. (2021). Densify and expand: A global analysis of recent urban growth. *Sustainability*, 13(7), 3835. doi: <https://doi.org/10.3390/su13073835>
- Angel, S., Parent, J., y Civco, D. (2010). Ten compactness properties of circles: Measuring shape in geography. *The Canadian Geographer/Le Géographe Canadien*, 54(4), 441-461. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.2009.00304.x>
- Angel, S., Parent, J., Civco, D., Blei, A., y Potere, D. (2011). The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000-2050. *Progress in Planning*, 75(2), 53-107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.progress.2011.04.001>
- Anzaldo, C. (2017). Expansión urbana y sustentabilidad de las ciudades. En J. Montejano y C. Caudillo (eds.), *Densidad, diversidad y policentrismo: ¿planeando ciudades más sustentables?* (pp. 39-55). *Ciudad de México: Centro-Geo-CONACYT*. Recuperado de <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/262>

- Bassols, A. (1983). *Formación de regiones económicas*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Batty, M. (2008). The size, scale, and shape of cities. *Science*, 319(5864), 769-771. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1151419>
- Bazant, J. (2010). Expansión urbana incontrolada y paradigmas de la planeación urbana. *Espacio Abierto*, 19(3), 475-503. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12215112003>
- Boarnet, M. (2011). A broader context for land use and travel behavior, and a research agenda. *Journal of the American Planning Association*, 77(3), 197-213. doi: <https://doi.org/10.1080/01944363.2011.593483>
- Boarnet, M., y Crane, R. (2001). The influence of land use on travel behavior: Specification and estimation strategies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(9), 823-845. doi: [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(00\)00019-7](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(00)00019-7)
- Burdett, R., y Sudjic, D. (eds.) (2007). *The endless city: The urban age project by the London School of Economics and Deutsche Bank's Alfred Herrhausen Society*. Londres: Phaidon.
- Camagni, R., Gibelli, M., y Rigamonti, P. (2002). Urban mobility and urban form: The social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological Economics*, 40(2), 199-216. doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00254-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00254-3)
- Caudillo, C. (2022). *Desventaja de transporte y movilidad urbana en la zona metropolitana del Valle de México (Tesis de Doctorado en Ciencias de Información Geoespacial)*. Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial.
- Cervero, R. (1995). Planned communities, self-containment and commuting: A cross-national perspective. *Urban Studies*, 32(7), 1135-1162. doi: <https://doi.org/10.1080/0042098955001261>
- Cervero, R. (1996). Mixed land-uses and commuting: Evidence from the American Housing Survey. *Transportation Research. Part A, Policy and Practice.*, 30A(5). doi: [https://doi.org/10.1016/0965-8564\(95\)00033-X](https://doi.org/10.1016/0965-8564(95)00033-X)
- Chen, J., y Zhou, Q. (2017). City size and urban labor productivity in China: New evidence from spatial city-level panel data analysis. *Economic Systems*, 41(2), 165-178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2016.07.002>
- Couturier, S., Luna, R., Covarrubias, J, Rangel, J., Kuffer, M., Sliuzas, R., ... y Martínez, R. (2020). Monitoring the land consumption rate of urban growth from the urban footprint of Mexico, an online national cartographic platform. *Terra Digitalis*, 4(1), 1-8. doi: <https://doi.org/10.22201/igg.25940694.2020.1.70.157>
- Dachary-Bernard, J., Gaschet, F., Lyser, S., Pouyane, G., y Virol, S. (2011). L'impact de la littoralisation sur les marchés fonciers: Une approche comparative des côtes basque et charentaise. *Economie et Statistique/Economics and Statistics*, 444-445, 127-154. Recuperado de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00688634/document>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (29 de diciembre de 2014). Reglas de operación del Programa de Consolidación de Reservas Urbanas, para el ejercicio

