



CIUDADES SALUDABLES EN-PANDEMIA

DENSIDAD URBANA Y COVID-19 EN MÉXICO



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
CIUDAD JUÁREZ



EDICIONES
COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA

Marisol Rodríguez Sosa
Erick Sánchez Flores

Ciudades saludables en-pandemia.
Densidad urbana y COVID-19 en México



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
CIUDAD JUÁREZ



**EDICIONES
COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA**

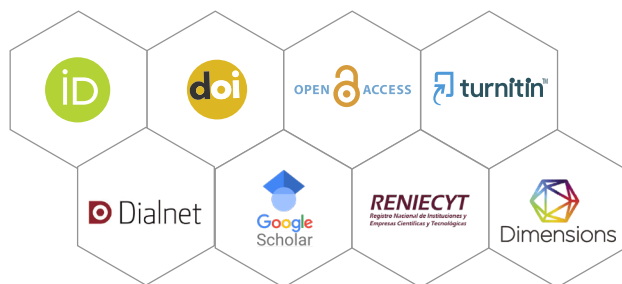
Ediciones Comunicación Científica se especializa en la publicación de conocimiento científico de calidad en español e inglés en soporte de libro impreso y digital en las áreas de humanidades, ciencias sociales y ciencias exactas. Guía su criterio de publicación cumpliendo con las prácticas internacionales: dictaminación de pares ciegos externos, autenticación antiplagio, comités y ética editorial, acceso abierto, métricas, campaña de promoción, distribución impresa y digital, transparencia editorial e indexación internacional.

Cada libro de la Colección Ciencia e Investigación es evaluado para su publicación mediante el sistema de dictaminación de pares externos y autenticación antiplagio. Invitamos a ver el proceso de dictaminación transparentado, así como la consulta del libro en Acceso Abierto.



www.comunicacion-cientifica.com

[DOI.ORG/10.52501/cc.344](https://doi.org/10.52501/cc.344)




**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA**
PUBLICACIONES
ARBITRADAS
HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS

CC+I
**COLECCIÓN
CIENCIA e
INVESTIGACIÓN**

Ciudades saludables en-pandemia.
Densidad urbana y COVID-19 en México

Marisol Rodríguez Sosa
Erick Sánchez Flores



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
CIUDAD JUÁREZ



Rodríguez Sosa, Marisol,

Ciudades saludables en-pandemia: densidad urbana y COVID-19 en México / Marisol Rodríguez Sosa, Erick Sánchez Flores .— Ciudad de México : Comunicación Científica ; Ciudad Juárez : Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2025

160 páginas : gráficas, mapas ; 23 × 16.5 centímetros

DOI: 10.52501/cc.344

ISBN: 978-607-520-560-1 (UACJ)

ISBN: 978-968-9738-46-6 (ECC)

1. Salud urbana. 2. pandemia de COVID-19, 2020-2023 — México. I. Rodríguez Sosa, Marisol, autora. II. Sánchez Flores, Erick, autor.

LC:RA566.7 R63

DEWEY: 362.1042 R63

La titularidad de los derechos patrimoniales y morales de esta obra pertenece a los autores D. R. © Marisol Rodríguez Sosa y Erick Flores Sánchez, 2025. Reservados todos los derechos conforme a la Ley. Su uso se rige por una licencia Creative Commons BY-NC-ND 4.0 Internacional, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.es>

Primera edición en Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2025

Primera edición en Ediciones Comunicación Científica, 2025

Cuidado de la edición: Nancy Rebeca Márquez Arzate

Diseño de portada: • Interiores: Guillermo Huerta

Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V., 2025,
Av. Insurgentes Sur 1602, piso 4, suite 400,
Crédito Constructor, Benito Juárez, 03940, Ciudad de México,
Tel.: (52) 55-5696-6541 • Móvil: (52) 55-4516-2170
info@comunicacion-cientifica.com • www.comunicacion-cientifica.com
f comunicacioncientificapublicaciones x @ ComunidadCient2

ISBN 978-607-520-560-1 (UACJ)

ISBN 978-968-9738-46-6 (ECC)

DOI 10.52501/cc.344



Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos externos.
El proceso transparentado puede consultarse, así como el libro en acceso abierto,
en <https://doi.org/10.52501/cc.344>

Índice

<i>Introducción</i>	11
1. Ciudades saludables en-pandemia	49
2. Densidad urbana y COVID-19, efecto en la incidencia y mortalidad en municipios mexicanos	71
3. Densidad, población municipal y superficie habitada. Tres variables demográficas predictivas del comportamiento del COVID-19	93
4. COVID-19 y otras densidades de atributos urbanos	119
5. Autocorrelación espacial de la incidencia y mortalidad en municipios metropolitanos	137
<i>Referencias</i>	153
<i>Sobre los autores</i>	159

Resumen

Este libro presenta los resultados de una investigación que tuvo como objetivo examinar la relación entre la incidencia y mortalidad por COVID-19 y la densidad de población, entre otros atributos urbanos. La investigación fue conducida desde una perspectiva integradora de los estudios urbanos y de salud pública, con una metodología de tipo cuantitativo y correlacional, recurriendo a pruebas de correlación estadística y de autocorrelación espacial. A partir de datos oficiales del primer año de pandemia en México sin agentes inmunizadores, se examina una muestra de 202 municipios mexicanos de zonas metropolitanas y rurales (estos últimos, los “municipios de la esperanza”). Se estudiaron, como variables dependientes, indicadores de incidencia y mortalidad por COVID-19, y como independientes, 34 atributos urbanos, de los cuales 32 responden a tipos de densidades urbanas, incluida la densidad de población y otras de vivienda y su infraestructura, tipos de movilidad, establecimientos comerciales, de salud, industrias. Se analizó el comportamiento comparativamente por tipos de asentamiento (metropolitanos y rurales) y por rangos de densidad.

La contribución reside en identificar tres principales variables demográficas con mayor valor predictivo de mayores tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 en los municipios mexicanos: superficie municipal habitada, población municipal y densidad de población; así como otras variables de densidad que muestran correlaciones significativas negativas y que expresan características diferenciadas entre los municipios metropolitanos

y rurales. Se sostiene que existe evidencia de correlación positiva entre la densidad de población y el comportamiento del COVID-19, pero esta es moderada, siendo más significativa con la superficie habitada municipal y la población municipal; lo que implica que las poblaciones de las zonas metropolitanas y de las megaciudades están expuestas a mayor riesgo de contagiarse y fallecer por COVID-19. Se argumenta además que la baja densidad no es la solución a la “ciudad saludable”, dado que se detectaron municipios de este rango con tasas de incidencia y mortalidades superiores a la mediana. Por lo que, desde la planeación urbana, no debe abandonarse la ciudad compacta, sino orientarse a promover “metrópolis saludables en-pandemia”; dados los riesgos diferenciados que presentan ante futuras pandemias, y considerando que en ellas habitan más de la mitad de los mexicanos y aportan en mayor medida al producto interno bruto (PIB) nacional.

Palabras clave: *COVID-19, densidad urbana, ciudades saludables, México.*

Introducción

Densidad y COVID-19: debate del urbanismo en-pandemia

Aunque han pasado más de cinco años desde aquel 11 de marzo de 2020 en que la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró pandemia la enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19) causada por el virus SARS-CoV-2¹ (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2020), desde el campo del urbanismo sigue siendo pertinente estudiar su impacto en las ciudades para comprender si existen características urbanas que estén correlacionadas con el comportamiento del COVID-19, cuya detección pueda orientar la planificación futura de ciudades más saludables y el planteamiento de estrategias de salud pública diferenciadas para distintos tipos de poblaciones.

De acuerdo con datos del Johns Hopkins University of Medicine Coronavirus Resource Center,² el mundo contabilizó hasta el 10 de marzo de 2023 —fecha en que dicho Centro dejó de coleccionar datos— un total de 676 609 955 personas enfermas y 6 881 955 fallecidas por la enfermedad COVID-19 (Johns Hopkins University and Medicine, 2023). Asimismo, en México, donde se registró el primer caso confirmado de contagio el 27 de febrero de 2020, el acumulado hasta el 10 de marzo de 2023 ascendía a 7 483 444 contagios confirmados y 333 188 defunciones (Johns Hopkins University and Medicine, 2023). Partiendo de esos datos, podemos compa-

¹ De acuerdo con la Real Academia Española (2020), la OMS propuso la abreviación COVID-19 para nombrar la enfermedad causada por el SARS-CoV-2, que deriva de: “COronaVirus + Disease ‘enfermedad’ + [20]19”. <https://www.cdc.gov/covid/about/index.html>

² <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>

rar la frecuencia de enfermedad y fallecimiento por COVID-19 entre la población mundial y la mexicana, observando la incidencia³ y mortalidad,⁴ mismas que son de interés en tanto que informan del riesgo de una población a enfermar y fallecer por una enfermedad en un periodo de tiempo dado.

Considerando que los datos refieren al acumulado hasta marzo de 2023, cuando la población mundial contabilizaba 8 045 000 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2023, p. 1) y la población mexicana era de 129 000 000 (INEGI, 2023, p. 1), podemos calcular que, en lo relativo a la tasa de incidencia, considerando los casos acumulados, a nivel mundial se registraban 8 410.3 enfermos por 100 000 habitantes (100k), mientras que en México, 5 801.1 enfermos por 100k hasta marzo de 2023. En cuanto a la tasa de mortalidad general, a nivel mundial se registraban 85.5 fallecimientos por 100k, mientras que en México, 258.3 defunciones por 100k hasta marzo de 2023. Por lo que, comparado con la población mundial, la mexicana presentó un menor riesgo de enfermar, pero un mayor riesgo de fallecer por COVID-19.

Aunque desde el 6 de mayo de 2023 la OMS declaró el fin de la emergencia sanitaria por la pandemia de COVID-19 (OPS, 2023), persiste la preocupación e incertidumbre por la posibilidad de que en el futuro se pueda repetir un evento similar, dado el impacto que tuvo en la salud física y mental de las personas, y en la economía nacional e internacional. Debido a que las grandes metrópolis fueron el epicentro de la crisis sanitaria y que se alertaba de un mayor potencial de transmisión en las ciudades con mayor aglomeración poblacional, surgieron entre urbanistas y planificadores debates y cuestionamientos en torno a la densidad poblacional como un posible principal agravante epidémico.

³ "Incidencia: es la medida del número de casos nuevos, llamados casos incidentes, de una enfermedad originados de una población en riesgo de padecerla, durante un periodo de tiempo determinado. Puede ser medida como frecuencia, tasa o proporción" (OPS, 2017, p. 40). "Tasa: es la medida de la frecuencia en que ocurre un fenómeno en una población definida y tiempo específico (tiempo-persona de exposición)" (p. 35).

⁴ "Mortalidad hace referencia a las defunciones entre la población total (sana o enferma)" (OPS, 2017, p. 45). "Otra forma importante de medir la ocurrencia de enfermedad en la población es a través de la tasa de mortalidad, un estimador del riesgo absoluto de morir" (p. 44).

Esto derivó en el cuestionamiento del paradigma de la ciudad compacta (Jenks et al., 2005), defendido por décadas como modelo a seguir de desarrollo urbano sustentable y alternativa a las ciudades dispersas y desordenadas, que conllevan mayor consumo de suelo, contaminación, desigualdad y distribución ineficiente de la infraestructura y equipamientos públicos (Organización de la Naciones Unidas [ONU]-Hábitat, 2025). En esa coyuntura, surgieron incógnitas sobre lo que podría hacerse para plantear estrategias urbanas sanitariamente seguras para un mundo en potencial riesgo permanente de sufrir nuevas pandemias.

En México, la publicación del documento *Municipios de la esperanza* (Secretaría de Salud, 2020) sirvió de argumento a la crítica pesimista sobre la densidad urbana como agravante de la transmisión epidémica. El documento catalogó como “municipios de la esperanza” a un grupo de localidades rurales de muy baja densidad donde aún no se presentaban contagios en mayo de 2020, lo que avivó el debate en torno a la baja densidad como “esperanza” de modelo saludable.

Poco antes del inicio de la pandemia, concluimos una investigación publicada en el libro *Densificación sustentable y habitable. Viabilidad urbana, económica y sociocultural* (Rodríguez y Sánchez, 2020), donde se definen de la densificación de los municipios mexicanos de baja densidad dentro de límites que no menoscaben su habitabilidad, como estrategia para viabilizar económicamente la oferta de vivienda social en suelos céntricos consolidados y para combatir la creciente periferización de los desarrollos de vivienda social. Por lo que, ante la preocupación por la ciudad compacta, tras el impacto de la pandemia, consideramos oportuno y relevante continuar el estudio del atributo de la densidad de población como agravante epidémico desde el caso de las ciudades mexicanas.

Debido a las alertas de mayor riesgo epidemiológico en lugares con mayor aglomeración de personas, se apuntaba a la densidad de población como agravante. Sin embargo, inicialmente no había datos que comprobaran la existencia o no de una correlación positiva, o que fueran más vulnerables las ciudades con un rango de densidad en particular. La afirmación de que la densidad en sí misma es peligrosa por el posible incremento de riesgo de contagio podía dar lugar a que en la planificación urbana se apostara a la baja densidad y a la implementación de ideas terriblemente erróneas, como las que en el pasado

propiciaron el surgimiento de comunidades suburbanas aisladas y desconectadas, que implican altos costos ambientales, económicos y sociales.

Esto nos motivó a buscar respuestas a los múltiples cuestionamientos surgidos en la pandemia en torno al planteamiento futuro de una planificación urbana sustentable y sanitariamente segura: ¿Las ciudades de mayor densidad presentaron mayores tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19? ¿Entre los rangos de densidad urbana alta, media, media-baja y baja se identifica alguno con mayores tasas de incidencia y mortalidad? ¿Qué rangos de densidad deben promoverse en el futuro ante la realidad de un mundo en riesgo de pandemias? ¿Es necesario plantear políticas de salud pública diferenciadas por municipios de acuerdo con su densidad poblacional? ¿Qué otros atributos urbanos —vivienda y su infraestructura de saneamiento, tipos de movilidad y transporte, actividad comercial— pueden haber afectado el comportamiento del COVID-19?

Como hipótesis inicial, en coincidencia con las sospechas surgidas durante la pandemia, se partió del supuesto de que sí existe una correlación entre la densidad de población y el comportamiento del COVID-19, de suerte que dicho atributo, que mide la aglomeración de personas en un asentamiento humano, sería el principal predictor de mayores tasas de incidencia y mortalidad, existiendo por lo tanto, un mayor riesgo epidémico en municipios de alta densidad en comparación con aquellos de baja densidad. Sin embargo, después de concluir la investigación, no se corroboró la existencia de una correlación fuerte, sino evidencias de una correlación directa mediana entre la variable independiente densidad de población y las variables dependientes del comportamiento del COVID-19 (tasas de incidencia y de mortalidad). Se encontró además, como resultado no esperado en la hipótesis inicial, que las variables dependientes exhiben una correlación directa fuerte con la población del área municipal habitada y la superficie municipal habitada. Esto es indicativo de que se pueden predecir mayores tasas de incidencia y de mortalidad por COVID-19 no sólo en los municipios que aglomeran mayor cantidad de personas, sino además en aquellos que presenten manchas urbanas de mayores dimensiones aunque sean de baja densidad; lo que permite sostener que la baja densidad no es la solución a la ciudad saludable.

Se encontró que existen atributos urbano-territoriales diferenciados

entre los municipios metropolitanos y de la esperanza que representan el contexto urbano y rural respectivamente, y que algunos de ellos están correlacionados con mayores tasas de incidencia y mortalidad en las zonas metropolitanas. Por lo cual, las políticas públicas sobre la ciudad saludable en-pandemia deben partir de la existencia de riesgos diferenciados de incidencia y mortalidad por COVID-19 entre poblaciones de zonas metropolitanas y localidades rurales.

Estudiar el comportamiento del COVID-19 en los municipios mexicanos desde una perspectiva territorial y urbana permitió identificar que sí existen riesgos diferenciados, lo que puede complementar la mirada desde de la salud pública, e informar el diseño de estrategias para reaccionar ante futuros eventos. Desde el punto de vista del urbanismo, es importante responder estas interrogantes por ser las ciudades centros neurálgicos del crecimiento económico que contribuyen aproximadamente con 60 % del producto interno bruto (PIB) mundial (Naciones Unidas, s. d.) donde se concentra más del 55 % de la población global (United Nations, 2018).

Teniendo en cuenta además que “según las previsiones, en 2050 la población urbana mundial prácticamente se habrá duplicado, lo que hará de la urbanización uno de los fenómenos más transformadores del siglo *xxi*” (Closs, 2016, p. 1). Ante el incremento de la urbanización mundial y la emergencia cada vez más frecuente por pandemias, hay un consenso cada vez mayor sobre la urgencia de que todos los países se comprometan a implementar acciones estratégicas hacia un futuro urbano más sostenible y sanitariamente seguro. México también presenta una tendencia de incremento sostenido del número de personas viviendo en ciudades y las previsiones señalan que para el año 2030 el sistema urbano pasará de 384 ciudades a 961, en las que se concentrarán más de 114 000 000 habitantes, que representarán entonces 83.2% de la población nacional (ONU-Hábitat México, 2016).

Siendo así, pasada la emergencia sanitaria, es pertinente analizar detenidamente el comportamiento del COVID-19 en las ciudades mexicanas para coadyuvar a la comprensión del papel de la planificación urbana sanitariamente segura en un mundo en riesgo de pandemias; lo que puede servir de guía para la toma de decisiones en torno a estrategias de mitigación y protección de los habitantes de distintos tipos de municipios, con políticas

adecuadas al riesgo por la condición urbana o rural y los atributos de cada localidad.

Densidad y COVID-19: estudios previos

Tras el impacto de la pandemia por COVID-19 se publicaron múltiples estudios que, desde distintas disciplinas y abordajes, orientaron el debate académico hacia la necesidad de comprender a profundidad su impacto en las ciudades y generar nuevo conocimiento sobre la “ciudad saludable”. Clasificamos estos estudios en dos grupos de acuerdo con el abordaje planteado:

1. Investigaciones que buscaron comprobar estadísticamente la existencia o no de una relación entre el comportamiento del COVID-19 y características urbanas agravantes como la densidad, la población, los sistemas de movilidad.
2. Estudios orientados a documentar prácticas y acciones urbanas emergentes implementadas por las ciudades para afrontar el uso seguro de los espacios públicos, que señalan la importancia de actualizar la planificación y el diseño urbano desde esta nueva experiencia.

Aunque ambos abordajes son importantes para la reflexión sobre la “ciudad saludable”, las contribuciones del primer grupo fueron esenciales para el planteamiento de esta investigación, pues se enfocan en el estudio de la relación entre la densidad de población y el comportamiento del COVID-19, mismas que se describen brevemente a continuación.

En el artículo, “The nature of cities and the Covid-19 pandemic” (Lai et al., 2020), se argumenta que la configuración física de las ciudades juega un papel esencial en los distintos momentos epidémicos, tanto para la prevención, como para la contención y la mitigación: “Urban built environment configuration has a major role to play before (prevention), during (containment and mitigation via segregation) and after (contingency planning and counter measures for offsetting future risks) epidemics” (pp. 27 y 28). Se señala la emergencia de una nueva “ciencia de ciudades saludables” con el

potencial de abrir espacio para reconsiderar las pautas de la planificación urbana orientada a la promoción de la resiliencia y la salud:

A new science of healthy cities is rapidly emerging as a result of large spatialized, gene-environment data platforms [...] We are much better equipped than Snow⁵ and his colleagues, to employ data science to plan and design the built environment to create healthy and resilient cities of tomorrow. (p. 29)

Los autores argumentan que las ciudades más densas tienen mayor propensión al contagio debido al mayor contacto social tanto en espacios abiertos y cerrados, así como en el transporte colectivo: “They have a higher propensity of social contact and transmission due to crowded indoor and outdoor living and through closely packed public transport systems” (Lai et al., 2020, p. 28).

En el mismo año se publicó el estudio *Urban Density and COVID-19* (Carozzi et al., 2020), que examinó el número diario de casos y muertes confirmadas entre enero y junio 2020 en condados urbanos en Estados Unidos. Se recurrió a variables instrumentales (VI) para analizar un conjunto de datos que incluye densidad de población, demografía, características geológicas, conectividad social, ajuste de conducta al distanciamiento social y comportamiento electoral, para identificar si existe una relación causal entre la densidad de población, la dinámica de los brotes y el número diario de muertes. Se reporta como resultado que se encontró evidencia de que los condados de mayor densidad son más propensos a brotes tempranos, pero no se encontró evidencia de que la densidad de población esté relacionada con la incidencia de COVID-19 posterior al inicio del brote de la enfermedad:

We find convincing evidence that density has affected the time of the outbreak in each county, with dense locations more likely to have an early out-

⁵ Se refieren a John Snow (1813-1858), médico inglés que se considera pionero en el campo de la epidemiología, quién concibió el primer sistema de información geográfica funcional aunque hecho a mano enfocado en la epidemiología, al mapear los casos de cólera durante el brote ocurrido en mediados del siglo XIX en Londres, evidenciando la distribución espacial de los enfermos en el distrito de Soho que permitió identificar la fuente de agua que los surtía ubicada en la Broad Street (Tulchinsky, 2018, p. 77).

break. However, we find no evidence that population density is linked with COVID-19 incidence once we adjust for the timing of the onset of the disease in each county. (Carozzi, Provenzano y Roth, 2020, p. 3)

Es decir, se destaca el papel que puede jugar la densidad en predecir brote tempranos, pero no en la tasa de incidencia posterior: “our results show population density appears to affect the impact of COVID-19 only through the timing of outbreaks and not through the rate of subsequent spread” (p. 4). Asimismo, encontraron evidencias de que las localidades densamente pobladas experimentaron muertes por COVID-19 antes que las menos pobladas: “dense locations experienced COVID-19 fatalities earlier than more sparsely populated locations” (p. 6). Por lo que sostienen que la densidad de población puede afectar la cronología y predecir brotes y muertes tempranas, debido a una mayor conectividad social: “we find no evidence that population density is linked with COVID-19 cases and deaths. [...] We show that population density can affect the timing of outbreaks through higher connectedness of denser location” (p. 3).

Los autores subrayan que, dada la variación observada entre países y ciudades en el comportamiento del COVID-19, es fundamental estudiar cada caso y los factores que explican dicha variación, para el planteamiento de políticas sanitarias satisfactorias: “it is vital to understand the key drivers of this variation to establish an adequate policy response” (Carozzi et al., 2020, p. 2).

En el artículo “Urban Densities and the Covid-19 Pandemic: Upending the Sustainability Myth of Global Megacities” (Desai, 2020), se presenta un estudio que tuvo como propósito entender por qué las megaciudades han sido las más afectadas por la pandemia e identificar una densidad de población adecuada para tener una mejor respuesta frente a desastres de este tipo. Se estudiaron las megaciudades de Nueva York y Londres, y se sostiene que, aunque las megaciudades densas son sostenibles en términos económicos, son muy vulnerables a brotes y rápida propagación epidémica, lo que plantea un riesgo diferenciado para estas poblaciones:

High-density urban agglomerations may be sustainable in terms of the economies of scale their populations provide. Yet, as proven by the ongoing

COVID-19 pandemic, these same urban spaces are nearly defenceless in times of unprecedented disease outbreaks. A pandemic poses many risks to the millions who live in dense megacities, whether in wealthy countries or developing ones. The sheer density of the population of these cities provides an ideal environment for infections to erupt, and fast. (Desai, 2020, p. 1)

Refiriendo a la experiencia China, Desai (2020) señala que los responsables políticos deben tomar en cuenta lo que se conoce como el *Chéngshì Bìng* o “enfermedad de las grandes ciudades”, aunque no se puedan replicar las políticas chinas en democracias liberales: “Liberal democracies cannot emulate China’s methods in dealing with city densities. But policymakers should not ignore the lessons that can be learnt by studying the Chinese policies to boost the overall sustainability, safety and liveability of cities” (p. 22). Además, propone orientar los estudios futuros hacia lo que puede ser una densidad de población óptima (optimal population density), refiriendo las consecuencias negativas que acarrearán la urbanización de muy alta densidad: “When densities breach their critical mass, they have negative consequences on economic, environmental and social sustainability” (Desai, 2020, p. 22).

Wong y Li, en el artículo “Spreading of COVID-19: Density matters” (2020), examinaron los promedios semanales de casos en las ciudades norteamericanas de marzo a mayo de 2020, examinando la densidad de población como variable explicativa a través de modelos de regresión espacial y considerando tres subgrupos de población: afroamericanos, hispanos-latinos y adultos mayores. Concluyeron que, con la densidad de población y el tamaño de las poblaciones vulnerables se puede predecir eficazmente los contagios acumulados a nivel de condados:

This study shows that population density is an effective predictor of cumulative infection cases in the U.S. at the county level. [...] Population density alone accounts for 57% of the variation (R-square) in the aspatial model and up to 76% in the spatial models. (p. 1)

En lo relativo a la población, plantean que los modelos de transmisión deben incluir también el tamaño de los subgrupos de población vulnerables,

como variables con mucho peso predictivo de las estadísticas del virus a nivel de subcondado:

Adding the three population subgroup percentage variables raised the R-square of the aspatial models to 72% and the spatial model to 84%. [...] Thus, population density and sizes of vulnerable population subgroups should be explicitly included in transmission models that predict the impact of COVID-19, particularly at the sub-county level. (Wong & Li, 2020, p. 1)

Por lo anterior, recomiendan que los modelos de predicción que se desarrollen para mitigar los impactos de pandemias consideren la densidad de población y el tamaño de la población vulnerable como variables predictivas a nivel de condado. Esto, destacando que de los modelos utilizados para predecir la pandemia sólo dos consideraban la densidad, pero a nivel estatal, desconsiderando las variaciones dentro de los estados y entre ciudades:

The U.S. Center for Disease Control and Prevention (CDC) has been referring to a dozen or so models to inform the public about the trajectories of the pandemic and to support decision-making [...] Although at least two models (the ihme and mit models) consider population density, they use state-level density levels, ignoring the significant intra-state variation of density. (p. 2)

Por ello, argumentan que es muy importante desarrollar estudios que permitan determinar el peso de la densidad de población como variable predictiva del contagio de enfermedades: “There is a need to ascertain the importance of population density in modeling the spread of diseases” (p. 3). En el mismo sentido, Wheaton y Thompson, en “The Geography of Covid-19 growth in the US: Counties and Metropolitan Areas” (2020), quienes examinaron 631 condados de las 375 áreas estadísticas metropolitanas (MSA) de Estados Unidos, señalan que con la población del área se puede predecir con precisión los casos de contagios, pues aumentan casi en la misma proporción: “We find virus cases can be well predicted by area population, as well as days-since-onset. In the data, virus cases scale almost

proportionately with population, and excluding population significantly changes the impact of days-since-onset” (p. 1).

Los autores realizaron pruebas de regresión estadística considerando como variable dependiente el número total de casos de COVID-19 y observando un conjunto de variables independientes: población, densidad, fracción de la población mayor de 65 años, ingreso per cápita promedio y tamaño promedio de los hogares (pp. 5 y 6), concluyendo que las ciudades con mayor población presentarán mayores brotes iniciales y durante todo el periodo de propagación de la enfermedad: “Larger areas (greater populations) seem to have higher infections early on and this carries over throughout the spread of the disease” (Wheaton & Thompson, 2020, p. 9). Sugieren además, la importancia de analizar otras variables independientes relacionadas con los viajes y el comercio, que pueden estar asociadas al inicio de los brotes: “With more travel, more trade, it also is quite possible that larger populations have a greater number of external ‘seedings’ so perhaps we should think of a seeding rate, rather than a single seeding” (p. 9).

También en el año 2020 fue publicado otro importante estudio, “Impact of population density on Covid-19 infected and mortality rate in India” (Bhadra et al., 2020) que, a diferencia de los anteriores, estudió el caso de un país en desarrollo. Se presentan resultados del examen de la influencia de la densidad poblacional en la propagación y mortalidad del COVID-19 en 600 distritos administrativos de India. Realizaron estudios de correlación utilizando el coeficiente de Pearson, y de regresión estadística de los casos y de tasas de infección y mortalidad por millón de habitantes a nivel de distrito administrativo, y concluyeron que existe una correlación positiva moderada entre la densidad de población y las tasas de incidencia y mortalidad: “The correlation coefficients considering infection and mortality rates as the dependent variables and population density as the independent variable which are found as 0.49 (for infection) and 0.59 (mortality), respectively, indicating moderate positive correlation” (Bhadra et al., 2020, p. 625).

Por lo que sostienen que la densidad de población no explica totalmente las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19, es decir, que sólo una parte puede explicarse por la densidad poblacional: “The R^2 value of the relation between infection/mortality rate and population density is found moderate, not very high, which implies that only a part of the infection/

mortality rate due to Covid-19 can be explained in terms of population density” (p. 627). Además, observando separadamente los cuatro estados más grandes, encontraron que las tasas de incidencia y mortalidad son mayores en las localidades metropolitanas de gran densidad de población, lo que advierte la importancia de estudiar también distintos tipos de poblaciones: “The infection and death rate are higher in metropolitan cities having huge population density” (p. 625).

En contraposición con los estudios que argumentan que la densidad de población agrava la transmisión del COVID-19, es posible encontrar en la literatura investigaciones que sostienen como hipótesis que una mayor densidad por sí sola no implica mayor propagación, y que el desarrollo urbano basado en la ciudad compacta no debe abandonarse.

Aportando a esta hipótesis, el artículo publicado en el *Journal of the American Planning Association*, bajo el título “Does Density Aggravate the COVID-19 Pandemic? Early Findings and Lessons for Planners” (Hamidi et al., 2020), se enfocó en el estudio de caso de condados metropolitanos de Estados Unidos. Utilizando modelos de ecuaciones estructurales, encontraron que la población metropolitana sí es un predictor significativo, pues las áreas metropolitanas mayores presentaron tasas de incidencia y mortalidad más altas; pero la densidad del condado no muestra relación significativa con la tasa de infección y de mortalidad, siendo esta última mayor en los condados de menor densidad, lo que atribuyen al posible mayor acceso a sistemas de salud superiores en los condados más densos:

We find metropolitan population to be one of the most significant predictors of infection rates; larger metropolitan areas have higher infection and higher mortality rates. We also find that after controlling for metropolitan population, county density is not significantly related to the infection rate, possibly due to more adherence to social distancing guidelines. However, counties with higher densities have significantly lower virus-related mortality rates than do counties with lower densities, possibly due to superior health care systems. (Hamidi et al., 2020, p. 495)

Colocan sobre la mesa el efecto de variables como la población metropolitana, las capacidades de los sistemas hospitalarios, el respeto al distan-

ciamiento social. Subrayan la importancia de estudiar no sólo las zonas metropolitanas más densas, sino también los asentamientos menos densos, que pueden ser localidades con menor acceso a atención y servicios médicos.

En el artículo titulado “Are high-density districts more vulnerable to the COVID-19 pandemic?” (Khavarian-Garmsir et al., 2021) se presenta una investigación que utilizó modelos de ecuaciones estructurales con el propósito de analizar el vínculo entre densidad de población y transmisión del COVID-19, desde el estudio de la ciudad de Teherán, que fue epicentro pandémico en Irán. Examinaron datos de la localización geográfica de las personas contagiadas y fallecidas en los distritos municipales de la ciudad en dos fechas relativas al primer y segundo brote y concluyeron que la densidad por sí sola no explica el patrón de distribución geográfica de los casos confirmados de contagios y muertes por el coronavirus:

Based on data obtained from an online platform and analyzed using structural equation modeling, we found that density alone cannot be considered a risk factor for the spread of COVID-19. In fact, density alone did not explain the geographic distribution pattern of confirmed COVID-19 cases and deaths across the 22 municipal districts of Tehran. (p. 1)

Además, encontraron que la densidad de personas de la tercera edad es la variable con mayor valor predictivo de mayores tasas de morbilidad y mortalidad por COVID-19: “The aged-people density was the most influential variable of the study. [...] we found that the older people density is strongly related to the COVID-19 morbidity and mortality rates” (p. 8); destacando que los patrones de distribución geográfica del COVID-19 están correlacionados con la densidad de personas mayores, por lo que sostienen que la estructura demográfica influye mucho más que la densidad: “The demographic structure of the populations is much more influential than density. Age is a very important risk factor for the COVID-19 infection and death rates, playing a major role in the geographical distribution patterns of COVID-19” (p. 9).

Con base en dichos resultados, sostienen que es posible vivir de modo seguro en las ciudades más densas siempre que se sigan las instrucciones de

las autoridades de salud pública y alientan a los planificadores urbanos y políticos a continuar favoreciendo las formas urbanas compactas:

We, therefore, argue that efforts should be made to minimize concerns about living in dense urban environments. Indeed, residents of high-density districts can live safely when an outbreak occurs, provided they make some changes in lifestyle and follow public health instructions. Based on the findings, and considering other benefits of compact cities (e.g., climate change mitigation) planners and policy makers are encouraged to continue promoting compact urban forms”. (Khavarian-Garmsir et al., 2021, p. 1)

Resaltan que, dado que la mayoría de los estudios realizados hasta ese momento se enfocan en ciudades de países desarrollados y que se han reportado en la literatura evidencias mezcladas en torno al rol de la densidad en la transmisión del COVID-19, es pertinente realizar más investigaciones sobre el tema en ciudades de países en desarrollo, que aún han sido poco estudiadas: “Selecting a developing country city as a case study can extend current knowledge about COVID-19 because developing country cities are currently understudied in the literature” (p. 2). Asimismo, consideran que es importante analizar la relación con otras variables socioeconómicas que pudieran afectar la transmisión, como la proporción de personas de la tercera edad, los sistemas e infraestructuras de transporte que propician mayor conectividad al interior de las ciudades, incluso el género, nivel educativo y de ingreso de las personas (pp. 2-4).

En un trabajo más reciente, “Revealing geographic transmission pattern of COVID-19 using neighborhood-level simulation with human mobility data and SEIR model: A case study of South Carolina” (Ning et al., 2023), aunque no se analiza la variable densidad, se examinan datos de movilidad de teléfonos inteligentes y el número histórico de casos de COVID-19 a nivel de condado para predecir lugares de más riesgo de infección. Se estudiaron tres áreas estadísticas metropolitanas de la ciudad norteamericana de Carolina del Sur entre diciembre 2020 y febrero 2021. Utilizaron el modelo epidemiológico SEIR (susceptible, expuesto, infección, eliminado) para simular una segunda ola de COVID-19 y estimar la tasa de transmisión en los puntos de interés (POI), obteniendo como resultado que las infecciones

ocurrirían principalmente en los barrios con una relación proporcional a su población, y que los restaurantes y las escuelas primarias y secundarias serían los lugares más propensos a la ocurrencia de contagios:

The result reveals that the COVID-19 infections during the study period mainly occurred in neighborhoods (86 %), and the number is approximately proportional to the neighborhood's population. Restaurants and elementary and secondary schools contributed more COVID-19 infections than other POI categories. (Ning et al., 2023, p. 1)

El estudio revela que los patrones espaciales de las tasas de incidencia pueden variar entre los barrios de una localidad, siendo más contagiosos los barrios más poblados, dado que se identificó una correlación positiva fuerte entre el conteo de infecciones y la población del barrio: “Strong positive correlation between infection count and neighborhood populations” (p. 14). En lo relativo a los lugares donde se producen más infecciones, se encontró que coinciden con los más frecuentados, siendo los dos más riesgosos los restaurantes y las escuelas primarias y secundarias: “It is noteworthy that the Elementary and Secondary Schools category ranked second position, following the Restaurants and Other Eating Places” (p. 9).

Este resultado coincide con los reportados en el estudio “JUE Insight: The determinants of the differential exposure to COVID-19 in New York city and their evolution over time” (Almagro & Orane-Hutchinson, 2022), donde se señala que los lugares concurridos con mayor probabilidad de interacción humana tienen mayor peso que la densidad en la propagación del COVID-19: “Our results also suggest that crowded spaces play a more important role than population density in the spread of COVID-19” (p. 1).

En resumen, aunque la relación entre la densidad de población y el COVID-19 ha sido ampliamente estudiada a nivel global tras el impacto de la pandemia, en la literatura se registran varias hipótesis que generan cierta incertidumbre o dan lugar a interpretaciones ambiguas. De un lado, se señala que las ciudades más densas tienen mayor propensión al contagio debido al mayor contacto social (Lai et al., 2020), son muy vulnerables a brotes rápidos (Desai, 2020), así como a experimentar brotes tempranos y muertes antes que los asentamientos menos densos (Carozzi et al., 2020); por ello, la

variable de densidad de población se considera con valor predictivo de la propagación de la enfermedad en las ciudades (Wong & Li, 2020).

Por otro lado, también se presentan investigaciones que no encontraron evidencia de que la densidad de población esté relacionada con la incidencia de COVID-19 posterior al brote (Carozzi et al., 2020), y otras que identificaron sólo una correlación positiva moderada entre dichas variables, por lo que señalan que sólo una parte las tasas de incidencia y mortalidad puede explicarse por la densidad poblacional (Bhadra et al., 2020); también, resultados que advierten que la densidad por sí sola no explica el patrón de distribución geográfica de los casos confirmados de COVID-19 y las muertes, por lo que por sí sola no puede considerarse un factor de riesgo (Khavarian-Garmsir et al., 2021); otros que sostienen que los lugares concurridos con mayor probabilidad de interacción humana tienen mayor peso en el contagio que la densidad de población (Almagro & Orane-Hutchinson, 2022), siendo más propensos a la ocurrencia de contagios los barrios muy poblados, los restaurantes y las escuelas primarias y secundarias (Ning et al., 2023).

De lo anterior se concluye que, dada la existencia de pocos estudios en la literatura sobre las ciudades de países en desarrollo (Khavarian-Garmsir et al., 2021), y dada la variación observada entre países (Carozzi et al., 2020), se considera pertinente y fundamental estudiar el caso de las ciudades mexicanas para el planteamiento de políticas sanitarias adecuadas a las diferencias urbano-territoriales que pudieron haber influido en la incidencia y mortalidad por COVID-19 en los distintos tipos de localidades del país.

Diseño de la investigación

La investigación desarrollada es de tipo cuantitativo-correlacional y diseñada desde un abordaje integrador de los estudios urbanos y de salud pública, puesto que examina como variables dependientes indicadores de salud pública (tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19) y como variables independientes diversos atributos urbanos como la densidad de población, y otros que se justifican a seguir, con el propósito de estudiar características

y diferencias urbano-territoriales que pudieron haber influido en la incidencia y mortalidad por COVID-19.

La revisión desarrollada en el apartado anterior en torno a los estudios previos sobre la relación entre densidad de población y COVID-19 permitió advertir hipótesis variadas, por lo que la valoración de la relación entre las variables requiere que el diseño de la investigación considere varios factores. Primeramente, dada la posibilidad de riesgos diferenciados entre las zonas metropolitanas densas y las localidades menos densas (Hamidi et al., 2020; Desai, 2020), es fundamental estudiar grupos de municipios representativos de los contextos urbano y rural. En segundo lugar, se señala la pertinencia de considerar la complejidad de los asentamientos metropolitanos y de alta densidad, donde no sólo puede haber mayor densidad, sino además mayor aglomeración, interacción social, acceso a actividades colectivas e infraestructura pública; por lo que se recomienda la integración de otras variables urbano-territoriales que pudieran estar influyendo en el comportamiento del COVID-19, mismas que se justifican a seguir.

Variables independientes urbano-territoriales

Aun cuando la motivación inicial de la investigación fue estudiar la relación entre la densidad poblacional y el COVID-19, al considerar los hallazgos y recomendaciones de las investigaciones previas, y en virtud de la complejidad inherente a las grandes ciudades, se amplió el objetivo para incluir otras variables independientes que representan diversos atributos urbanos. En la selección de éstas incidieron dos criterios. Primeramente, el respaldo teórico de la pertinencia de su estudio, y en segundo lugar, aspectos metodológicos relativos a la disponibilidad de datos en un formato estándar oficial para todos los municipios estudiados. De ese procedimiento, derivó la selección de 33 variables independiente representativas de atributos urbanos, además de la densidad de población.

En lo relativo al primer punto, se detectó en los estudios previos que varios autores señalan la necesidad de explorar otras variables explicativas representativas de atributos urbanos. Desde la dimensión demográfica, además de la densidad de población, se advierte el examen de variables como

la población municipal (Wong & Li, 2020), la población del barrio (Ning et al., 2023), la población mayor de 65 años (Wheaton & Anne, 2020), o relativizada como densidad de población envejecida (número de personas mayores que viven por km² de un municipio) (Khavarian-Garmsir et al., 2021), las poblaciones vulnerables: afroamericanos, hispanos-latinos y adultos mayores (Wong & Li, 2020), así como la importancia de analizar la población distinguiendo por tipo de asentamientos, densos y no densos (Bhadra et al., 2020), y de zonas metropolitanas (Hamidi et al., 2020).

También, desde la dimensión de la vivienda, se ha estudiado el tamaño promedio de los hogares en función de cantidad de habitantes (Wheaton & Anne, 2020). Asimismo, abordar variables vinculadas a los lugares concurridos, como son los espacios de mayor contacto social interiores y exteriores (Lai et al., 2020), los llamados puntos de interés (POI) (Ning et al., 2023), es decir, los lugares concurridos con mayor probabilidad de interacción humana (Almagro & Orane-Hutchinson, 2022). También, se han estudiado variables de movilidad y conectividad como el transporte colectivo (Lai et al., 2020), la conectividad social (Carozzi et al., 2020) y de servicios de salud, como el acceso y las capacidades de los sistemas hospitalarios (Hamidi et al., 2020).

Además de los referentes que abordaron el examen de la correlación entre la densidad de población y el COVID-19, también se consideraron estudios disponibles en la literatura que exploran la distribución territorial del COVID-19 desde otros objetivos y abordajes metodológicos. Tal fue el caso del artículo “A vulnerability index for the management of and response to the COVID-19 epidemic in India: an ecological study” (Acharya y Porwal, 2020), publicado en la prestigiosa revista *The Lancet Global Health*, que presenta el cálculo de un índice de vulnerabilidad a nivel estatal y distrital, usando clasificación por percentiles de quince indicadores en cinco dominios: socioeconómico, demográfico, de vivienda e higiene, epidemiológico y del sistema de salud. Aunque no se propone como objetivo analizar la significancia de las variables como predictoras del riesgo, presenta como contribución el examen de similitudes entre la vulnerabilidad calculada y la concentración de casos en los estados: “Although our intention was not to predict the risk of infection for a district or a state, we observed similar-

ities between vulnerability and the current concentration of COVID-19 cases at the state level” (Acharya & Porwal, 2020, p. e1142).