- fiscal 2015 y subsecuentes. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. Recuperado de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5377620&fecha=29/12/2014#gsc.tab=0
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1 de junio de 2021). Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. Recuperado de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGAHOTDU_010621.pdf
- European Commission. (s. f.). *Global Human Settlement Layer*. Recuperado de <https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/>
- Florczyk, A., Corbane, C., Ehrlich, D., Freire, S., Kemper, T., Maffenini, L., Melchiorri, M., Pesaresi, M., Politis, P., y Schiavina, M. (2019). GHSL Data Package 2019. *Luxembourg. EUR, 29788*. Recuperado de https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/documents/GHSL_Data_Package_2019.pdf?t=1478q532234372
- Frank, L., y Pivo, G. (1994). Impacts of mixed use and density on utilization of three modes of travel: single-occupant vehicle, transit, and walking. *Transportation Research Record, 1466*, 44. Recuperado de <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1994/1466/1466-007.pdf>
- Freire, S., Doxsey-Whitfield, E., MacManus, K., Mills, J., y Pesaresi, M. (2016). Development of new open and free multi-temporal global population grids at 250 m resolution (documento de conferencia). *Population, 250*. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Martino-Pesaresi-2/publication/304625387_Development_of_new_open_and_free_multi-temporal_global_population_grids_at_250_m_resolution/links/5775219c08aead7ba06ff7d8/Development-of-new-open-and-free-multi-temporal-global-population-grids-at-250-m-resolution.pdf
- Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M. R., Wolman, H., Coleman, S., y Freihage, J. (2001). Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept. *Housing Policy Debate, 12(4)*, 681-717. doi: <https://doi.org/10.1080/10511482.2001.9521426>
- Garza, G. (2002). *Evolución de las ciudades mexicanas en el siglo XX*. *Revista de Información y Análisis, 19(enero)*, 7-16. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/237365540_Evolucion_de_las_ciudades_mexicanas_en_el_siglo_XX
- Garza, G. (2010). La transformación urbana de México, 1970-2020. En G. Garza y M. Schteingart (coords.), *Los grandes problemas de México (Vol. 2, pp. 31-86)*. Ciudad de México: El Colegio de México.
- Giuliano, G., y Narayan, D. (2003). Another look at travel patterns and urban form: The US and Great Britain. *Urban Studies, 40(11)*, 2295-2312. doi: <https://doi.org/10.1080/0042098032000123303>
- Gobierno de México. (2018). *Sistema urbano nacional 2018*. Recuperado de <https://www.gob.mx/conapo/documentos/sistema-urbano-nacional-2018>
- González-Arellano, S., y Larralde, A. (2019). La forma urbana actual de las zonas metropolitanas en México: indicadores y dimensiones morfológicas. *Estudios Demográficos y Urbanos, 34(1)*, 11-42. doi: <https://doi.org/10.24201/edu.v34i1.1799>

- Guerra, E., Caudillo, C., Monkkonen, P., y Montejano, J. (2018). Urban form, transit supply, and travel behavior in Latin America: Evidence from Mexico's 100 largest urban areas. *Transport Policy*, 69(octubre), 98-105. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.06.001>
- Gutiérrez, M., y González, J. (1999). Las costas mexicanas y su crecimiento urbano. *Investigaciones Geográficas*, 40(diciembre), 110-126. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46111999000300009
- Hanson, S., y Schwab, M. (1987). Accessibility and intraurban travel. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 19(6), 735-748. doi: <https://doi.org/10.1068/a190735>
- Hassan, A. M., y Lee, H. (2015). Toward the sustainable development of urban areas: An overview of global trends in trials and policies. *Land Use Policy*, 48(noviembre), 199-212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.04.029>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1990a). *Estadísticas históricas de México*, Vol. 1. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825460204/702825460204_1.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1990b). *XI Censo General de Población y Vivienda 1990*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1990/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2000). *XII Censo de Población y Vivienda 2000*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2000/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). *Encuesta Intercensal 2015*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Kallis, G. (2011). In defense of degrowth. *Ecological Economics*, 70(5), 873-880. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.12.007>
- L3Harris Geospatial. (s. f.). *Calculate confusion matrices*. Recuperado de <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/calculatingconfusionmatrices.html>
- Levinson, D., y Kumar, A. (1997). Density and the journey to work. *Growth and Change*, 28(2), 147-172. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1468-2257.1997.tb00768.x>
- Marconcini, M., Metz-Marconcini, A., Esch, T., y Gorelick, N. (2021). Understanding current trends in global urbanisation-the World Settlement Footprint Suite. *GI_Forum*, 9(1), 33-38. doi: https://doi.org/10.1553/giscience2021_01_s33
- Marshall, S., Gong, Y., y Green, N. (2019). Urban compactness: New geometric interpretations and indicators. En D'Acci, L., y Batty, M. (eds.), *The mathe-*