De este estudio, destacamos variables de los dominios de la demografía, de vivienda e higiene y del sistema de salud, por representar atributos urbanos que pudieran explorarse como predictores de la incidencia y mortalidad por COVID-19. De la demografía, además de la densidad de población, consideraron la proporción de individuos de la población de 60 años o más, la urbanización a través de la proporción de hogares urbanos (p. e1144). De las condiciones de vivienda e higiene, consideraron el número de personas por habitación, los hogares sin baño, los hogares sin disponibilidad de agua y productos de higiene (p. e1144). Del sistema de salud, consideraron los hogares con seguro médico, los hogares sin fácil acceso a servicios de salud públicos, la disponibilidad de hospitales públicos y la disponibilidad de camas hospitalarias (p. e1144).

De todo lo anterior, tomando como criterio principal el sustento teórico, se justifica la pertinencia de la selección de variables independientes urbano-territoriales de las dimensiones de la demografía, la vivienda y condiciones de higiene, los lugares concurridos de mayor contacto social, del sistema de salud, de movilidad y conectividad. En un segundo momento, se evaluó la disponibilidad de información en fuentes oficiales, recurriendo a los datos existentes en las siguientes fuentes: Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020), Marco Geoestadístico (INEGI, 2021a), Directorio Nacional de Unidades Económicas (DENUE) (INEGI, 2021b) y Red Nacional de Caminos (INEGI, 2021c). Los datos obtenidos son los mismos para los 202 municipios estudiados (93 metropolitanos y 109 “de la esperanza”), lo que permite un análisis estandarizado para todas las municipalidades.

Para relativizar los datos, se sigue el criterio utilizado por (Khavarian-Garmsir et al., 2021, pp. 4 y 5), que propone cuatro tipos de densidad; por lo que los datos se transforman en densidad como variable relativa que permite la comparación, dado que expresa la relación entre un indicador estadístico como puede ser población, vivienda, empleo, etc., y una superficie (Merlin & Choay, 2010, p. 242), calculando 33 tipos de densidad además de la de población, para examinar cómo la densidad urbana afecta la propagación del COVID-19.

De la dimensión demográfica, se consideran cuatro variables, la densi-

dad de población, así como la población municipal relativa y la superficie habitada municipal relativa, requeridas para su cálculo (tabla 1). Se utilizó el dato de población municipal proveniente del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020) y se calculó el área de la superficie habitada municipal utilizando datos del límite de localidad registrados en los archivos vectoriales del Marco Geoestadístico (INEGI, 2021a) —se presentan más detalles de este procedimiento en el capítulo 2—. Como cuarta variable se consideró la densidad de población de 60 años y más, es decir, el número de personas mayores por hectárea de superficie habitada municipal, utilizando el dato de la población de 60 años y más, proveniente del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020).

En lo relativo a la dimensión de condiciones de vivienda e higiene, se utilizaron datos oficiales del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020) y del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) (INEGI, 2021b), para calcular trece tipos de densidad que constituyen indicadores relativos por hectárea de superficie municipal habitada de las características de la vivienda y su infraestructura básica de sanidad: (a) densidad de viviendas habitadas; (b) densidad de viviendas que tienen un cuarto; (c) densidad de viviendas que tiene dos cuartos; (d) densidad de viviendas que tienen tres y más cuartos; (e) densidad de viviendas que disponen de energía eléctrica; (f) densidad de viviendas que no disponen de energía eléctrica; (g) densidad de viviendas que disponen de agua entubada; (h) densidad de viviendas que no disponen de agua entubada; (i) densidad de viviendas que disponen de drenaje; (j) densidad de viviendas que no disponen de drenaje; (k) densidad de viviendas que disponen de energía eléctrica, agua entubada y drenaje; (l) densidad de viviendas que no disponen de energía eléctrica, agua entubada, drenaje; (m) densidad de asilos (tabla 1).

Para el estudio de los lugares concurridos de mayor contacto social, se consideraron datos del conteo de establecimientos comerciales, servicios e industrias del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) (INEGI, 2021b), por ser actividades donde las personas podían exponerse a mayor interacción humana que se reactivaron después de concluido el periodo de confinamiento inicial con medidas de sana distancia. Con ellos, se estimaron indicadores de siete tipos de densidad, desde el conteo de unidades por hectárea de superficie municipal habitada: (a) den-

sidad de comedores comunitarios, (b) densidad de alojamiento, (c) densidad de bares, (d) densidad de restaurantes, (e) densidad de comercio al mayoreo, (f) densidad de gimnasios, (g) densidad de industria manufacturera (tabla 1).

Siguiendo el mismo criterio, se consideraron los datos disponibles del conteo de unidades de servicios de salud de tres variables en el DENUE (INEGI, 2021b), que fueron transformados en indicadores relativos en función de su densidad por hectárea de superficie municipal habitada: (a) densidad de hospitales, (b) densidad de clínicas, (c) densidad de laboratorios (tabla 1). Por último, de la dimensión de movilidad y conectividad, se obtuvieron datos de kilómetros de carretera de la Red Nacional de Caminos (INEGI, 2021c) y del conteo de infraestructura de movilidad del DENUE (INEGI, 2021b); tratados como indicadores relativos de siete tipos de densidad por hectárea de superficie municipal habitada: (a) densidad de carreteras, (b) densidad de aeropuertos, (c) densidad de estaciones de ferrocarril, (d) densidad de puertos fronterizos, (e) densidad de puertos marítimos, (g) densidad de transporte foráneo y (g) densidad de transporte público urbano (tabla 1).

No se consideraron como variables independientes los establecimientos del sistema educativo (guarderías, primarias, secundarias, preparatorias, universidades), dado que se encontraban cerrados durante el primer año de pandemia. El regreso a clases presenciales se anunció el 8 de abril de 2021, bajo las siguientes condiciones: “en las entidades con semáforo epidemiológico en verde, será gradual y voluntario” (Secretaría de Educación Pública, 2021, párr. 4). Del mismo modo, no se consideró el conteo de establecimientos de esparcimiento (museos, cines, teatros, entre otros), dado que se autorizó su reapertura hasta el mes de marzo de 2021.

Tabla 1. Variables independientes urbano-territoriales. Descripción y fuente de fuentes y 34 tipos de densidad de atributos urbanos en 5 dimensiones a nivel municipal

Dimensión	Variables independientes	Descripción de la variable	Fuentes
Dimensión demográfica	Superficie municipal habitada relativa	Calculada como la superficie municipal habitada / La superficie nacional, multiplicado por 100 (la primera es la suma de las superficies de las localidades del municipio en hectáreas)	Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021) / Panorama Sociodemográfico de México (INEGI, 2020)
	Población municipal relativa	Calculada como la población municipal / La población nacional, multiplicado por 100	Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020) / Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2020)
	Densidad de la superficie municipal habitada	Calculada como la población municipal / Hectáreas de superficie municipal habitada	Censo de Población y Vivienda 2020 (inegi, 2020) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de población de 60 años y más	Calculada como la población municipal de 60 años y más / Hectáreas de superficie municipal habitada	Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de viviendas habitadas	Calculada como el número total de viviendas habitadas / Hectáreas de superficie municipal habitada	Censo de Población y Vivienda 2020 (inegi, 2020) / Marco Geoestadístico Nacional (inegi, 2021)
Dimensión de condiciones de vivienda e higiene	Densidad de viviendas que tienen un cuarto	Calculada como el número de viviendas que tienen un cuarto / Hectáreas de superficie municipal habitada	Censo de Población y Vivienda 2020 (inegi, 2020) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de viviendas que tiene dos cuartos	Calculada como el número de viviendas que tiene dos cuartos / Hectáreas de superficie municipal habitada	Censo de Población y Vivienda 2020 (inegi, 2020) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de viviendas que tienen tres y más cuartos	Calculada como el número de viviendas que tienen tres y más cuartos / Hectáreas de superficie municipal habitada	Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de viviendas que disponen de energía eléctrica	Calculada como el número de viviendas que disponen de energía eléctrica / Hectáreas de superficie municipal habitada	Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)

Densidad de viviendas que no disponen de energía eléctrica	Calculada como el número de viviendas que no disponen de energía eléctrica / Hectáreas de superficie municipal habitada	Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
Densidad de viviendas que disponen de agua entubada	Calculada como el número de viviendas que disponen de agua entubada / Hectáreas de superficie municipal habitada	Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
Densidad de viviendas que no disponen de agua entubada	Calculada como el número de viviendas que no disponen de agua entubada / Hectáreas de superficie municipal habitada	Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
Densidad de viviendas que disponen de drenaje	Calculada como el número de viviendas que disponen de drenaje / Ha de superficie municipal habitada	Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
Densidad de viviendas que no disponen de drenaje	Calculada como el número de viviendas que no disponen de drenaje / Hectáreas de superficie municipal habitada	Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
Densidad de viviendas que disponen de energía eléctrica, agua entubada y drenaje	Calculada como el número de viviendas que disponen de energía eléctrica, agua entubada y drenaje / Hectáreas de superficie municipal habitada	Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
Densidad de viviendas que no disponen de energía eléctrica, agua entubada, drenaje	Calculada como el número de viviendas que no disponen de energía eléctrica, agua entubada, drenaje / Hectáreas de superficie municipal habitada	Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
Densidad de asilos	Calculada como el número de asilo / Hectáreas de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)

Dimensión de establecimientos de comercio y empleo	Densidad de comedores comunitarios	Calculada como el número de comedores comunitarios / Hectáreas de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de alojamiento	Calculada como el número de alojamiento / Hectáreas de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de bares	Calculada como el número de bares / Hectáreas de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de restaurantes	Calculada como el número de restaurantes / Hectáreas de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de comercio al mayoreo	Calculada como el número de comercio al mayoreo / Ha de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de gimnasios	Calculada como el número de gimnasios / Hectáreas de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
Dimensión de establecimientos de atención sanitaria	Densidad de industria manufacturera	Calculada como el número de industria manufacturera / Hectáreas de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de hospitales	Calculada como el número de hospitales / Ha de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de clínicas	Calculada como el número de clínicas / Hectáreas de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de laboratorios	Calculada como el número de laboratorios / Hectáreas de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)

Dimensión de carreteras y tipos de movilidad	Densidad de carreteras	Calculada como el número de km de carretera en la superficie habitada / Hectáreas de superficie municipal habitada	Red Nacional de Caminos (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de aeropuertos	Calculada como el número de aeropuertos / Hectáreas de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de estaciones de ferrocarril	Calculada como el número de estaciones de ferrocarril / Hectáreas de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de puertos fronterizos	Calculada como el número de puertos fronterizos / Hectárea de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de puertos marítimos	Calculada como el número de puertos marítimos / Hectáreas de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de transporte foráneo	Calculada como el número de transporte foráneo / Hectáreas de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)
	Densidad de transporte público urbano	Calculada como el número de transporte público urbano / Hectáreas de superficie municipal habitada	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2021) / Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021)

Fuente: Elaboración propia.

Variables dependientes de COVID-19

La investigación parte de los datos oficiales primarios del número de casos confirmados acumulados y el número de defunciones acumuladas en el periodo comprendido entre el 14 de marzo de 2020 y el 14 de marzo de 2021 (que se explica seguidamente en el apartado “Recorte temporal”). Estos datos oficiales fueron recolectados en todo el país por la Dirección General de Epidemiología (DGE), a través de la Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud, perteneciente a la Secretaría de Salud Nacional, disponibles en sitio oficial “Covid-19 México” (Gobierno de México-CONACyT-CentroGeo-GeoInt, 2020). Dichos datos se integraron a partir de registros nacionales, por estado y municipio; para los propósitos de esta investigación, se descargaron los datos disponibles a nivel municipal.⁶

En el caso de investigaciones sobre salud, es necesario estandarizar los datos mediante indicadores, ya que no es correcto metodológicamente comparar números absolutos de casos y defunciones entre poblaciones de diferentes tamaños porque introducen sesgos derivados de dicha variabilidad. Según la OPS, para medir variables de salud de un grupo poblacional y su comparación con otras poblaciones, se deben generar indicadores en una escala estándar: “La medición es el procedimiento de aplicar una escala estándar a una variable o un conjunto de valores, lo cual resulta necesario para facilitar comparaciones en diferentes puntos en el tiempo y entre diferentes poblaciones” (OPS, 2018, p. 17).

Mientras el conteo informa el número absoluto de eventos en un territorio determinado, los indicadores tienen como atributo “la factibilidad de medirlos en diferentes niveles geográficos (regional, nacional, local) y subgrupos poblacionales (edad, sexo, grupo socioeconómico, origen étnico, etc.)” (OPS, 2018, p. 11). Por lo que ofrecen una medida factible para examinar la distribución espacial y/o temporal de la enfermedad en distintos niveles geográficos y grupos de población de interés que permite realizar comparaciones en un periodo de tiempo entre diferentes poblaciones con distintas características en términos población, área, densidad y en segmentos diferentes de la escala urbana-rural.

⁶ Datos a nivel municipio disponibles en <https://datos.covid-19.conacyt.mx/#DownZCSV>

De acuerdo con el documento de la OPS, titulado *Módulos de principios de epidemiología para el control de enfermedades (MOPECE)*, existen varios tipos de “medidas de frecuencia” que se utilizan para medir la frecuencia con que ocurre una enfermedad o evento en una población en un periodo: “Para medir la frecuencia de enfermedad en la población, en epidemiología se recurre a conceptos importantes como: razón, proporción, porcentaje, probabilidad, riesgo y tasa” (OPS, 2017, p. 34). Destacando que la tasa es “la medida clásica de la epidemiología” (p. 35), que mide “la frecuencia en que ocurre un fenómeno en una población definida y tiempo específico (tiempo-persona de exposición)” (p. 35).

Entre las medidas de frecuencia, se distinguen las que miden la morbilidad y la mortalidad. Siendo la morbilidad referente a la ocurrencia de enfermedad: “Los indicadores de morbilidad miden la frecuencia de problemas de salud específicos tales como enfermedades” (p. 3). Mientras que la mortalidad remite a la frecuencia de muerte: “Los indicadores de mortalidad general o por causas específicas permiten comparar el nivel general de salud e identificar las principales causas de muerte” (p. 3). Por lo que, dado que esta investigación busca explicar la influencia de las variables urbano-territoriales en la propagación y muerte por COVID-19, fue necesario entonces considerar indicadores de morbilidad y mortalidad.

Entre los indicadores de morbilidad, las “medidas de frecuencia de enfermedad fundamentales son dos: prevalencia e incidencia” (OPS, 2017, p. 37). La principal diferencia entre estos dos estriba en que la prevalencia se enfoca en los casos existentes o activos en un momento dado y se expresa como una proporción: “Es la medida del número total de casos existentes, llamados casos prevalentes, de una enfermedad en un punto (prevalencia de punto) o periodo de tiempo (prevalencia de periodo) en una población determinada, sin distinguir si son o no casos nuevos” (OPS, 2017, p. 37). Mientras que la incidencia mide todos los casos nuevos de una enfermedad en la población en un periodo y puede expresarse como proporción o tasa: “Es la medida del número de casos nuevos, llamados casos incidentes, de una enfermedad originados de una población en riesgo de padecerla, durante un periodo de tiempo determinado. Puede ser medida como frecuencia, tasa o proporción” (OPS, 2017, p. 40).

En cuanto a su interpretación matemática, se señala que la tasa de inci-

dencia mide el riesgo de que una persona enferme en una población en un periodo: “La tasa de incidencia es la probabilidad de que un individuo perteneciente a la población en riesgo se vea afectado por la enfermedad de interés en un periodo específico” (OPS, 2018, p. 23). Destacamos que entre la incidencia y la prevalencia, se considera que la incidencia es más adecuada para estudiar los factores asociados: “La incidencia es esencial para analizar la ocurrencia de eventos nuevos en las poblaciones y sus factores asociados. La prevalencia es esencial para planificar y organizar los servicios y recursos existentes y obtener apoyo adicional, cuando sea necesario” (OPS, 2018, p. 25).

De lo cual, se seleccionó la tasa de incidencia como indicador de morbilidad, dado que la presente investigación tiene como propósito estudiar la correlación entre el COVID-19 y distintos atributos urbano-territoriales y esta mide el riesgo en una población en un periodo.

La incidencia puede referirse como tasa de incidencia: “Comúnmente denominamos sólo como incidencia a la tasa de incidencia, dado que el concepto tasa va implícito. La principal propiedad de esta medida es determinar los casos nuevos que se presentan en una población en un tiempo determinado” (Fajardo-Gutiérrez, 2017, p. 111). Así, el cálculo del indicador de incidencia o tasa de incidencia se obtiene de dividir el número de casos en una población estudiada en un periodo, entre la población base en el periodo, multiplicado por el factor de escala para estandarizar 10^n , como se expresa en la fórmula siguiente (OPS, 2018, p. 24):

$$\text{Incidencia} = \frac{\text{Número de casos nuevos ocurridos en un lugar X en un periodo dado}}{\text{Total de personas de la población base (en riesgo) en el lugar X y en el periodo dado}} \times 10^n$$

La definición del factor de escala 10^n depende del tamaño del grupo de población estudiada. Dado que se estudian municipios de zonas metropolitanas de poblaciones superiores al millón de habitantes, se utiliza el factor 100 000 habitantes, que en adelante se refiere como 100k. En cuanto a la mortalidad, como medidas de frecuencia se distinguen la mortalidad y la letalidad, en donde la mortalidad mide la frecuencia de muertes entre toda la población base estudiada, mientras la letalidad se mide frente a la población enferma: “Mientras la mortalidad hace referencia a las defuncio-

nes entre la población total (sana o enferma), la letalidad sólo hace referencia a las defunciones entre la población enferma por esa determinada causa” (ops, 2017, p. 45). La mortalidad puede medirse de forma general, como por grupos específicos de población por edad, género, étnico, entre otros; siendo calculada la tasa de mortalidad general como se expresa en la siguiente fórmula (ops, 2017, p. 44):

$$\text{tasa de mortalidad general} = \frac{\text{Número de defunciones}}{\text{población total}} \times 100\,000$$

La tasa de mortalidad general se considera “un estimador del riesgo absoluto de morir” (p. 44), por lo que se seleccionó como indicador del riesgo de muerte por COVID-19 en una población en un periodo, a partir del cual se pueden estudiar factores que puedan estar asociados en lo relativo a los distintos atributos urbano-territoriales.

Por todo lo anterior, se seleccionaron como indicadores relativos de morbilidad y mortalidad la tasa de incidencia y la tasa de mortalidad general (que en adelante llamaremos *tasa de incidencia* y *tasa de mortalidad*), como medidas del riesgo absoluto de enfermar y de morir de una población durante un tiempo dado, adecuados para examinar la distribución espacial del COVID-19 en las poblaciones de interés, que permiten realizar comparaciones entre poblaciones en un periodo de tiempo dado, considerando que se estudiaron municipios con distintas características en términos población y extensión territorial, en segmentos diferentes de la escala urbana-rural y con distintos rangos densidad.

Para transformar los datos primarios —el número de casos confirmados acumulados y el número de defunciones acumuladas en el periodo comprendido entre el 14 de marzo de 2020 y el 14 de marzo de 2021— en los indicadores relativos de tasa de incidencia y mortalidad seleccionados, se consideraron datos de población municipal provenientes del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020) que se presentan en el mismo formato para la muestra de los 202 municipios estudiados, y que se utilizaron también para el cálculo de los distintos tipos de densidad consideradas en las variables independiente urbano-territoriales. Se calculan como el número de casos confirmados acumulados y el número de defunciones acumuladas, respectivamente, entre la población municipal, multiplicado por el factor 100 000 habitantes (véase tabla 2).

Tabla 2. *Variables dependientes de COVID-19*

<i>Variables dependientes</i>	<i>Descripción de la variable</i>	<i>Fuentes</i>
Tasa de incidencia por 100k habitantes	Calculada como el número de casos confirmados acumulados / Población municipal, multiplicado por el factor 100 000 habitantes	Covid-19 México (Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-Geolnt, 2020) / Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020).
Tasa de mortalidad general por 100k habitantes	Calculada como el número de defunciones acumuladas / Población municipal, multiplicado por el factor 100 000 habitantes	Covid-19 México21o (Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-Geolnt, 2020) / Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020).

Fuente: Elaboración propia.

Recorte temporal

En términos temporales se examinó el primer año epidémico en México sin agentes inmunizadores, iniciado el 27 febrero 2020 cuando se registró el primer caso, hasta el 14 de marzo de 2021 cuando inició la campaña de vacunación a la población de 60 años o más (entre diciembre de 2020 y febrero de 2021 sólo se vacunó al personal de salud que atendía casos de COVID-19), lo que implicó un cambio en la transmisión epidémica. Se asentó un registro mensual de los casos confirmados acumulados y defunciones acumuladas los días 15 de cada mes (que refiere al día anterior, 14 de cada mes), en el periodo entre el 14 de marzo de 2020 y el 14 de marzo de 2021. Este periodo incluye las fases epidémicas 1, 2 y una parte de la 3. La “fase epidémica 1” inició el 27 de febrero de 2020 cuando se detectó en la Ciudad de México el primer caso importado de COVID-19. Pocos días después, el 11 de marzo la OMS declaró el COVID-19 como pandemia.

La “fase 2 por coronavirus COVID-19” de dispersión comunitaria, inició el 24 de marzo de 2020 junto con la “Jornada Nacional de Sana Distancia” (Secretaría de Salud, 2020), cuando las autoridades decretaron la suspensión temporal de actividades no esenciales en todos los sectores de la economía nacional, como estrategia para contener la propagación comunitaria.

La “fase epidémica 3” caracterizada por brotes activos en el territorio, inició el 21 de abril de 2020 (Secretaría de Salud, 2020b), cuando el Consejo de Salubridad General anunció la extensión de la “Jornada Nacional de Sana Distancia” hasta el 30 de mayo de 2020, manteniendo la suspensión tempo-

ral de actividades presenciales no esenciales en todos los sectores, con el apoyo prolongado del teletrabajo y la educación en línea. El 1° de junio de 2020 inició la etapa de “Nueva Normalidad”, cuando se inició la reactivación de las actividades económicas, de acuerdo con el riesgo definido a través del semáforo epidemiológico (Instituto Mexicano del Seguro Social, 2020).

El calendario de vacunación (SALUD Secretaría de Salud, 2020) tuvo un total de 5 etapas, la primera de diciembre de 2020 a febrero de 2021, inició con el registro y posterior vacunación del personal de salud de primera línea. La etapa 2, de febrero a mayo de 2021, con el registro y vacunación a partir de marzo de 2021 de las personas de 60 o más años y personal de salud restante, coincidiendo dicha fecha con el fin del periodo de estudio. Le siguieron en la etapa 3 de mayo a junio de 2021, las personas de 50 a 59 años y embarazadas de 18 años y más. Posteriormente, de junio a julio, las personas de 40 a 49 años, y la última y quinta, corresponden al resto de la población de julio de 2021 a marzo de 2022.

Recorte espacial

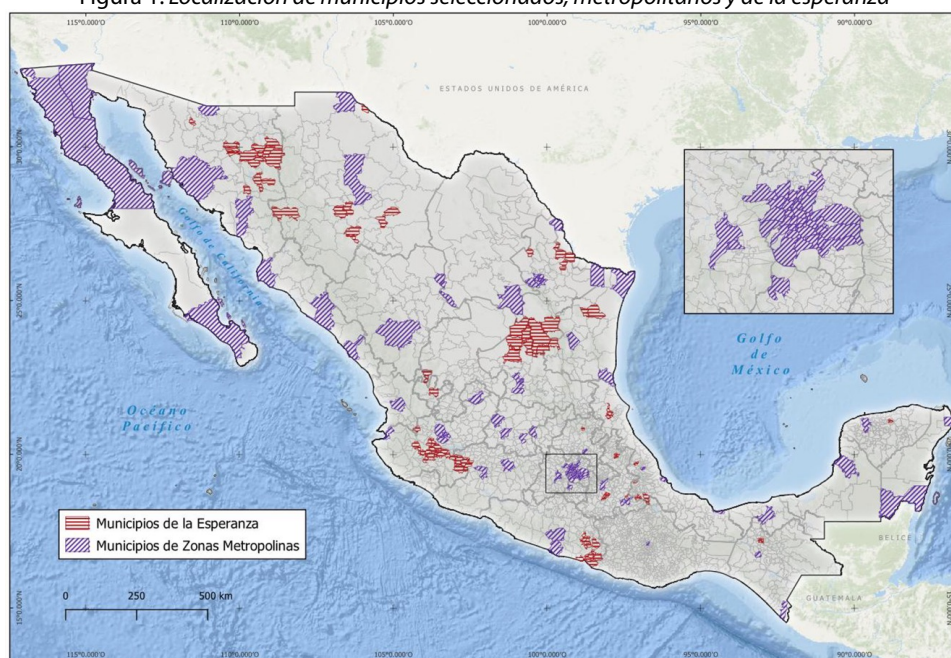
Se definieron como casos de estudio dos tipos de municipios mexicanos: municipios de zonas metropolitanas (Conapo, 2018) y los llamados “municipios de la esperanza” (Secretaría de Salud, 2020) (figura 1), representativos de los ámbitos urbano y rural, respectivamente, por lo que se trata de un recorte espacial de contraste de estos dos grupos, para analizar cómo las diferencias urbano-territoriales afectaron en la incidencia y mortalidad por COVID-19.

Con relación a los municipios de zonas metropolitanas, se partió del listado de las 74 ciudades clasificadas como zonas metropolitanas (tipo 1) entre las 401 del entonces Sistema Urbano Nacional de México (Conapo, 2018, pp. 49-52), mismas que “se caracterizan por su tamaño e intensa integración funcional” (p. 7) y “concentran a la mayoría de la población, con 78.3 millones de habitantes (84.5% del SUN)” (p. 27). Estas 74 ciudades de zonas metropolitanas se integran por más de una centena de municipios, pero dado que en la literatura se señala que las localidades más densas tienen más probabilidades de presentar un brote temprano porque además presen-

tan mayor conectividad (Carozzi et al., 2020, p. 3), se seleccionaron para el estudio 93 municipios metropolitanos que presentan mayor conectividad a través de aeropuertos, puertos marítimos y fronterizos, carreteras regionales, transporte foráneo.

La definición del segundo grupo proviene del documento técnico titulado “Municipios de la Esperanza”, que lista un grupo de municipios que “en los últimos 28 días no han tenido casos y cuyos municipios vecinos tampoco han tenido casos en los últimos 28 días” (Secretaría de Salud, 2020, p. 2). Dicha situación fue vista por las autoridades sanitarias como ideal, pues traían esperanza de contención de la transmisión del brote y se presentaron como ejemplo de localidades saludables. Dado que son mayormente rurales y de muy baja densidad, se consideró importante incluirlos en el estudio para corroborar o no el argumento en defensa de la baja densidad.

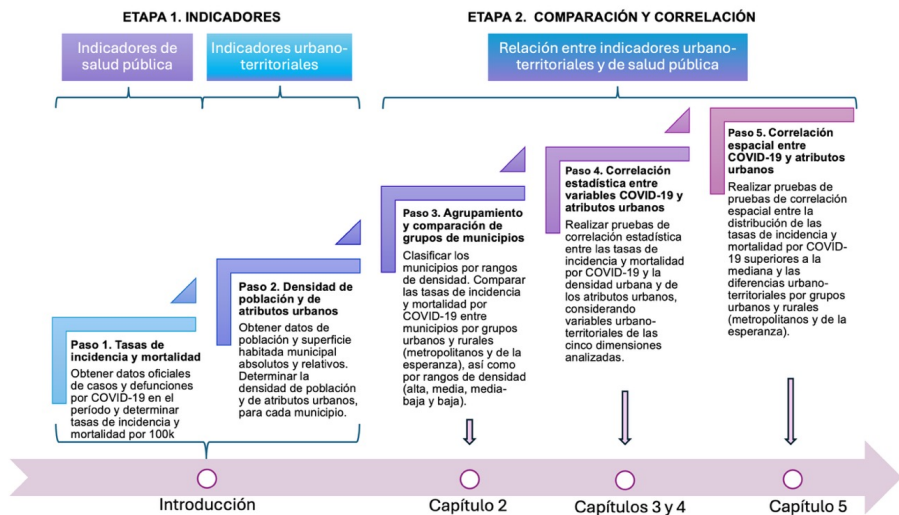
Figura 1. Localización de municipios seleccionados, metropolitanos y de la esperanza



Fuente: Elaboración propia con datos del informe de Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015 (Segob-Sedatu-Conapo-INEGI, 2018).

Del listado, 191 se localizan en el estado de Oaxaca y 109 están distribuidos en las demás entidades federativas del país (Secretaría de Salud, 2020, pp. 3-17). Dadas las particulares características territoriales del estado de Oaxaca, que cuenta con 570 municipios, que lo posiciona como la entidad con mayor número de municipios en México, se tomó la determinación de excluirlos del estudio, ya que presenta una distribución territorial muy diferente a las demás entidades federativas. Así, quedó establecido el recorte espacial incluyendo 93 municipios de ciudades clasificadas zonas metropolitanas (Conapo, 2018) y 109 municipios de la esperanza (figura 1).

Figura 2. *Secuencia de etapas, pasos y capítulos*



Fuente: Elaboración propia.

Orden lógico y secuencial del método

El orden lógico y secuencial del método plantea dos etapas y cinco pasos (figura 2). La etapa 1 condensa los primeros dos pasos relativos a la obtención y medición independiente de indicadores de salud pública y urbano-territoriales, variables dependientes e independientes, respectivamente:

- Paso 1. Variables dependientes (que se observan). Obtener datos oficiales de número de casos confirmados acumulados y número de defunciones acumuladas en el periodo y determinar los indicadores de medición: tasa de incidencia y tasa de mortalidad por 100k.
- Paso 2. Variables independientes (que presumimos pueden explicar la incidencia del COVID-19). Obtener datos de población del municipio y superficie municipal habitada absolutos y relativos, y determinar la densidad de población y las demás densidades de los 33 atributos urbanos estudiados para cada municipio.

La etapa 2, condensa los restantes tres pasos de análisis de la relación entre las variables dependientes de salud y las variables independientes urbano-territoriales, siguiendo el procedimiento que se explica en detalles en los capítulos subsecuentes, que expresan los resultados de la investigación desarrollada:

- Paso 3. Clasificar los municipios por rangos de densidad. Comparar las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 entre municipios por grupos urbanos y rurales (metropolitanos y de la esperanza), así como por rangos de densidad (alta, media, media-baja y baja).
- Paso 4. Realizar pruebas de correlación estadística entre las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 y la densidad urbana y de los atributos urbanos, considerando variables urbano-territoriales de las cinco dimensiones analizadas.
- Paso 5. Realizar pruebas de correlación espacial entre la distribución de las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 superiores a la mediana y las diferencias urbano territoriales por grupos urbanos y rurales (metropolitanos y de la esperanza).

Estructura del libro

El libro presenta la totalidad de los resultados de la investigación, cuyo objetivo fue examinar la relación entre la incidencia y mortalidad por COVID-19 y los atributos urbano-territoriales de municipios urbanos y rurales de Mé-

xico (de zonas metropolitanas y de la esperanza, respectivamente), para comprender el rol que juegan los diversos tipos de densidad de atributos del entorno construido y valorar si se debe continuar favoreciendo las formas urbanas compactas en la planeación urbana, o si hay otras variables que también podrían ser agravantes, buscando una perspectiva comprehensiva de lo que puede ser la ciudad saludable en-pandemia.

El capítulo 1, “Ciudades saludables en-pandemia”, se revisa la importancia de la salubridad desde los orígenes de las ciudades y como motor de la institucionalización del urbanismo como ciencia de las ciudades y se trae al debate el concepto de ciudad saludable y la importancia de un abordaje sistémico y complejo, orientando la reflexión hacia la propuesta conceptual del término ciudades saludables en-pandemia.

Seguidamente, el capítulo 2, “Densidad urbana y COVID-19, efecto en la incidencia y mortalidad en municipios mexicanos”, presentan resultados relativos al análisis de las tasas de incidencia y mortalidad en el primer año de pandemia en México, en los municipios estudiados. Se desarrollaron comparaciones a partir de dos agrupamientos. Primeramente, por grupos de municipios representativos de ámbitos urbanos y rurales (de zonas metropolitanas y de la esperanza, respectivamente) y en un segundo momento, por grupos clasificados por rangos de densidad (alta, media, media-baja y baja). Se presentan los municipios con tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 superiores a la mediana y se discute la validez o no del argumento de que los desarrollos de baja densidad pudieran ser la solución ideal para lograr una “ciudad saludable”.

Posteriormente, el capítulo 3, “Densidad, población municipal y superficie habitada. Tres variables demográficas predictivas del comportamiento del COVID-19”, presenta los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas para determinar la existencia o no de evidencias de correlación entre densidad poblacional y las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 en la totalidad de los municipios estudiados. Se discuten los resultados y la validez del cuestionamiento de la sustentabilidad “ciudad compacta” como agravante de la pandemia.

En el capítulo 4, “COVID-19 y otras densidades de atributos urbanos”, se examina la correlación estadística entre las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 y 33 tipos de densidad de atributos urbanos, clasifica-

dos en cinco dimensiones: demográfica, de condiciones de vivienda e higiene, de establecimientos de comercio y empleo, de unidades de atención sanitaria y de carreteras y tipos infraestructura de movilidad. Se identifican las variables con mayor significancia predictiva de incidencia y mortalidad por COVID-19, que informan sobre la influencia de los distintos tipos de densidades que se expresan en la configuración física de las ciudades en momentos epidémicos, para la prevención, contención, mitigación y planificación ante riesgos futuros. Se concluye orientando la reflexión hacia los términos propuestos Ciudades Saludables en-Pandemia, como contribución a la emergente nueva “ciencia de ciudades saludables”.

Por último, el capítulo 5, “Autocorrelación espacial de la incidencia y mortalidad en municipios metropolitanos”, se presentan los resultados de la realización de pruebas de correlación espacial entre la distribución de las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 superiores a la mediana y las diferencias urbano-territoriales estudiadas. La identificación de las variables urbano-territoriales que tuvieron mayor influencia en la distribución de la incidencia y mortalidad por COVID-19 en cada grupo, puede servir de guía para el diseño de políticas de salud pública diferenciadas para los grupos de población estudiados, urbanos y rurales (metropolitanos y de la esperanza), respectivamente.

La obra en su conjunto busca generar conocimiento para incidir en el desarrollo urbano saludable de las zonas metropolitanas de México, en particular, en lo relativo a entender los riesgos diferenciados que presentan los distintos asentamientos humanos urbanos y rurales, más densos o de baja densidad. Este conocimiento puede contribuir a comprender la interrelación entre temas urbanos y de la salud pública, y con ello, aportar al entendimiento de los atributos urbanos que pueden o no promover una vida urbana más saludable y resiliente ante futuras pandemias.

En términos económicos, considerando que las zonas metropolitanas concentran un alto porcentaje de la generación de riquezas de México, conocer y generar datos que permitan medir el riesgo que presentan las poblaciones de estos asentamientos urbanos en dependencia de densidad poblacional, tamaño poblacional y área, puede contribuir a plantear protocolos de respuesta al riesgo enfocados en las poblaciones con mayor riesgo epidemiológico,

así como a que se establezcan medidas de mitigación oportunas y un uso más efectivo de los recursos.

En el ámbito social y ambiental, la investigación puede contribuir a la comprensión, desde el caso de las ciudades mexicanas, de los riesgos de salud a los que pueden estar sometidas las poblaciones de distintas densidades y tipos de asentamientos (urbanos y rurales, así como metropolitanos), ante las amenazas naturales derivadas de desastres bióticos, como las pandemias. Así, se busca comprender la interrelación entre desastres naturales y la salud de las ciudades y sus habitantes, para aportar a generar conocimientos para una planificación urbana orientada a promover ciudades más saludables y habitables.

1. Ciudades saludables en-pandemia

El movimiento higienista del siglo XIX y el origen del urbanismo

La búsqueda de la ciudad saludable y segura en términos sanitarios no es algo nuevo. A lo largo de la historia, los asentamientos humanos han sido el epicentro de la propagación de enfermedades y pandemias, así como lugares de ocurrencia de incendios y catástrofes naturales que han colocado la necesidad de pensar en la salud y sobrevivencia colectiva. Desde los tiempos de los antiguos griegos se estudiaron los efectos del medio ambiente en la salud de los ciudadanos, dando gran importancia a las características del sitio adecuado para la fundación de nuevas ciudades-estado o polis, así como a los sistemas de abastecimiento de agua y drenaje, la regularización del trazado de calles, como la conocida cuadrícula de Hipódamo de Mileto.

En el siglo XIX, cuando la revolución industrial provocó la transformación abrupta de muchas ciudades europeas por la irrupción no sólo de industrias, sino además del tren y el pronunciado incremento de la población urbana, surgió en Europa un movimiento de crítica sobre los problemas sanitarios de las ciudades: contaminación ambiental, malas condiciones de higiene y saneamiento, hacinamiento de la vivienda de los trabajadores, conflictos de circulación y con ubicación de las industrias. Este movimiento, conocido como el higienismo, fue la génesis de la institucionalización del urbanismo como disciplina y campo de conocimiento moderno.

Como se precisa en el *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, el *hygiénisme* (Merlin & Choay, 2010, pp. 402-404), fue un movimiento que se desarrolló en Europa a lo largo del siglo XIX en respuesta a las preocupaciones

con la higiene pública de las grandes ciudades, se caracterizó por el debate entre pensadores de distintas áreas y cristalizó en la implementación de políticas públicas y leyes que tenían por objetivo mejorar la higiene y salud pública urbanas.

Este movimiento impulsó el traslado de los preceptos de la higiene pública a la vida cotidiana de los habitantes de las grandes ciudades y dio lugar en Inglaterra a la fundación del Ministerio de Salud Pública en 1848 (pp. 402-404). En Francia, dio lugar a la constitución en 1889 de l'Alliance d'hygiène sociale (Alianza para la Higiene Social), y a la integración en 1905 de la l'Association générale des hygiénistes et techniciens municipaux (Asociación General de Higienistas y Técnicos Municipales); en 1908, a la Section d'hygiène urbaine et rurale du Musée social (Sección de Higiene Urbana y Rural del Museo Social); en 1912, a la Société française des architectes-urbanistes, que en 1919 se transformó en Société française des urbanistes (SFU) (Merlin & Choay, 2010, p. 808).

Posteriormente, se fundó en 1919 l'École des hautes études urbaines (Escuela de Altos Estudios Urbanos), que en 1924 se convirtió en l'Institut d'urbanisme de l'université de Paris (Instituto de Urbanismo de la Universidad de París), primera escuela donde se institucionaliza la formación de urbanistas. Se promulgó además la Loi d'urbanisme (1919), primera legislación urbanística, instrumentada desde el vínculo entre la higiene pública y el saneamiento urbano: "La première législation de l'urbanisme, associaient très étroitement à la gestion de l'ensemble du milieu urbain des réflexions sur l'hygiène collective visant, en particulier, l'assainissement, les espaces libres et l'agencement des «bâtiments sociaux»"¹ (Merlin & Choay, 2010, pp. 403-404).

Por ello, se considera que el origen del urbanismo como nueva disciplina se alimenta del "espacio de práctica" que propició el diálogo entre profesionales en torno al higienismo; especialmente entre médicos, arquitectos e ingenieros, que defendían de un lado "la salud" y del otro "propuestas saludables" para la ciudad, y que derivó en el reconocimiento de la planifi-

¹ Traducción al español de Google Translate: "La primera legislación urbanística, estrechamente vinculada a la gestión de todo el entorno urbano, reflexionó sobre la higiene colectiva, en particular sobre el saneamiento, los espacios abiertos y la distribución de los edificios sociales".

cación urbana como profesión encargada de plantear la reordenación de las ciudades (p. 404).

De hecho, la definición del término *urbanisme*, como también se precisa en el *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, se plantea entre 1910 y 1914 desde el latín *urbs*, que junto a *ismus* (movimiento o escuela), nombra la nueva ciencia de las ciudades. La acepción toma sustento de los términos *hygiénisme* y urbanización, este último propuesto en 1867 por el ingeniero-arquitecto español Ildefonso Cerdá en la *Teoría general de la urbanización* “para designar una nueva disciplina: la ciencia de la organización espacial de las ciudades” (p. 797):

Du latin *urbs*, la ville, ce terme récent a été formé sur le modèle du néologisme espagnol *urbanizaciôn*, créé en 1867 par l'ingénieur-architecte espagnol Ildefonso Cerdá [...] pour désigner une discipline nouvelle, la science de l'organisation spatiale des villes.² (Merlin & Choay, 2010, p. 797)

Así, se puntualiza que en las lenguas de origen latino el término deriva del latín *urbs* (*urbanismo* en español, *urbanística* en italiano, *urbanisme* en francés):

À peine créé, «Urbanisme» était adopté par les praticiens et passait dans le langage commun [...] selon laquelle l'urbanisme serait une discipline autonome, née dans la deuxième moitié du XIX^e siècle, et ayant pour vocation l'aménagement scientifique de l'espace urbain.³ (Merlin & Choay, 2010, p. 797)

Se reconoce además la influencia del positivismo del siglo XIX y de la tradición utópica que parte del modelo crítico de Tomás Moro, pues la

² Traducción al español de Google Translate: “Del latín *urbs*, la ciudad, este término reciente se formó siguiendo el modelo del neologismo español urbanización, creado en 1867 por el ingeniero-arquitecto español Ildefonso Cerdá en su teoría general de la urbanización [...] para designar una nueva disciplina, la ciencia de la organización espacial de las ciudades”.

³ Traducción al español de Google Translate: “Apenas creado, el término *urbanismo* fue adoptado por los profesionales y se convirtió en un término común [...] según el cual el urbanismo era una disciplina autónoma, nacida en la segunda mitad del siglo XIX, y cuya vocación era el desarrollo científico del espacio urbano”.

constitución del urbanismo como ciencia de la planificación de las ciudades se apoya en el desarrollo de otras disciplinas y ciencias, como la biología, la medicina, ingeniería y arquitectura; así como de la idea del espacio como determinante social de la tradición utópica (Merlin & Choay, 2010, p. 808). Sobre esta última, en la obra *El urbanismo. Utopías y realidades* (Choay, 1970), se presenta un detallado recuento de las utopías sociales que sentaron las bases del urbanismo como disciplina, que se entiende como:

Este neologismo corresponde a la presencia de una realidad nueva: hacia fines del siglo XIX, la expansión de la sociedad industrial produce el nacimiento de una disciplina que se distingue de las artes urbanas anteriores por su carácter reflexivo y crítico; y por su pretensión científica. (Choay, 1970, p. 11)

La tradición utópica del “preurbanismo”, de acuerdo con Choay (1970), agrupa las primeras reacciones a la ciudad industrial que provienen de pensadores europeos del siglo XIX de distintas disciplinas y movidos por diversas motivaciones, pero que “todos ellos buscan esencialmente llegar a comprender [...] las incidencias de la vida urbana sobre el desarrollo físico, el nivel mental y la mortalidad de los habitantes” (p. 16). Algunos eran movidos por “sentimientos humanitarios” como los médicos, higienistas y religiosos, otros eran “pensadores políticos”, pero todos denunciaban las pésimas condiciones de higiene y salubridad en que habitaba la clase trabajadora, la distancia vivienda-trabajo e incluso cuestiones de higiene social como expresión del contraste entre las condiciones de vida en barrios de distintas clases sociales.