- matics of urban morphology* (pp. 431-456). Springer Nature Switzerland AG. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-12381-9_19
- Meijers, E., y Burger, M. (2010). Spatial structure and productivity in US metropolitan areas. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 42(6), 1383-1402. doi: <https://doi.org/10.1068/a42151>
- Mieszkowski, P., y Mills, E. (1993). The causes of metropolitan suburbanization. *The Journal of Economic Perspectives*, 7(3), 135-147. doi: <https://doi.org/10.1257/jep.7.3.135>
- Monkkonen, P., y Comandon, A. (2016). Expansión urbana, segregación y estructura especial. *Ciudades*, 111 (julio-septiembre), 50-59.
- Monkkonen, P., Comandon, A., Montejano, J., y Guerra, E. (2018). Urban sprawl and the growing geographic scale of segregation in Mexico, 1990-2010. *Habitat International*, 73(marzo), 89-95. doi: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.12.003>
- Monkkonen, P., Guerra, E., Montejano, J., y Caudillo, C. (2022). *Regulating urban sustainability: Land regulations, urban spatial structure, transportation infrastructure, and greenhouse gas emissions* (Working Paper). Lincoln Institute of Land Policy. Recuperado de <https://www.lincolnst.edu/pt-br/publications/working-papers/regulating-urban-sustainability>
- Monkkonen, P., Montejano, J., Guerra, E., y Caudillo, C. (2019). Compact cities and economic productivity in Mexico. *Urban Studies*, (57)10, 2080-2097. doi: <https://doi.org/10.1177/0042098019869827>
- Montejano, J., y Caudillo, C. (2017). *Densidad, diversidad y policentrismo: ¿planeando ciudades más sustentables?* CentroGeo-CONACYT. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/321781092_Densidad_Diversidad_y_Policentrismo_planeando_ciudades_mas_sustentables
- Montejano, J., Monkkonen, P., Guerra, E., y Caudillo, C. (2019). *The costs and benefits of urban expansion: Evidence from Mexico, 1990-2010*. Cambridge: Lincoln Institute of Land Policy. Recuperado de https://www.lincolnst.edu/sites/default/files/pubfiles/montejano_wp19jm1.pdf
- Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). (s. f.). *Gridded Population of the World (GPW)* (Versión 4) [Computer software]. Recuperado de <https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/gpw-v4/documentation>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). (2021). *Estrategia nacional de ordenamiento territorial*. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. Recuperado de <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/estrategia-nacional-de-ordenamiento-territorial-de-la-sedatu-2020-2040>
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). (2012). *La expansión de las ciudades: 1980-2010 en México*. Ciudad de México: Secretaría de Desarrollo Social.
- Senado de la República, Fundación Idea, y Simo Consulting. (2014). *México compacto: las condiciones para la densificación urbana inteligente en México*. Grupo Impreso. Ciudad de México. Recuperado de http://www.senado.gob.mx/comisiones/vivienda/docs/mexico_compacto.pdf

- Shen, J., Chen, C., Yang, M., y Zhang, K. (2019). City size, population concentration and productivity: Evidence from China. *China & World Economy*, 27(1), 110-131. doi: <https://doi.org/10.1111/cwe.12270>
- Sobriño, J. (1996). Tendencias de la urbanización mexicana hacia finales del siglo. *Estudios Demográficos y Urbanos*, (11) 1, pp. 101-137. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/40315376>
- Unikel, L. (1976). *El desarrollo urbano de México: diagnóstico e implicaciones futuras*. Ciudad de México: El Colegio de México y Centro de Estudios Económicos y Demográficos.
- West, G. (2017). *Scale: The universal laws of growth, innovation, sustainability, and the pace of life in organisms, cities, economies, and companies*. Nueva York: Penguin.
- Zucca, C., y Colombo, V. (s. f.). Littoralisation. *Desertification indicator system for Mediterranean Europe*. Recuperado de https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/projects/DIS4ME/issues/issue_littoralisation.htm