Aunque se observa la búsqueda de un orden normativo como solución al desorden de la ciudad industrial, de acuerdo con Choay (1970), las propuestas del preurbanismo se sitúan en la utopía por no ofrecer una respuesta práctica al cuestionamiento de la sociedad presente, y orientarse hacia el pasado (el culturalismo) o hacia el futuro (el progresismo). Entre los primeros, distingue a Augustus W. N. Pugin, John Ruskin, William Morris; mientras que entre los progresistas señala a Robert Owen, Charles Fourier, Victor Considérant, Etienne Cabet, Pierre-Joseph Prodhon, Benjamin W. Richardson, Jean-Baptiste Godin, Julio Verne, Herbert-George Wells.

Solamente, para ilustrar el vínculo entre el higienismo y el urbanismo, destacamos la propuesta de Hygeia del médico inglés Benjamin Ward

Richardson (1828-1896), quién en 1876 propuso una ciudad ideal con las siguientes características: máximo cien mil habitantes; una densidad de sólo 25 personas por acre (lo que equivale a 60 habitantes/hectárea); casas separadas con entradas independientes y jardines intermediarios, construidas de ladrillo impermeable al agua para evitar la humedad, con chimeneas centrales que eliminan el dióxido de carbono, cocinas en el piso superior bien iluminadas y ventiladas, con lavandería y calderas de agua caliente que se distribuye al baño y a las estancias de planta baja, techos inclinados y aislados con terrazas para secar la ropa, depósitos externos de basura, cuartos con pisos de madera y sin alfombras, espaciosos, iluminados y asoleados; edificios de máximo cuatro pisos; calles principales en forma de bulevares de este a oeste y secundarias de norte a sur con árboles a ambos lados, asoleadas y ventiladas; vías férreas para el tráfico pesado; edificios públicos independientes y rodeados por jardines; hospitales pequeños equidistantes en lotes separados; además de baños turcos, piscinas, gimnasios, bibliotecas y escuelas con espacio para ejercicio físico (Choay, 1970, pp. 109-113).

No podrían abordarse todas en esta obra, pero se subraya la importancia de estas como parte del movimiento higienista, marcado por la preocupación con las condiciones de higiene y salubridad de las ciudades industriales y por el esfuerzo por entender los vínculos entre el entorno urbano y la salud física y mental de los habitantes, que funda las bases del urbanismo. La crítica social y normativa del higienismo planteó nuevas formas ideales de organización y dio lugar a la promulgación de diversas leyes y preceptos que se materializaron en mejoras en los sistemas de circulación del agua y el aire para generar espacios urbanos más abiertos y saludables. Los cambios implicaban excluir de los núcleos urbanos las actividades altamente contaminantes, mejorar la infraestructura de saneamiento, ampliar las calles y favorecer la circulación, demoler los barrios demasiado densos, multiplicar y expandir las plazas y grandes parques urbanos.

Los grandes trabajos de saneamiento urbano emprendidos posteriormente en París por Haussmann a mediados siglo XIX son un claro ejemplo de los alcances de este movimiento (Chasles, 2016). Los primeros planes de ordenación planteaban grandes avenidas y sistemas de parques para proveer acceso al aire limpio, al sol, conducir el tráfico de modo ordenado y construir

robustos sistemas de infraestructura sanitaria subterránea de abasto de agua y drenaje.

Bajo la consigna general de *public health is wealth*, los higienistas avanzaron en incorporar un paradigma sanitario que mejoró el entorno, la alimentación, la higiene, la educación, la moral y los hábitos saludables, con un inmediato efecto sobre la arquitectura y las ciudades (Sánchez Chillón, 2011). Dichas transformaciones, junto a los avances en la ciencia médica moderna se tradujeron en una mejora progresiva en las condiciones de vida de los habitantes urbanos, una notable disminución de las tasas de mortalidad y un aumento de la esperanza de vida.

Por ello, se considera que la revolución higienista sentó las bases para el origen al urbanismo como disciplina, enfocada en atender el problema práctico de planificar y reordenar las ciudades existentes, cuando se pasa de la crítica social utópica de generalistas, a propuestas teóricas y prácticas que buscan aplicar el conocimiento existente a la tarea de reorganizar y planear la ciudad. Así, el urbanismo surgió del impulso higienista por crear ciudades saludables.

El movimiento Ciudades Saludables del siglo XXI

Aunque en las sociedades occidentales de hoy en día se han superado, al menos formalmente, los problemas sanitarios y estructurales que dieron origen al urbanismo, la reflexión sobre las ciudades saludables ha adquirido relevancia en las últimas décadas debido al esfuerzo internacional promovido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en respuesta al incremento de la tendencia de urbanización mundial y los riesgos que ello implica a la salud de las poblaciones. La amenaza recurrente de desastres naturales y pandemias como la COVID-19 han sido un llamado de atención y detonador de la acción colaborativa internacional a favor de la salud de toda la humanidad.

El movimiento “Ciudades Saludables” impulsado por la OMS se sustenta en la Carta de Ottawa para la Promoción de la Salud que derivó de la 1ª Conferencia Internacional sobre la Promoción de la Salud; realizada en Ottawa, Canadá en 1986. En ella, se convocó al involucramiento de todos

los organismos, organizaciones y naciones para el logro del objetivo Salud para Todos en el año 2000 (Secretaría de Salud, 2015, pp. 1-4); planteando una nueva concepción de la salud pública en el mundo desde el planteamiento del concepto de “promoción de la salud”, que amplía las fronteras de los límites corporales a los ámbitos donde se desarrolla la vida:

La promoción de la salud consiste en proporcionar a los pueblos los medios necesarios para mejorar su salud y ejercer un mayor control sobre la misma. Para alcanzar un estado adecuado de bienestar físico, mental y social un individuo o grupo debe ser capaz de identificar y realizar sus aspiraciones, de satisfacer sus necesidades y de cambiar o adaptarse al medio ambiente. [...] Por consiguiente, dado que el concepto de salud como bienestar trasciende la idea de formas de vida sanas, la promoción de la salud no concierne exclusivamente al sector sanitario. (Secretaría de Salud, 2015, p. 1)

Se parte de una noción de salud que va más allá de las acciones generadas en los espacios e instituciones prestadoras de servicios de salud, pues no depende solamente de la atención sanitaria sino del conjunto de cuidados contruidos colectivamente para “asegurar que la sociedad en que uno vive ofrezca a todos sus miembros la posibilidad de gozar de un buen estado de salud” (Secretaría de Salud, 2015, p. 3).

Se definen además “prerrequisitos para la salud” que remiten a factores políticos, socioeconómicos y físico-ambientales, precisando que las “condiciones y requisitos para la salud son: la paz, la educación, la vivienda, la alimentación, la renta, un ecosistema estable, la justicia social y la equidad. Cualquier mejora de la salud ha de basarse necesariamente en estos prerrequisitos” (Secretaría de Salud, 2015, p. 1). Así, la salud se vincula con la “calidad de vida” pues se advierte que una “buena salud es el mejor recurso para el progreso personal, económico y social y una dimensión importante de la calidad de la vida” (Secretaría de Salud, 2015, p. 1).

De acuerdo con Llorca et al. (2010, p. 435), el movimiento “ciudades saludables” impulsado por la oms se diferencia del higienismo del siglo xix por su objetivo de alcance mundial, en comparación con las acciones decimonónicas, que se planteaban para la escala local; destacando que esta nueva perspectiva aporta la implementación real de la promoción de la salud

pública: “Ciudades saludables es una de las manifestaciones más visibles e importantes de la aplicación del enfoque de promoción de la salud en la práctica real de la salud pública” (Llorca et al., 2010, p. 435).

Uno de los principios más relevantes es la noción de “equidad sanitaria”, que incorpora al debate el tema de las desigualdades sociales en lo relativo al acceso a oportunidades, información y medios para una salud plena: “La promoción de la salud se centra en alcanzar la equidad sanitaria. Su acción se dirige a reducir las diferencias en el estado actual de la salud y a asegurar la igualdad de oportunidades...” (Secretaría de Salud, 2015, p. 1). Así, el programa plantea una nueva perspectiva que reconoce la vulnerabilidad de las personas y comunidades ante agentes externos e internos y ante las condiciones ambientales, políticas, socioeconómicas, educativas y de salud.

Ciudades Saludables, un acercamiento socioecológico complejo a la salud

Es relevante destacar que la reorientación de los servicios de salud a un “sistema de protección de la salud” reconoce las lógicas sistémicas que subyacen a la multiplicidad de aspectos y condiciones necesarias para alcanzar la salud plena de los individuos. Por lo que se coloca la importancia del cuidado no sólo de la salud de las personas, sino además del medio ambiente como recurso inexorable del que dependen todos los seres vivos, subrayando la importancia de un “acercamiento socio-ecológico a la salud”, guiado por principios de protección recíproca del medio natural y de nuestras comunidades:

Nuestras sociedades son complejas y están relacionadas entre sí de forma que no se puede separar la salud de otros objetivos. Los lazos que, de forma inextricable, unen al individuo y su medio constituyen la base de un acercamiento socio-ecológico a la salud. El principio que ha de guiar al mundo, las naciones, las regiones y las comunidades ha de ser la necesidad de fomentar el apoyo recíproco, de protegernos los unos a los otros, así como nuestras comunidades y nuestro medio natural. (Secretaría de Salud, 2015, p. 2)

Por lo anterior, posicionarse desde el concepto de *ciudades saludables* de la OMS implica reflexionar sobre el conjunto de decisiones y políticas relativas a los asentamientos humanos, siendo conscientes de que las condiciones urbanas y ambientales pueden incidir en la salud de sus habitantes: “Una ciudad es algo complejo y dinámico. Es el lugar por excelencia de convivencia y de vida, y como tal tiene un papel determinante en la salud de las personas” (Llorca et al., 2010, p. 435).

En efecto, desde el planteamiento del programa, se reconoce el papel del urbanismo para impulsar ciudades saludables, recalcando la importancia de la aproximación socioecológica a la salud y de la mejora de las condiciones de vida en todos los ámbitos de las actividades humanas: “Es esencial que se realice una evaluación sistemática del impacto que los cambios del medio ambiente producen en la salud, particularmente en los sectores de la tecnología, el trabajo, la energía, la producción y el urbanismo” (Secretaría de Salud, 2015, p. 2).

Teniendo en cuenta que las ciudades concentran el mayor porcentaje de la población a nivel mundial con una tendencia de urbanización en ascenso, la OMS (2025, párr. 3) deja claro que la urbanización es uno de los desafíos clave para la salud pública en el siglo XXI. Por lo que hacen hincapié en los riesgos sanitarios urbanos y en el mandato por ciudades saludables (*the mandate for healthy cities*): “While cities offer many opportunities for employment and access to better services [...] cities can also pose unique health risks” (párr. 1).

Los barrios marginales e informales, el hacinamiento y la falta de infraestructura de saneamiento siguen siendo señalados entre los problemas sanitarios que propician la propagación de enfermedades infecciosas: “In urban slums and smaller informal settlements, overcrowding and lack of access to safe water and sanitation contribute to the spread of infectious diseases such as tuberculosis (TB)” (OMS, 2025, párr. 2). Asimismo, el efecto del entorno social urbano en la presencia de mayores tasas de enfermedades transmisibles, mentales y violencia: “Rates of noncommunicable diseases (NCDs), violence, and mental illness are also often higher because of cities’ social, built and food environments” (párr. 2).

Planificación urbana orientada a la ciudad saludable compleja

En lo relativo a cuáles son las cualidades y características que debe tener una ciudad saludable, resulta interesante el concepto que se establece en el documento *Health Promotion Glossary of Terms 2021*, donde se delinea que las ciudades saludables son aquellas que favorecen las actividades de cuidados mutuos entre las personas, así como el desarrollo de los lazos sociales y comunitarios:

A healthy city is one that is continually creating, expanding and improving those physical and social environments and community resources that enable people to mutually support each other in performing all the functions of life and in developing to their maximum potential. (OMS, 2021, p. 22)

Asimismo, se advierte que el principio de inclusión es ineludible para promover la participación comunitaria de poblaciones diversas y la equidad en el acceso a la salud: “support social inclusion by harnessing the knowledge, skills and priorities of cities’ diverse populations through strong community engagement; create healthy built and natural environments; and re-orient health and social services to optimize fair access” (pp. 22 y 23).

Por otro lado, en el documento *Creando ciudades saludables* (OMS, 2025b), se subraya que la planificación urbana orientada hacia el objetivo de la ciudad saludable debe impulsar la creación de entornos que favorezcan la salud y la calidad de vida, además de garantizar la cobertura de las necesidades de saneamiento básico y de acceso a la atención sanitaria (párr. 4). También se abunda que debe orientarse hacia la atención de las necesidades de la población envejecida, migrante, aislada socialmente, en desigualdad socioeconómica, así como a la mitigación de la degradación ambiental y el cambio climático (párr. 11).

El tema de la vivienda y el saneamiento, que fue central en las reformas sanitarias del siglo XIX, continúa siendo prioritario desde la aproximación de las ciudades saludables, dado que las características del espacio en que habitamos puede ser un determinante de la salud de la población. Se señala que las problemáticas de los barrios marginales y el hacinamiento deben ser una de las prioridades de la salud pública: “A healthy cities approach

views better housing and sanitation, reduced overcrowding and upgraded slums as public health priorities” (párr. 16).

También, la provisión y acceso a espacios verdes y la movilidad segura que caracterizó las propuestas urbanísticas decimonónicas, se presenta como un tema prioritario, a los que se suma la planificación orientada hacia la mitigación de la contaminación ambiental y los desastres naturales y antropogénicos:

Healthy cities also encourage better urban planning to prioritize increased access to safe transport systems, green and public spaces, and emergency responses to natural disasters, which together reduce road traffic deaths, improve air quality, promote physical activity and save lives. (OMS, 2025, párr. 16)

En consecuencia, la reducción de las emisiones de carbono a través de la movilidad sustentable, figura entre las estrategias más inexorables para promover la mejora de la calidad ambiental y la mitigación de los efectos del cambio climático: “Healthy cities aim to reduce carbon emissions, thereby improving air quality and promoting physical activity simultaneously (e.g. by replacing cars with walking and cycling)” (párr. 18).

Como ejemplo de la implementación de estos esfuerzos en las diversas regiones del mundo, se destaca en Europa la Red Española de Ciudades Saludables (RECS), que integra 152 ciudades y plantea la implementación a través de “planes municipales de salud, cuyos pilares básicos son la cooperación intersectorial y la participación ciudadana” (Llorca et al., 2010, p. 436).

En la nota editorial de la UCL-Lancet Commission, del volumen *Shaping cities for health*, se presentan cinco recomendaciones para “dar forma a las ciudades para la salud”, entre las cuáles se resalta la necesidad de construir alianzas en favor de la salud urbana y que los planificadores y tomadores de decisión deben abordar los problemas sanitarios en los planes urbanísticos y ser conscientes de la multiplicidad de factores que originan problemas de salud (UCL-Lancet Commission, 2012, p. 2023).

En el artículo “Urban Planning for Healthy Cities. A Review of the Progress of the European Healthy Cities Programme” (Barton y Grant, 2011), que examinó el avance de las ciudades europeas con relación a la “Planificación Urbana Saludable (PUS)” —del inglés Healthy Urban Planning

(HUP)—, se establece que su esencia remite a planificar asentamientos humanos que ofrezcan la mejor calidad de vida a las personas en el presente y en el futuro: “planning human settlements which offer the best opportunity for people now and in the future to enjoy good quality of life” (p. 129). Asimismo, se señala como desafío la tensión entre las dinámicas del mercado y la promoción de la salud: “A key challenge for the future will be to develop planning frameworks which advance public health concerns in a spatial policy context driven often by market forces. A health in all policies approach could be valuable” (p. 129).

Este texto es una referencia muy relevante dado que presenta lo que llaman el “mapa de salud del asentamiento” —“settlement health map” (Barton y Grant, 2011, p. 130)—, que sostiene que la planificación urbana es un determinante de la salud y sintetiza los múltiples impactos de la forma urbana sobre la salud en tres escalas: familiar y comunitaria, medio natural y construido, y ecosistema global. Más allá de las condicionantes individuales de las personas (edad, sexo y aspectos hereditarios), plantea tres ámbitos de la vida que inciden en la salud y bienestar. Primero, desde la escala familiar y comunitaria, se apuntan determinantes relacionados con los estilos de vida, la dieta, la actividad física y las redes de apoyo, el balance trabajo-vida, el ingreso y la capacidad de innovación. En el segundo, en la escala del medio construido, se señalan como determinantes la capacidad de acceso a las múltiples actividades cotidianas —trabajar, trasladarse, jugar, aprender, comprar—, y la calidad del medio ambiente y el entorno construido, es decir, del agua, del aire, de la tierra y suelos, de la vegetación y los hábitats naturales, así como las características de los edificios, las calles y del espacio urbano. Por último, en la esfera del ecosistema global, la biodiversidad y la estabilidad climática son determinantes de la salud, pues los eventos climáticos y biológicos también pueden afectar la salud y poner en riesgo o favorecer la vida de las personas. (p. 130).

En consecuencia, plantean 12 objetivos de la planificación urbana saludable —“The 12 HUP objectives”— para la atención de los determinantes de la salud originados por los impactos de la forma urbana, en las tres escalas antes mencionadas; de modo que la planificación urbana saludable es aquella que se orienta a promover el ejercicio frecuente y la interacción social, el fortalecimiento de las redes de apoyo comunitarias, el acceso a la vivienda

de calidad y oportunidades de empleo, a equipamiento educativo, cultural y recreativo, a la atención médica, a la producción y consumo de alimentos saludables, a la seguridad y protección, al combate a la contaminación ambiental y el acceso al saneamiento; así como a la reducción de las emisiones que amenazan la estabilidad climática (Barton y Grant, 2011, p. 132).

En el mismo sentido, el reporte *What Creates Healthy Cities?* (Richards et al., 2022), elaborado por The Commission on Creating Healthy Cities, que presenta hallazgos y retos para la planificación relacionada con la salud —“Health-Related Planning”—, se señala nuevamente el tema de la vivienda, la tensión entre los intereses del mercado y sector inmobiliario y el interés por la salud de la comunidad en general: “We do not believe the current planning system, with its reliance on house builders and developers bringing forward their proposals for projects, produces outcomes in the interests of the community at large” (p. 6).

Considerando lo vertido en este aparatado, se concluye que el desarrollo de la investigación desde la aproximación de las ciudades saludables exige abordar la problemática no sólo desde las condicionantes individuales de la población y las comorbilidades, sino además desde los ámbitos donde se desarrolla la vida, es decir, el examen de las características diferenciadas de los asentamientos humanos que pueden incidir en la salud de los habitantes y en el comportamiento de enfermedades transmisibles como el COVID-19. La idea de que la “promoción de la salud” depende de que las personas tengan los medios necesarios para mejorar y cuidar su salud, así como para satisfacer sus necesidades y adaptarse al medio ambiente, involucra lo político, lo socioeconómico, lo físico-urbano y lo ambiental.

Con sustento en lo anterior y dado el papel del urbanismo y la planificación urbana para impulsar ciudades saludables, se advierte la importancia de examinar múltiples variables del ámbito físico-urbano que pudieran ser determinante de la salud, desde una aproximación socio-urbana a la salud. En consecuencia, además de estudiar la densidad de población, se justifica la relevancia de analizar diversos atributos de la forma física urbana que pudieron haber influido en la incidencia y mortalidad por COVID-19, prestando especial atención a aquellos que configuran la escala del medio construido en distintos tipos de asentamientos, urbanos y rurales.

La preocupación con el hacinamiento y la falta de infraestructura de saneamiento confirma la importancia de estudiar la vivienda y su infraestructura de saneamiento, es decir, las características del hábitat y la capacidad de acceso a agua, drenaje, electricidad, entre otros servicios básicos. También, las características del entorno construido relacionadas con la capacidad de acceso a las múltiples actividades cotidianas, es decir, el acceso a distintos medios de transporte y movilidad, a oportunidades de empleo, a actividades comerciales y de servicios, a la atención médica, a equipamiento educativo, cultural y recreativo.

Ciudades saludables en-pandemia, fundamento del urbanismo en-pandemia

En esta obra proponemos el concepto de “ciudades saludables en-pandemia” para señalar que, más allá de lo emergente, la lección del COVID-19 exige el compromiso de pensar lo que debe ser la planificación de las ciudades saludables en un mundo en-pandemia. ¿Acaso podemos seguir diseñando y planeando la ciudad como lo hacíamos antes del COVID-19 sin prever la futura ocurrencia de pandemias? ¿Cuál es la responsabilidad del urbanismo en-pandemia?

Partimos del entendimiento de las pandemias como desastres y de las ciudades como sistemas complejos expuestos a desastres naturales o antropogénicos. En consecuencia, argumentamos que es necesario teorizar y planificar las ciudades como sistemas que pueden estar en-pandemia sucesivamente. Para sostener este planteamiento, primeramente abundamos sobre las ciudades como sistemas complejos y luego sobre la naturaleza de las pandemias como desastres.

Con relación al primer punto, según López Rangel (2014, pp. 18-20), las ciudades son sistemas complejos debido a que son sistemas abiertos, expuestos y vulnerables ante perturbaciones de elementos externos, por lo cual, sus componentes no son estáticos y pueden ser modificados o influidos por elementos externos, que perturban y transforman el sistema a través de desequilibrios, reorganizaciones y posteriores reestructuraciones. Los terremotos, tsunamis, huracanes, lluvias extremas, inundaciones, entre otros,

son ejemplos incontestables de desastres naturales que implican una perturbación causada por un elemento exterior, que ocasiona enormes daños imprevistos, tanto materiales como muertes humanas.

De acuerdo con Portugali (2016) en *What Makes Cities Complex?*, es posible aplicar a las ciudades los modelos matemáticos desarrollados para estudiar los sistemas complejos naturales, dado que exhiben las propiedades de estos sistemas:

Studies in this domain have demonstrated that, similarly to material and organic complex systems, cities exhibit the properties of natural complex systems and, that many of the mathematical models developed to study natural complex systems also apply to cities. (p. 3)

En el texto *Cities As Complex Systems* (Bettencourt, 2015, p. 220), se señala que la perspectiva moderna de las ciudades como sistemas complejos comenzó a surgir en la década de 1960 con la incorporación de conceptos como “complejidad organizada” (*organized complexity*) en la obra de Jane Jacobs, *The Death and Life of Great American Cities* (Jacobs, 1961), que fue clave para la comprensión de las relaciones entre el tejido social y espacial de las ciudades americanas.

Destaca que el reconocimiento de la complejidad de las dinámicas socioeconómicas y ambientales en horizontes de larga duración exige el abordaje de las ciudades como un problema complejo, y que la capacidad de identificar soluciones sostenibles depende de entender las relaciones que subyacen en su organización y dinámicas: “identify important new relations in urban organization and dynamics that can also enable more successful and sustainable solutions” (p. 218). Asimismo, sostiene que las ciudades son “sistemas adaptativos complejos”, dado que presentan cinco propiedades generales que las diferencian de los “sistemas físicos más simples”, a saber: heterogeneidad, interconectividad, escala, causalidad circular, desarrollo:

Complex adaptive systems, and cities in particular, have a number of properties that distinguish them from simpler physical systems and that make their management by conventional methods especially difficult. These properties can be summarized in terms of five general properties (Bettencourt, 2013a;

2013b; Jacobs, 1961): i) heterogeneity; ii) interconnectivity; iii) scale; iv) circular causality; v) development. (Bettencourt, 2015, p. 221)

Primeramente, la propiedad de heterogeneidad remite a la diversidad que caracteriza las grandes ciudades, no sólo en términos físico-ambientales sino en temas relativos a disparidades de riqueza, raza y etnicidad y otras tantas variables que caracterizan los diferentes grupos sociales; lo que desecha las soluciones estandarizadas (p. 221). En segundo lugar, la propiedad de la interconectividad deriva del reconocimiento de que “todo en una ciudad está sutilmente *interconectado*”, es decir, que los factores físico-ambientales, dependen de los políticos, económicos y socioculturales y viceversa: “everything in a city is subtly *interconnected* in networks: Issues of economic development or health are connected to physical places and to urban services, and these in turn to budgets at the individual and municipal levels” (p. 221).

En tercer lugar, la escala es también una propiedad de la ciudad como sistema adaptativo complejo, dado que provoca cambios en otras variables como la población, la densidad y el uso de la infraestructura, costos: “the character of cities changes with their scale, usually measured by population size: Larger cities are on average spatially denser and make more intense use of their infrastructure (e.g., more cars per road surface)” (p. 222).

La cuarta de las propiedades señaladas, la causalidad circular de los sistemas complejos, se observa también en las ciudades y desecha la fiabilidad de las relaciones causales, pues una acción o desequilibrio puede dar lugar a múltiples efectos imprevistos: “Fourth, virtually all issues of cities, like other complex systems, show circular causality: for example, is a city richer because it has better infrastructure? Or does it have better infrastructure because it is richer?” (p. 222). La quinta propiedad, el desarrollo, exige entender la ciudad como un proceso dinámico que se desarrolla en el tiempo, no como un objeto estático: “Finally, people, businesses and the city itself develop over time, so that any policies today should promote a mixture of old and new uses [...]. This emphasizes the idea of a city as a process, rather than an object” (p. 222).

Subraya además, que existen interconexiones entre estas características, pues a medida que la escala aumenta, también lo hace la heterogeneidad y

su estructura interna; por lo que puntualiza la importancia de estudiar los sistemas urbanos diferenciando por escala, entre las ciudades más pequeñas y aquellas de mayor población y área (Bettencourt, 2015, p. 223).

De lo anterior, las ciudades son sistemas complejos porque son sistemas abiertos y vulnerables a perturbaciones de elementos externos (López Rangel, 2014) que pueden entenderse como sistemas complejos naturales (Portugali, 2016) y presentan propiedades de los sistemas adaptativos complejos como la heterogeneidad, interconectividad, escala, causalidad circular, desarrollo (Bettencourt, 2015).

Con relación al segundo punto, relativo al entendimiento de la pandemia como un desastre, recurrimos al concepto de “seguridad urbana” (ONU-Hábitat, 2007) que plantea la clasificación de desastres provocados por peligros naturales y por el hombre: “disasters triggered by natural and human-made hazards” (pp. vi, 5). Dicha definición considera también otras variables como las relacionadas con las problemáticas de la salud y la alimentación:

The theme of “urban safety and security” encompasses a wide range of concerns and issues. These range from basic needs such as food, shelter and health, through impacts of natural disasters, such as those triggered by earthquakes and cyclones, to collective security needs, such as protection from urban terrorism or war. (p. xxvii)

El reporte recalca que en lo relativo a los desastres se reporta un aumento global en los últimos cincuenta años, que ha provocado grandes daños económicos y a la salud y la vida de millones de personas, precisando que en el periodo de 29 años entre 1974 y 2003 se produjeron 6 367 desastres naturales a nivel mundial, que causaron 2 millones de muertes humanas y daños económicos de 1.38 billones de dólares (p. vi). Se puntualiza además que, entre 1950 y 1990, el cambio climático ha provocado un incremento de 50% de los eventos meteorológicos extremos (ONU-Hábitat, 2007, p. vi).

Pero ¿las pandemias pueden considerarse desastres naturales? El origen del COVID-19 fue un tema controversial. Cuando estallaron los primeros brotes se sospechaba que podría ser una zoonosis, es decir, una “enfermedad o infección que se da en los animales y que es trasmisible a las personas en condiciones naturales” (Real Academia Española, 2024). Pero la rápida pro-

pagación mundial alimentó especulaciones sobre la posibilidad de que fuera creada por humanos o un “escape de laboratorio” (*laboratory escape*) (Holmes et al., 2021, p. 4848).

Entretanto, los autores del estudio “The origins of SARS-CoV-2: A critical review” concluyeron que después de analizar las evidencias, lo más sensato es reconocer que se trató de una zoonosis, es decir, un virus que afecta a animales que logró transmitirse a humanos: “As for the vast majority of human viruses, the most parsimonious explanation for the origin of SARS-CoV-2 is a zoonotic event” (Holmes et al., 2021, p. 4852). Se reportó que existe una cantidad sustancial de evidencia científica de respaldo del origen zoonótico y que no encontraron evidencias de un origen de laboratorio: “there is substantial body of scientific evidence supporting a zoonotic origin. Although the possibility of a laboratory accident cannot be entirely dismissed, and may be near impossible to falsify, this conduit for emergence is highly unlikely” (p. 4852).

Si nos apegamos a la definición de ONU-Hábitat, que establece que los desastres pueden ser de origen natural y causados por el hombre, podríamos decir que la pandemia por COVID-19 fue un desastre, aún cuando no esté claro si su origen fue natural o antropogénico. Además, de acuerdo con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2018), los desastres bióticos se encuentran entre los cuatro tipos de desastres naturales, clasificados por su origen: meteorológico, hidrológico, geofísicos y biológicos. Con relación a ellos, se define puntualmente que originan epidemias y pandemias que ponen en riesgo la vida de las personas: “Biológicos: Son los que afectan directamente a la población en forma de pestes, epidemias y pandemias, en ellos están involucradas bacterias, virus y parásitos que causan enfermedades de difícil control” (párr. 7).

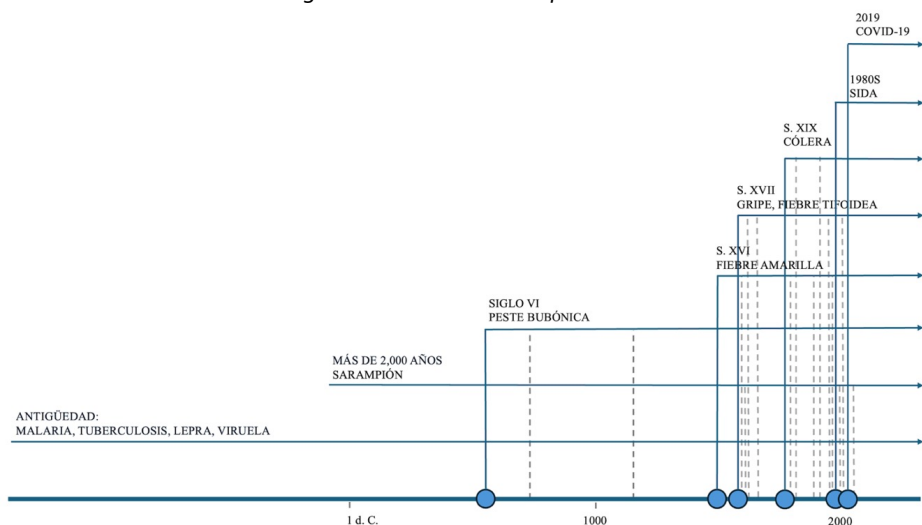
Precisamente, la diferencia entre los términos epidemia y pandemia depende de si la propagación es o no restrictiva a una sola zona geográfica. El término epidemia proviene “Del lat. mediev. *epidemia*, y este del gr. ἐπιδημία *epidēmía*; propiamente ‘estancia en una población’; y se define como: “f. Enfermedad que se propaga durante algún tiempo en una zona y afecta simultáneamente a gran número de personas” (Real Academia Española, 2024). Mientras que pandemia proviene: “del gr. πάνδημος *pándēmos* ‘que afecta a todo el pueblo’, compuesto de παν *pan* ‘todo’ y δῆμος *dēmos*

‘pueblo’” (Real Academia Española, 2024). Es decir, implica un riesgo para toda la humanidad: “f. Med. Enfermedad epidémica que se extiende a muchos países o que ataca a casi todos los individuos de una localidad o región” (RAE, 2024). Desde el ámbito de la salud, se subraya que las pandemias son epidemias que afectan a todo el mundo: “Pandemia: epidemia que se ha extendido por varios países, continentes o todo el mundo y que, generalmente, afecta a un gran número de personas” (OPS-OMS, 2020, p. 7).

Pero, regresando a la propuesta teórica de “ciudades saludables en-pandemia”, es importante recalcar que las pandemias son cíclicas y recordar “las 12 pandemias más importantes que han afectado al ser humano en su historia” (Corominas, 2021, párr. 1). Algunas de ellas han azotado a la humanidad desde tiempos antiguos, otras son más recientes, pero comparten el hecho de que han cobrado la vida de millones de personas en todos los continentes, y surge una nueva aproximadamente cada 100 años (párr. 1).

Como señala Corominas (2021), entre las más antiguas se encuentran la malaria, la tuberculosis, la lepra y la viruela, que aún ocasionan brotes menores, a excepción de la viruela que se considera erradicada desde hace más de 40 años y se le atribuyen millones de muertes en distintas épocas. La peste bubónica también cobró millones de vida, primero en el siglo VI causó la “Peste de Justiniano” y luego en el siglo XIV la “peste negra”. En los tiempos de la colonización europea de América se extendieron el sarampión y la fiebre amarilla; luego la fiebre tifoidea y la gripe, con sucesivos brotes posteriores y nuevas variantes sumaron millones de pérdidas humanas. A lo largo de siglo XIX el cólera diesmó también millones de vidas. Más recientemente, en los años 80, la dispersión mundial del SIDA y en el 2019 presenciamos el origen del COVID-19, ambos causando de igual modo millones de muertes (Corominas, 2021).

De lo que se puede advertir que, no es que cada 100 años ocurra una pandemia, sino que surge una nueva y se suma a las anteriores, permaneciendo como un riesgo para la vida humana en adelante (figura 3). Algunas acompañan la historia de la humanidad y en los últimos quinientos años se han repetido múltiples brotes de una misma, por lo que podemos considerar que, si se observa desde la perspectiva histórica y de larga duración, la humanidad vive en-pandemia.

Figura 3. *La humanidad en-pandemia*

Fuente: Elaboración propia con datos de Corominas (2021).

En el artículo “The costs and benefits of primary prevention of zoonotic pandemics” (Bernstein et al., 2020, p. 2), se recalca que en el último siglo han aparecido nuevos virus a un ritmo más rápido y las pandemias se han vuelto más frecuentes: “over the past century, viruses are detected in humans at a roughly uniform rate of two novel species per year”. Lo que consideran se debe a la tendencia incremental de aumento de la población mundial y al supuesto correlacional de que mientras mayor sea el número de personas vivas, más personas se verán afectadas por las pandemias: “as the number of people alive increases, pandemics will occur more frequently and affect more people” (p. 2).

Los autores examinaron las muertes por nuevos virus zoonóticos desde 1918 y presentan una lista de 30 virus, entre los cuáles los tres más letales han sido en orden: la gripe española de 1918 con 27 322 muertes por millón, el VIH de 1980 con 2 400 muertes por millón y el COVID-19 con 496 muertes por millón de habitantes (Bernstein et al., 2020, p. 3). Subrayan que estos virus producen pandemias letales que desestabilizan el equilibrio global por años: “the ability of single-stranded RNA viruses to emerge and produce global upheaval within a year or two is unparalleled” (p. 4). Por lo

que además señalan la necesidad de investigar el rol de la urbanización en el incremento del ritmo de aparición de nuevos virus por acciones humanas como la deforestación, transformación y destrucción de ecosistemas naturales, tráfico de especies (p. 9).

Desde la perspectiva temporal se señala que, debido a las alteraciones en la naturaleza causadas por el hombre y a los efectos del cambio climático, la humanidad vive en la actualidad frente a “la amenaza latente de una epidemia con potencial pandémico por un patógeno conocido o por conocer” (Sánchez & Sepúlveda, 2024, p. 181).

Todo lo anterior sustenta la relevancia de pensar la urbanización desde la perspectiva de salud pública y orientar la planificación urbana también hacia la mitigación de la amenaza de los desastres naturales bióticos que darán origen a futuras pandemias. Por todo lo anterior, la perspectiva de las ciudades saludables exige partir del entendimiento de las urbes como sistemas complejos y vulnerables ante desastres provocados por la naturaleza y por el hombre, entre los cuales, los desastres bióticos pueden originar sucesivas epidemias y pandemias. Por ello, al teorizar el concepto de ciudades saludables en-pandemia, se propone poner la atención en la necesidad de pensar la ciudad saludable desde el estudio y previsión de desequilibrios cíclicos en-pandemia y con una perspectiva de planificación urbana de mediana y larga duración orientada hacia la seguridad sanitaria y capacidad de resiliencia.

Conceptualizar la ciudad saludable en-pandemia coloca la necesidad de pensar el urbanismo en-pandemia, pues las ciudades son un proceso de larga duración, de transformación y reorganización. Exige advertir su complejidad y pensar la salubridad urbana desde una lógica sistémica, para conocer posibles correlaciones entre el papel que juega la configuración física del entorno urbano en la salud de las poblaciones y aportar a la planificación urbana de la ciudad saludable en-pandemia desde el contexto de los municipios mexicanos.

2. Densidad urbana y COVID-19, efecto en la incidencia y mortalidad en municipios mexicanos

Debido a que durante la emergencia sanitaria por COVID-19 las grandes metrópolis fueron el epicentro de la propagación comunitaria, surgió la interrogante de ¿qué ciudades serían más vulnerables a una propagación más intensa y si la densidad poblacional sería el principal agravante de los brotes? La sospecha de que la respuesta más probable podría ser que aquellas más densas, con mayor concentración población, actividades e interacción social, serían más propensas a la rápida propagación entre sus habitantes, causó preocupación entre urbanistas y planificadores y puso en duda los beneficios de la ciudad compacta como modelo de desarrollo sustentable.

Estos cuestionamientos invalidaban la ciudad compacta bajo el argumento de la importancia primordial de la salubridad y por tanto de promover el modelo de la ciudad saludable ante el riesgo de futuras pandemias. Así, ante el reconocimiento de las desventajas en términos ambientales, económicos y sociales que implican las comunidades de baja densidad, se consideró importante analizar la incidencia de la pandemia en los municipios mexicanos para evaluar si es correcto considerar que la densidad poblacional fue el principal agravante urbano.

En consecuencia, este capítulo se enfoca en explorar la relación entre la densidad de población y el comportamiento del virus en los municipios mexicanos estudiados para dar respuestas a algunas de las interrogantes que se suscitaron: ¿las ciudades con mayor densidad presentaron un mayor ries-

go de transmisión del COVID-19?, ¿entre los rangos de densidad urbana alta, media, media-baja y baja se identifica alguno con mayor incidencia en la transmisión epidémica?

Procedimiento metodológico

El procedimiento seguido para el desarrollo de este capítulo abarca la Etapa 1 de la medición de los indicadores de salud pública y urbano territoriales (variables dependientes e independientes de interés) que se precisó en la introducción (véase la figura 2), así como el paso 3 de la Etapa 2:

- Paso 1. Tasas de incidencia y mortalidad: Obtener datos oficiales de casos y defunciones por COVID-19 en el periodo y determinar tasas de incidencia y mortalidad por 100k
- Paso 2. Determinar la densidad de población y de atributos urbanos: Obtener datos de población y superficie habitada municipal y determinar la densidad de población y de atributos urbanos para cada municipio.
- Paso 3. Clasificar los municipios por rangos de densidad. Comparar las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 entre municipios por grupos urbanos y rurales (metropolitanos y de la esperanza), así como por rangos de densidad (alta, media, media-baja y baja).

Medición de tasas de incidencia y mortalidad

En lo relativo al paso 1, para los 202 municipios estudiados se midieron dos indicadores relativos de la tasa de incidencia y la tasa de mortalidad, siguiendo el procedimiento que se detalló en el apartado de la introducción “Variables dependientes de COVID-19”. Estos indicadores ofrecen una medida del riesgo absoluto de enfermar y de morir de una población y por ello resultan adecuados para examinar el comportamiento y distribución del COVID-19 en las poblaciones de interés, distinguiendo entre municipios metropolitanos y de la esperanza (urbanos y rurales). Recordamos, además,

que el cálculo de los indicadores de salud se realiza a partir de los datos oficiales y públicos del número de casos confirmados acumulados y el número de defunciones acumuladas entre el 14 de marzo de 2020 y el 14 de marzo de 2021.

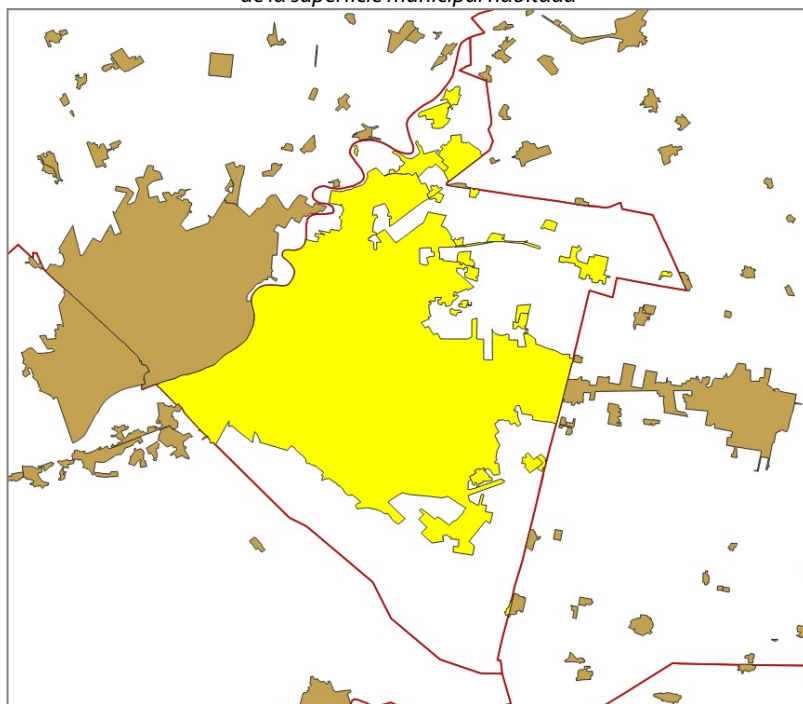
Medición de la densidad de población y clasificación por rangos

Dado que la investigación plantea examinar la carga de enfermedad en subgrupos de población con distintos rangos de densidad, fue necesario calcular la densidad de población de las localidades de los municipios estudiados (paso 2). Este indicador urbano resulta de la división de la cantidad de habitantes de una población entre el área poblada, recurriendo a unidades de área estándar, como pueden ser habitantes por hectárea (hab/ha) o en habitantes por kilómetro cuadrado (hab/km²).

$$\text{densidad de población} = \frac{\text{total de personas de la población (hab)}}{\text{área poblada (ha)}}$$

Para su cálculo se utilizó el dato de la población municipal, obtenido del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020), y la superficie municipal habitada en hectáreas. En cuanto a esta última, considerando que la transmisión del COVID-19 depende del contacto entre personas, se entiende que la propagación ocurre en las áreas pobladas. En el caso de México, el Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021a) distingue los límites municipales (áreas geoestadísticas municipales) y las localidades (localidad geoestadística); siendo las últimas las que definen los límites de los lugares poblados al interior de los municipios. Por lo anterior, en la presente investigación se determinó la densidad de la superficie municipal habitada utilizando la superficie municipal habitada como unidad geográfica que resulta de la sumatoria de áreas de todas las localidades pobladas al interior del límite municipal, identificadas a partir de los archivos vectoriales del Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2021a) que definen los límites geoestadísticos de las localidades y municipios (figura 4).

Figura 4. Selección de localidades al interior de un límite municipal para el cálculo de la superficie municipal habitada



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2021). En rojo se señala el límite municipal; en amarillo, la superficie de las localidades pobladas.

Se decidió calcular la superficie municipal habitada debido a que la superficie municipal incluye toda la división político-administrativa del municipio que presenta áreas pobladas y no pobladas. Por lo que sería engañoso calcular la densidad de población con la totalidad de la superficie municipal, siendo más certera la medición con la superficie municipal habitada. Considerar los datos crudos superficie y población municipales, arrojaría una densidad que no sería representativa de las localidades pobladas. Es importante señalar que el cálculo supone una distribución uniforme de los habitantes en el área poblada, es decir, no expresa la heterogeneidad de la densidad de población por distritos o barrios al interior de las localidades.

Se procedió así dado que los datos oficiales públicos de número de casos confirmados y defunciones acumulados por COVID-19 se reportaron por

los límites estatales y municipales, no estando disponibles la localización geográfica precisa de los casos. De ahí que se contrastaron los casos reportados a nivel municipal con la densidad de población de la superficie municipal habitada, siendo ese el dato más fino que se pudo obtener. Para la integración de los datos espaciales en un sistema de información geográfica, los archivos de localidades se transformaron a una proyección ortogonal con base en el datum WGS84 para cada una de las zonas UTM del país, a fin de calcular la superficie municipal habitada en hectáreas.

Agrupamientos y comparaciones

Con la superficie municipal habitada calculada y el dato de población municipal, se procedió a determinar la densidad de la superficie municipal habitada (paso 3), siguiendo la fórmula antes definida. Posteriormente se clasificaron los 202 municipios por su categoría de densidad de habitantes por hectárea (hab/ha) utilizando como criterio los rangos establecidos por (Rodríguez y Sánchez 2020, p. 42):

- Densidad urbana baja: Menos 60 hab/ha
- Densidad urbana media-baja: Entre 60-111 hab/ha
- Densidad urbana media: Entre 112-219 hab/ha
- Densidad urbana alta o compacta: Entre 220-373 hab/ha
- Densidad muy alta: Más de 374 hab/ha

Así, se clasificó el conjunto de municipios estudiados para analizar la relación entre la densidad de población y las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 considerando dos tipos de agrupamientos: por tipo de municipio (de zona metropolitana y de la esperanza), y por rangos de densidad (alta, media, media-baja y baja).

Partiendo de los agrupamientos previos, el análisis se dividió en tres momentos. Primeramente, desde la lógica territorial, se analizó si se observan diferencias en la incidencia y mortalidad entre localidades urbanas y rurales, considerando los subgrupos de los 93 municipios metropolitanos y los 109 municipios de la esperanza. Seguidamente, se observó si hubo

diferencias en la incidencia y mortalidad entre localidades con distintos rangos de densidad de población, desde la división de los 202 municipios en los cinco subgrupos de rangos de densidad antes mencionados: muy alta, alta, media, media-baja y baja. En un tercer momento se agruparon los municipios de acuerdo con la incidencia y mortalidad por COVID-19 a partir del cálculo de la mediana de las tasas como medida de tendencia central, para clasificar las localidades con incidencia y mortalidad menor y mayor a la mediana dentro de los subgrupos, y así analizar si aquella más afectadas exhiben coincidencia con los municipios más densos.

Incidencia y mortalidad por COVID-19 en municipios urbanos y rurales

El conjunto de la muestra de 202 municipios estudiados suma en total una población de 62 073 227 habitantes (tabla 3). En el subgrupo de los 93 municipios metropolitanos habitan 61 006.56 —casi la mitad de la población nacional de 126 014 024 habitantes en 2020 (INEGI, 2021)— con una densidad promedio de población de 56.2 hab/ha. Mientras que en el subgrupo de 109 municipios de la esperanza, representativos de localidades rurales, se congregan sólo 1 066 661 habitantes con una densidad de 18.9 hab/ha. En lo relativo a la superficie municipal habitada, los 93 metropolitanos ocupan 1 085 374.2 hectáreas, en contraste con los 109 de la esperanza que abarcan solo 56 404.0 hectáreas, es decir, casi veinte veces menos superficie que los metropolitanos.

Tabla 3. *Agrupamiento de municipios metropolitanos y de la esperanza (urbanos y rurales)*

<i>Clasificación de municipio</i>	<i>Cantidad de municipios</i>	<i>Población municipal, 2020</i>	<i>Superficie municipal habitada 2021 (ha)</i>	<i>Densidad de la superficie municipal habitada (hab/ha)</i>
Metropolitanos	93	61 006 566	1 085 374.2	56.2
De la esperanza	109	1 066 661	56 404.0	18.9
Total	202	62 073 227	1 141 778.2	

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020 y 2021).

Al examinar las tasas de incidencia y mortalidad, se comprobó que los habitantes de municipios metropolitanos presentaron mayor riesgo de contagio y defunción que aquellos de la esperanza (tabla 4 y gráfica 1). En términos de la tasa de incidencia por 100k, se presentaron 2 546.1 en el subgrupo de los metropolitanos y 686.3 en el subgrupo de la esperanza, lo que es indicativo de que las poblaciones de municipios metropolitanos tuvieron un riesgo de contagio 3.7 veces mayor que aquellas de los municipios de la esperanza; además, la mediana fue de 1 923.1 en los primeros y de 395.7 en los segundos, 4.9 veces mayor en el subgrupo de los metropolitanos.

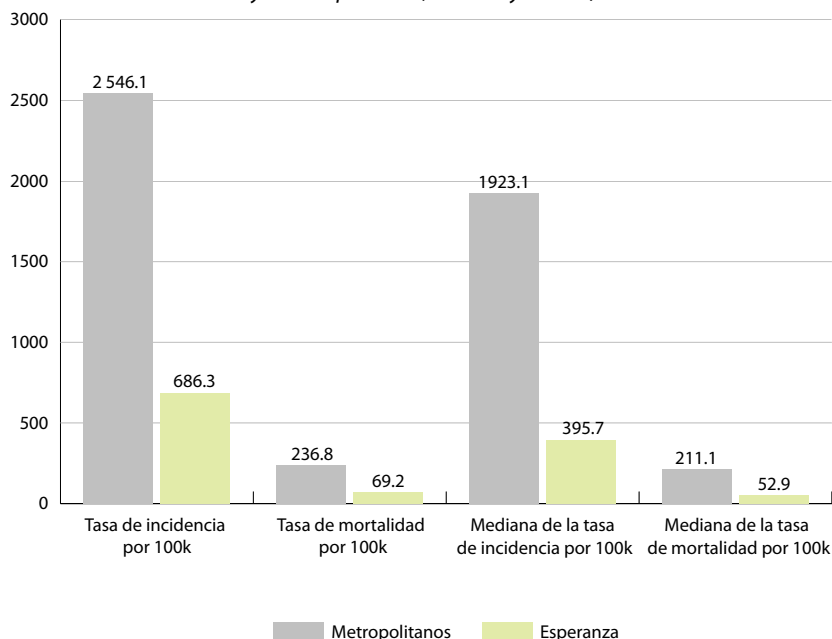
En cuanto a la tasa de mortalidad por 100k, ascendió a 236.8 en el subgrupo de los municipios urbanos que integran zonas metropolitanas y a 69.2 en los municipios de la esperanza, es decir, fue 3.4 veces mayor en los primeros; además, fueron las medianas de 211.1 en los metropolitanos y 52.9 en los de la esperanza, en otras palabras, cuatro veces mayor en los primeros (tabla 4 y gráfica 1). Estos indicadores ofrecen una medida comparativa del riesgo absoluto de contagiarse y fallecer en los municipios metropolitanos y los de la esperanza, que pone en evidencia un riesgo diferenciado entre los municipios urbanos y rurales.

Tabla 4. *Tasas de incidencia y mortalidad por 100k y medianas por subgrupos de municipios metropolitanos y esperanza (urbanos y rurales)*

<i>Cantidad de municipios</i>	<i>Clasificación de municipio</i>	<i>Tasa de Incidencia por 100k</i>	<i>Tasa de Mortalidad por 100k</i>	<i>Mediana de la Tasa de Incidencia por 100k</i>	<i>Mediana de la Tasa de Mortalidad por 100k</i>
93	Metropolitanos	2 546.1	236.8	1 923.1	211.1
109	De la esperanza	686	69	396	53
Razón entre metropolitano y de la esperanza		3.7	3.4	4.9	4.0

Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-Centro-Geo-Geolnt (2020).

Gráfica 1. Tasas de incidencia y mortalidad por cada 100k en municipios metropolitanos y de la esperanza (urbanos y rurales)



Fuente: Elaboración propia, con datos del INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-Centro-Geo-Geolnt (2020).

Tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 por rangos de densidad poblacional

Con el propósito de examinar si las tasas de incidencia y mortalidad por coronavirus se comportaron de modo diferenciado entre localidades con distintos rangos de densidad de población, se dividió la totalidad de los 202 municipios en los cinco subgrupos de acuerdo con los rangos de densidad antes mencionados: muy alta, alta, media, media-baja y baja (tabla 5).

En la muestra estudiada no se identificaron localidades con densidades muy altas, ni altas. En el rango de densidad media se identificaron 14 municipios, de los cuáles 13 son metropolitanos, en los que habitan 10 008 532 personas (tabla 6). En la clasificación media baja se detectaron 37 municipios, 28 metropolitanos y 9 de la esperanza, que congregan 20 478 672 ha-

bitantes. Finalmente, la gran mayoría correspondió al subgrupo de baja densidad, sumando un total de 151 municipios, de los cuales 52 son metropolitanos y 99 de la esperanza donde se suman 31 586 023 habitantes. 75% son de baja densidad, 18% de media baja y 7% de densidad media (figura 5).

Tabla 5. *Agrupamiento de municipios por densidad y clasificación: metropolitanos y de la esperanza (urbanos y rurales)*

<i>Clasificación de municipio</i>	<i>Total</i>	<i>Clasificación de rangos de densidad</i>				
		<i>Muy alta</i>	<i>Alta</i>	<i>Media</i>	<i>Media baja</i>	<i>Baja</i>
		(>374 hab/ha)	(220 ≤ 373 hab/ha)	(112 ≤ 219 hab/ha)	(60 ≤ 111 hab/ha)	(< 60 hab/ha)
Metropolitanos	93	0	0	13	28	52
De la Esperanza	109	0	0	1	9	99
Municipios por rango	202	0	0	14	37	151

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020 y 2021).

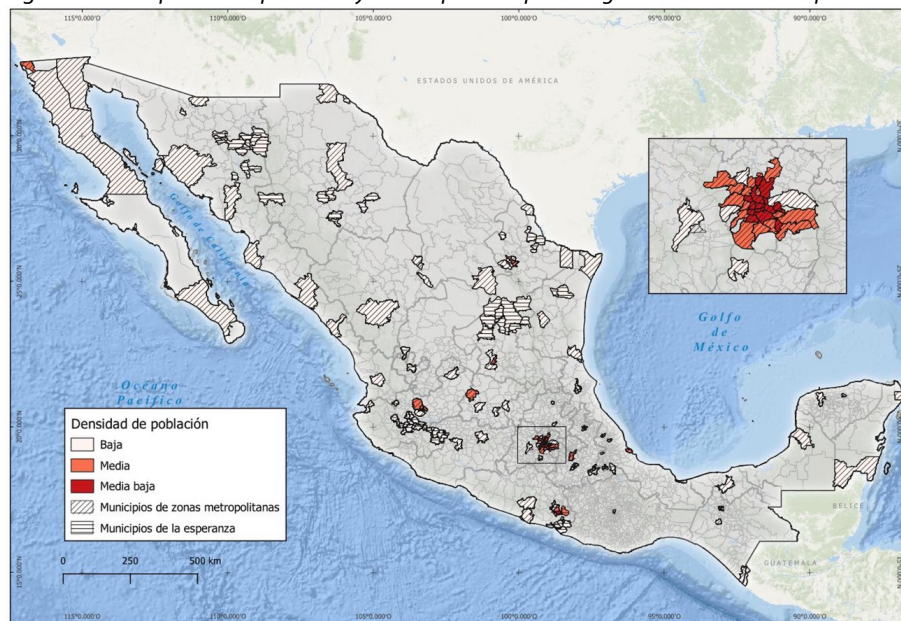
Tabla 6. *Agrupamiento de municipios por rangos de densidad*

<i>Número de municipios</i>	<i>Porcentaje de municipios (%)</i>	<i>Categoría de densidad</i>	<i>Población municipal, 2020</i>	<i>Superficie municipal habitada, 2021</i>	<i>Densidad de la superficie municipal habitada (hab/ha)</i>
14	7	Media	10 008 532	68 874.40	145.3
37	18	Media Baja	20 478 672	283 081.20	72.3
151	75	Baja	31 586 023	789 822.60	40

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020 y 2021).

Se observa en la figura 5 que la distribución de la densidad de población en los municipios metropolitanos y de la esperanza muestra que prácticamente la totalidad de ellos, sobre todo en la parte norte del país, presentan una densidad baja de acuerdo con la clasificación establecida. Las pocas excepciones con densidades media y media baja se localizan en zonas metropolitanas como la Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara y Tijuana, y algunos municipios distribuidos en la zona central país que, por su menor extensión, presentan mayores densidades.

Figura 5. Municipios metropolitanos y de la Esperanza por categorías de densidad de población



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020, 2021).

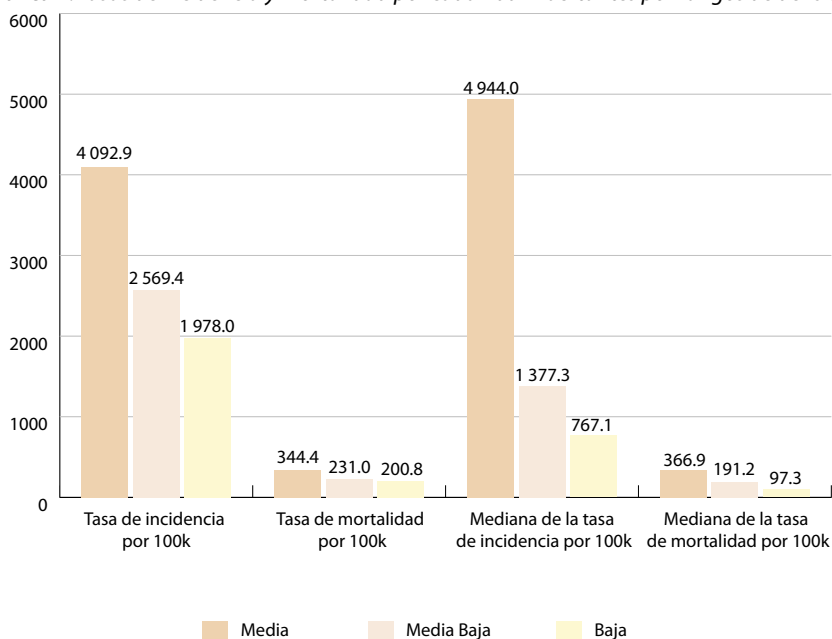
Al analizar el comportamiento de las tasas de incidencia y mortalidad por subgrupos de densidad, se comprobó que los habitantes de los municipios más densos estuvieron expuestos a un mayor riesgo que los de baja densidad (tabla 7 y gráfica 2). En cuanto a la tasa de incidencia, la mediana llegó a 4 092.9 en los más densos y a 1 978 en los de baja densidad, lo que indica que los primeros tuvieron tasas dos veces mayores, así como a 767.1 en los de baja densidad, seis veces mayores en los primeros. La tasa de mortalidad ascendió a 344.4 en los más densos y a 200.8 en los de baja densidad; en otras palabras, fue 1.7 veces mayor en los más densos (tabla 7 y gráfica 2).

Tabla 7. Tasas de incidencia y mortalidad por rangos de densidad y medianas por subgrupo

Número de municipios	Rango de Densidad	Tasa de Incidencia por 100k	Tasa de Mortalidad por 100k	Mediana de la Tasa de Incidencia por 100k	Mediana de la Tasa de Mortalidad por 100k
14	Media	4 092.90	344.4	4 944.0	336.9
37	Media Baja	2 569.40	231.0	1 377.3	191.2
151	Baja	1 978.00	200.8	767.1	97.3
Razón entre densidad media y media baja		1.59	1.49	3.59	1.76
Razón entre densidad media y media baja		2.07	1.72	6.44	3.46

Fuente: Elaboración propia, con datos del INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-CONAHCYT-Centro-Geo-Geolnt (2020).

Gráfica 2. Tasas de incidencia y mortalidad por cada 100k habitantes por rangos de densidad



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-Centro-Geo-Geolnt (2020).

Al observar en detalle los 14 municipios estudiados más densos, 13 pertenecen a la Zona Metropolitana del Valle de México (tabla 8), que se

integra por 16 delegaciones de la Ciudad de México y 59 municipios del Estado de México. Siendo destacable que 77% presentaron tasas de incidencia superiores a la mediana del subgrupo metropolitanos de 4 944 (tabla 8, números en negritas), y 85% tasas de mortalidad superiores a la mediana. Es importante recordar que los municipios metropolitanos presentaron tasas de incidencia y mortalidad casi cuatro veces mayores que los de la esperanza (tabla 4), y así también los de densidad media en comparación con los de media baja (tabla 7). Por tanto, este resultado indica que las poblaciones de los municipios metropolitanos más densos presentan mayor riesgo de contagio y defunción por COVID-19.

Tabla 8. *Tasas de incidencia y mortalidad por 100k en los 14 municipios más densos*

<i>Municipio</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Densidad de la superficie municipal habitada</i>	<i>Rango de densidad</i>	<i>Tasa de Incidencia por 100k</i>	<i>Tasa de Mortalidad por 100k</i>
Azcapotzalco	ZM	128.9	Media	7 519.1	533.8
Venustiano Carranza	ZM	131.0	Media	6 401.3	414.7
Iztacalco	ZM	175.2	Media	5 949.4	433.0
Gustavo A. Madero	ZM	133.5	Media	5 908.9	531.5
Coyoacán	ZM	114.0	Media	5 774.0	373.5
Cuauhtémoc	ZM	167.8	Media	5 745.0	399.4
Iztapalapa	ZM	162.3	Media	5 159.3	355.4
Benito Juárez	ZM	162.6	Media	4 728.8	271.8
Nezahualcóyotl	ZM	201.5	Media	2 388.2	318.3
Ecatepec de Morelos	ZM	126.8	Media	1 950.0	311.5
Coacalco de Berriozábal	ZM	144.4	Media	1 740.7	276.7
Chimalhuacán	ZM	132.9	Media	1 017.0	158.4
Valle de Chalco Solidaridad	ZM	135.3	Media	807.4	108.5
Iliatenco	ZM	114.3	Media	34.3	17.1
Subtotal	ESP	145	Media	4 093	344

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-Centro-Geo-Geolnt (2020).

Municipios con mayores tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19

Considerando lo anterior, se procedió a agrupar los municipios que presentaron tasas de incidencia y mortalidad mayores a la mediana de la totalidad de los 202 municipios para detectar si existe o no coincidencia entre los metropolitanos más densos y aquellos con mayor carga de enfermedad. La mediana de la tasa de incidencia de COVID-19 acumulada hasta el 14 de marzo de 2021 en la totalidad de los municipios estudiados fue de 1 058.96 por 100k; mientras la mediana de la tasa de mortalidad se posicionó en 125.85 por 100k. A partir de estos valores se analizaron los municipios con tasas superiores, indicativos de las localidades más afectadas por la pandemia.

Municipios con tasas de incidencia por COVID-19 superiores a la mediana

En lo relativo a la incidencia, 101 de los 202 municipios estudiados presentaron tasas superiores a la mediana de 1 058.9 por 100k. Resultó inesperado encontrar que entre éstos 19 son de la esperanza y 82 metropolitanos, es decir, 18.8% y 81.2%, respectivamente. Se advierte que, del subgrupo de los 93 municipios metropolitanos, 82 presentan este comportamiento, lo que representa 88.2%, es decir, que 8.8 de cada 10 de su tipo tuvieron tasas de incidencia por encima de la mediana, en contraste con casi 2 de cada 10 de la esperanza. Confirmando un mayor riesgo de contagiarse en los municipios metropolitanos. En lo relativo al agrupamiento por densidad, de los 101 municipios identificados, 11 son de rango medio (los más densos), 23 de media baja y 67 de baja densidad (tabla 9); lo que quiere decir, que la mayoría de 66.3% es de baja densidad, seguidos por 22% de medio baja y 10.9% de la mayor densidad.

Tabla 9. *Municipios estudiados con tasas de incidencia superiores a la mediana.*

<i>Número total de municipios</i>	<i>Número de municipios con tasas de incidencia por 100k superiores a la mediana</i>	<i>Porcentaje del total de municipios (%)</i>	<i>Porcentaje de 101 por encima de la mediana (%)</i>	<i>Categoría de Densidad</i>
14	11	78.6	10.9	Media
37	23	62.2	22.8	Media Baja
151	67	44.4	66.3	Baja
202	101	Total de municipios		

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-Centro-Geo-Geolnt (2020).

En otra lectura de la tabla 9, desde el porcentaje por subgrupos, se observa que presentaron este comportamiento 11 de los 14 municipios de densidad media (78.6%), 23 de 37 de densidad media (62.2%) y 67 de 151 de baja densidad (44.4%); en otras palabras, 7.8 de cada 10 de rango medio, 6.2 de cada 10 de medio bajo y 4.4 de cada 10 de baja densidad. No sospechábamos que pudieran encontrarse tantos de baja densidad y de la esperanza (tabla 10) entre los que registraron tasas de incidencia superiores a la mediana, 44.4% y 17% de sus subgrupos, respectivamente.

Si bien es importante tratar con cautela los municipios de la esperanza, porque son rurales y suelen presentar limitaciones en el acceso a servicios de salud que pudieron incidir en la confirmación de casos y defunciones por COVID-19; es relevante notar que presentaron tasas de incidencia superiores a la mediana no sólo los 19 municipios de la esperanza antes listados, sino 67 de baja densidad que incluyen los 19 rurales y 48 metropolitanos de baja densidad.

Este resultado permite sostener que la hipótesis inicial no se corrobora del todo. De un lado, confirma que los habitantes de los municipios metropolitanos más densos tuvieron mayor riesgo de contagiarse, pero de otro lado, no se comprueba que una mayor carga de enfermedad se explica o se predice siempre por una mayor densidad de población en todos los casos; dado que también se observan tasas de incidencia superiores a la mediana en el 44.4% de los municipios baja densidad, una proporción que no es menospreciable.

Tabla 10. *Municipios de la esperanza con tasas de incidencia superiores a la mediana*

<i>Municipio</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Densidad de la superficie municipal habitada</i>	<i>Rango de densidad</i>	<i>Tasa de Incidencia por 100k</i>
Matehuala	ESP	21.8	Baja	2 605.7
Melchor Ocampo	ESP	5.0	Baja	2 494.9
General Treviño	ESP	8.5	Baja	2 323.0
Bustamante	ESP	8.4	Baja	2 103.3
Arivechi	ESP	13.1	Baja	2 039.1
Parás	ESP	3.8	Baja	1 766.0
Nácori Chico	ESP	7.7	Baja	1 763.6
Doctor Arroyo	ESP	8.4	Baja	1 640.4
Granados	ESP	13.5	Baja	1 486.6
Santa Catarina Tlaltémpam	ESP	5.5	Baja	1 468.6
San Felipe de Jesús	ESP	7.6	Baja	1 355.0
Mier	ESP	11.2	Baja	1 331.2
Moctezuma	ESP	14.1	Baja	1 314.5
Aconchi	ESP	13.4	Baja	1 248.5
Huásabas	ESP	9.6	Baja	1 238.7
Charcas	ESP	15.6	Baja	1 228.6
Villa de la Paz	ESP	11.0	Baja	1 170.3
Atoyac	ESP	20.3	Baja	1 139.4
San Javier	ESP	18.4	Baja	1 117.3

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-Centro-Geo-Geolnt (2020).

De lo anterior se concluye que, aunque es mayor la proporción de municipios metropolitanos densos con tasas de incidencia por COVID-19 superior a la mediana, muchos de baja densidad también exhibieron este comportamiento. Esto indica que la baja densidad por sí sola no es garantía de que no se presenten altas tasas de propagación y señala la necesidad de analizar otras variables explicativas que pueden haber influido en el comportamiento del COVID-19.

Municipios con tasas de mortalidad por COVID-19 superiores a la mediana

En lo relativo a la tasa de mortalidad, se procedió de igual modo, seleccionando de la muestra de 202 municipios, aquellos con tasas superiores a la mediana que fue de 125.85 por 100k; para detectar si ese comportamiento sólo se ve en los más densos. Se identificaron por encima de dicha mediana de igual modo, 101 municipios, de los cuáles 83 son metropolitanos y 18 de la esperanza. Lo que significa que 83 de los 93 metropolitanos (89.2%), es decir, casi 9 de cada 10; así como también 18 de los 109 municipios de la esperanza (16.5%), o sea, 1.6 de cada 10 de este tipo. Lo que confirma mayor riesgo de fallecer en los metropolitanos.

Observando los rangos de densidad (tabla 11), se encuentran en esta lista 12 de los 14 municipios más densos (85.7%), o sea, 8.5 de cada 10, y también 64 de los 151 de baja densidad (42.4%), es decir, 4.2 de cada 10 de ese rango. Lo que confirma que una importante proporción de los municipios de baja densidad y de la esperanza tampoco estuvieron exentos de tasas de mortalidad superiores a la mediana. Subrayando que de los 64 de baja densidad, 18 son de la esperanza o rurales (tabla 12) y 49 son municipios metropolitanos de baja densidad, por lo que aunque pudo haber limitaciones en el registro de casos en los primeros, esta cautela no aplica para los metropolitanos de baja densidad, que siendo 49 de los 93 del subgrupo figuran por 52.6%, una proporción que es considerable.

Tabla 11. *Municipios estudiados con tasas de mortalidad superiores a la mediana*

Número total de municipios	Número de municipios con tasas de mortalidad por 100k superiores a la mediana	Porcentaje del total de municipios (%)	Porcentaje de 101 por encima de la mediana (%)	Categoría de Densidad
14	12	85.7	11.9	Media
37	25	67.6	24.8	Media Baja
151	64	42.4	63.4	Baja
202	101	Total de municipios		

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-Centro-Geo-Geolnt (2020).

Tabla 12. *Municipios de la esperanza con tasas de mortalidad superiores a la mediana*

<i>Municipio</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Densidad de la superficie municipal habitada</i>	<i>Rango de densidad</i>	<i>Tasa de Mortalidad por 100k</i>
San Felipe de Jesús	ESP	7.6	Baja	271.0
Santa Catarina Tlaltempan	ESP	5.5	Baja	267.0
San Francisco de Conchos	ESP	11.2	Baja	259.6
Moctezuma	ESP	14.1	Baja	212.6
Huépac	ESP	8.7	Baja	212.1
Villa Guerrero	ESP	17.8	Baja	199.1
Aconchi	ESP	13.1	Baja	195.1
Arivechi	ESP	13.1	Baja	169.9
Banámichi	ESP	13.0	Baja	164.4
Cocula	ESP	24.7	Baja	164.0
San Marcos	ESP	17.8	Baja	158.3
Villa Corona	ESP	22.9	Baja	157.4
Matehuala	ESP	21.8	Baja	156.6
Dzoncauich	ESP	12.6	Baja	141.9
Coatzingo	ESP	4.6	Baja	141.8
El Tule	ESP	4.9	Baja	138.1
Charcas	ESP	15.6	Baja	137.5
Bacanora	ESP	12.7	Baja	131.8

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-Centro-Geo-Geolnt (2020).

Este resultado indica que los municipios con atributos metropolitanos y mayor densidad (rango de media y media baja) figuran en mayor proporción entre los que presentan tasas de incidencia y mortalidad superiores a la mediana, por lo cual sus poblaciones estuvieron expuestas a mayor riesgo de contagio y muerte. Sin embargo, se sostiene que este comportamiento también se presentó en un porcentaje considerable de los municipios de baja densidad; de modo que se confirma que la baja densidad no es solución a la ciudad saludable y que es importante estudiar otras variables que pudieron influir en el comportamiento del COVID-19.

Municipios con tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 superiores a la mediana

Por último, se agruparon los municipios que presentaron tanto tasas de incidencia como de mortalidad por encima de la mediana (1 058.96 y 125.85, respectivamente). Esta selección arrojó que cumplen ambos criterios 85 municipios (tabla 13).

De los cuáles, 78 son metropolitanos y 7 son de la esperanza, lo que significa que están presentes 83.9% del grupo de los metropolitanos y 6.4% del subgrupo de los de la esperanza; en otras palabras, 8.3 de cada 10 de zonas metropolitanas en contraste con sólo 0.6 de cada 10 rurales. Observando el comportamiento por los rangos de densidad, se encuentran 11 de los 14 municipios más densos (78.5%) del subgrupo de densidad media, 21 de los 37 de media baja (56.8%) y 53 de baja densidad (35.1%); o lo que es lo mismo, 7.8 de cada 10 más densos, 5.6 de cada 10 de densidad media baja y 3.5 de cada 10 de baja densidad (tabla 13).

Es destacable que entre los 25 primeros de la lista con tasas de incidencia y mortalidad superiores a la mediana se ubican 11 del mayor rango de densidad, pero también 6 de baja densidad: Pachuca de Soto, Chalco, San Luis Potosí, Mexicali, Monterrey y Ensenada (tabla 14). Este resultado confirma los hallazgos de los agrupamientos anteriores, pues vuelve a presentarse mayor proporción de municipios metropolitanos más densos (rango de media), mientras que aún se observan 6 de baja densidad, todos metropolitanos, lo que confirma que la baja densidad no es garantía de bajas tasas en zonas metropolitanas.

Tabla 13. *Municipios estudiados con tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 superiores a la mediana*

Número total de municipios	Número de municipios con tasas de incidencia y mortalidad por 100k superiores a la mediana	Porcentaje del total de municipios (%)	Porcentaje de 101 por encima de la mediana (%)	Categoría de Densidad
14	11	78.6	12.9	Media
37	21	56.8	24.7	Media Baja
151	53	35.1	62.4	Baja
202	85	Total de municipios		

Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-Centro-Geo-Geolnt (2020).

Tabla 14. *Municipios con tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 cada 100k habitantes superiores a la mediana, clasificados por tipo y rango de densidad*

<i>Municipio</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Densidad de la superficie municipal habitada</i>	<i>Rango de densidad</i>	<i>Tasa de Incidencia por 100k</i>	<i>Tasa de Mortalidad por 100k</i>
Azcapotzalco	ZM	128.93	Media	7519.12	533.77
Iztacalco	ZM	175.23	Media	5949.42	531.51
Gustavo A. Madero	ZM	133.48	Media	5908.89	432.95
Venustiano Carranza	ZM	131.03	Media	6401.34	414.69
Cuauhtémoc	ZM	167.84	Media	5744.99	399.35
Coyoacán	ZM	113.95	Media	5773.97	373.51
Pachuca de Soto	ZM	39.66	Baja	2603.62	368.08
Chalco	ZM	63.51	Baja	2685.12	365.70
Álvaro Obregón	ZM	108.76	Media baja	9719.72	362.91
Iztapalapa	ZM	162.33	Media	5159.34	355.38
Tlalnepantla de Baz	ZM	95.11	Media baja	2356.29	340.82
Puebla	ZM	68.12	Media Baja	2918.19	335.48
Guadalajara	ZM	97.30	Media baja	2118.60	326.86
Nezahualcóyotl	ZM	201.50	Media	2388.21	318.32
San Luis Potosí	ZM	44.46	Baja	3967.40	317.03
Ecatepec de Morelos	ZM	126.78	Media	1949.98	311.48
Miguel Hidalgo	ZM	89.28	Media baja	5318.84	301.11
Mexicali	ZM	35.36	Baja	1728.63	295.77
Monterrey	ZM	52.21	Baja	3121.89	286.18
Naucalpan de Juárez	ZM	98.02	Media baja	2057.68	283.91
Ensenada	ZM	29.43	Baja	1969.10	279.85
Coacalco de Berriozábal	ZM	132.88	Media	1740.71	276.71
Tultitlán	ZM	97.13	Media baja	1459.89	273.85
Veracruz	ZM	65.54	Media baja	1923.06	272.89
Benito Juárez	ZM	162.60	Media	4728.75	271.79

Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-Centro-Geo-GeoInt (2020).

Municipios metropolitanos y mayor riesgo de incidencia y mortalidad por COVID-19

De acuerdo con los resultados expuestos en este capítulo, los 61 006 566 habitantes de los 93 municipios metropolitanos tuvieron más de cuatro veces mayor riesgo de contagio y casi seis veces mayor riesgo de muerte que los 1 066 661 habitantes de los 109 municipios de la esperanza estudiados; esto, considerando que presentaron tasas de incidencia y mortalidad superiores a la mediana 8.8 y 9 de cada 10 metropolitanos, en contraste con 2 y 1.6 de cada 10 de la esperanza, respectivamente. Lo que confirma un riesgo diferenciado, siendo mayor el de contagiarse y fallecer en los municipios metropolitanos.

Por otro lado, el contraste entre los más y menos densos, donde habitan 10 008 532 y 31 586 023 de mexicanos, respectivamente, evidencia que aquellos de los más densos tuvieron casi el doble de riesgo de contagiarse y fallecer que los de localidades de baja densidad (tasas de incidencia y mortalidad superiores a la mediana en 7.8 y 8.5 de cada 10 de densidad media, en contraste con 4.4 y 4.2 de cada 10 de baja densidad, respectivamente). Indicando un riesgo aún mayor de contagio y muerte en los municipios metropolitanos más densos.

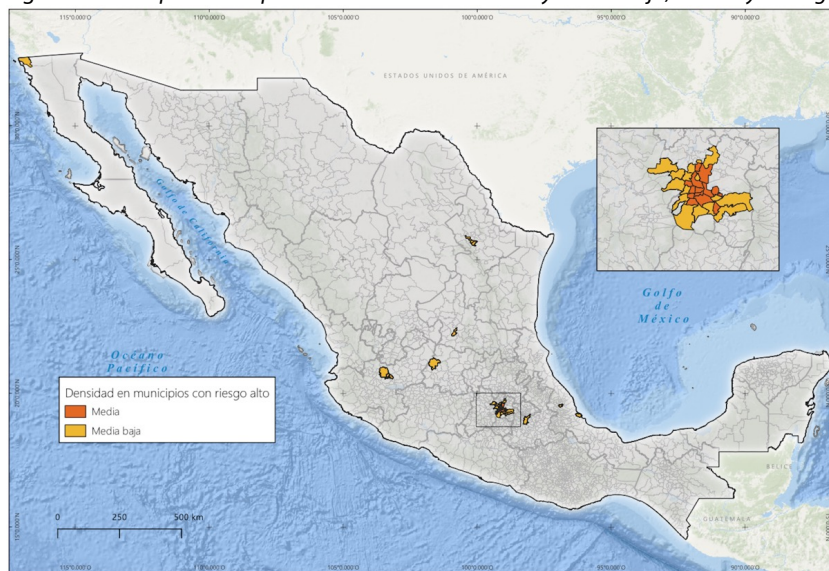
Considerando todo lo anterior, una visión de “ciudades saludables en-pandemia” requiere reconocer la existencia de riesgos diferenciados de acuerdo con el tipo de asentamiento y el planteamiento en congruencia de una estrategia diferente y prioritaria hacia los municipios metropolitanos más densos. En el caso mexicano, sería vital mitigar el riesgo de los 30 366 959 de habitantes de los 41 municipios metropolitanos más densos (tabla 15, figura 6), que en conjunto presentaron en su mayoría tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 superiores a la mediana, manifestadas en 83% y 90% de ellos, respectivamente.

Tabla 15. *Municipios metropolitanos de densidad media y media baja, con mayor riesgo*

<i>Municipio</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Población municipal, 2020</i>	<i>Densidad de la superficie municipal habitada (hab/ha)</i>	<i>Categoría de Densidad</i>
Nezahualcóyotl	ZM	1 077 208	201.50	Media
Iztacalco	ZM	404 695	175.23	Media
Cuauhtémoc	ZM	545 884	167.84	Media
Benito Juárez	ZM	434 153	162.60	Media
Iztapalapa	ZM	1 835 486	162.33	Media
Chimalhuacán	ZM	705 193	144.41	Media
Valle de Chalco Solidaridad	ZM	391 731	135.26	Media
Gustavo A. Madero	ZM	1 173 351	133.48	Media
Coacalco de Berriozábal	ZM	293 444	132.88	Media
Venustiano Carranza	ZM	443 704	131.03	Media
Azcapotzalco	ZM	432 205	128.93	Media
Ecatepec de Morelos	ZM	1 645 352	126.78	Media
Coyoacán	ZM	614 447	113.95	Media
Álvaro Obregón	ZM	759 137	108.76	Media Baja
Naucalpan de Juárez	ZM	834 434	98.02	Media Baja
Guadalajara	ZM	1 385 629	97.30	Media Baja
Tultitlán	ZM	516 341	97.13	Media Baja
Tláhuac	ZM	392 313	95.81	Media Baja
La Paz	ZM	304 088	95.41	Media Baja
Tlalnepantla de Baz	ZM	672 202	95.11	Media Baja
Miguel Hidalgo	ZM	414 470	89.28	Media Baja
Ixtapaluca	ZM	542 211	87.96	Media Baja
Tonalá	ZM	569 913	75.76	Media Baja
San Pedro Tlaquepaque	ZM	687 127	74.03	Media Baja
Tecámac	ZM	547 503	73.27	Media Baja
Tlalpan	ZM	699 928	71.09	Media Baja
Xalapa	ZM	488 531	70.08	Media Baja
San Nicolás de los Garza	ZM	412 199	68.54	Media Baja
Soledad de Graciano Sánchez	ZM	332 072	68.24	Media Baja
Puebla	ZM	1 692 181	68.12	Media Baja
Atizapán de Zaragoza	ZM	523 674	67.83	Media Baja
Xochimilco	ZM	442 178	67.65	Media Baja
Guadalupe	ZM	643 143	66.58	Media Baja
Veracruz	ZM	607 209	65.54	Media Baja
TeJuárez	ZM	471 523	64.97	Media Baja
Chalco	ZM	400 057	63.51	Media Baja
León	ZM	1 721 215	62.72	Media Baja
Zapopan	ZM	1 476 491	61.16	Media Baja
Tijuana	ZM	1 922 523	61.08	Media Baja
Nicolás Romero	ZM	430 601	61.06	Media Baja
General Escobedo	ZM	481 213	61.04	Media Baja
		30 366 959		

Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI (2020 y 2021).

Figura 6. Municipios metropolitanos de densidad media y media baja, con mayor riesgo



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020 y 2021).

El agrupamiento de los 202 municipios estudiados por su clasificación por tipos metropolitanos y de la esperanza (urbanos y rurales) y por rango de densidad permitió detectar que al finalizar el primer año epidémico sin agentes inmunizadores (hasta el 14 de marzo 2021); figuraban en mayor proporción los municipios metropolitanos más densos, entre los que presentaban mayores tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19, que presentaron por lo tanto un mayor riesgo en comparación con los rurales.

La evidencia analizada hasta aquí no permite concluir que la densidad explique la totalidad de los casos de presencia de mayores tasas; es decir, que no es suficiente identificar los municipios con mayor densidad de población para predecir todos aquellos que tendrán mayores tasas de incidencia y mortalidad. Pero se confirma la existencia de un riesgo diferenciado por tipo de asentamientos humanos, siendo mayor para los municipios metropolitanos más densos.

3. Densidad, población municipal y superficie habitada. Tres variables demográficas predictivas del comportamiento del COVID-19

En este capítulo se examina la correlación entre la tasa de incidencia y mortalidad por COVID-19 y las variables seleccionadas de la dimensión demográficas (densidad poblacional, población municipal relativa, superficie municipal habitada relativa y densidad de población de 60 años y más), presentando resultados de las pruebas de correlación estadística desde el comportamiento en la muestra de 202 municipios estudiados de México (parte del paso 5). Como se mencionó en la introducción, en la literatura recientes sobre este tema se advierte variabilidad en los resultados y que los mismos emanan mayormente de países desarrollados y del estudio de zonas metropolitanas; por lo que se resalta la importancia de conducir investigaciones en cada país para valorar la influencia de las características de los distintos tipos de asentamientos en la distribución del COVID-19, que sirvan de guía para plantear estrategias de salubridad adecuadas a cada contexto urbano-territorial.

En el capítulo anterior se analizaron las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19, dando como resultado que el grupo de los municipios metropolitanos más densos (rango medio) presentó en mayor proporción tasas superiores a la mediana, en comparación con los grupos de baja densidad y de la esperanza o rurales. Sin embargo, se observó también el mismo comportamiento en más de 40% de los municipios de baja densidad; lo que confirmó la necesidad de realizar pruebas estadísticas de correlación entre la densidad poblacional y los indicadores de incidencia y mortalidad por COVID-19 en México.

Entre los estudios previos, se encontraron resultados que apuntan hacia distintas conclusiones. Con evidencias de sustento de la relación entre ambas variables, en algunos se señala que las ciudades más densas tienen mayor propensión al contagio (Lai et al., 2020, p. 28), que las megaciudades más densas son muy vulnerables a brotes rápidos (Desai, 2020), que con la variable densidad de población se pueden predecir los contagios a nivel de condados (Wong & Li, 2020, p. 1), y que existe una correlación positiva moderada entre la densidad de población y las tasas de incidencia y mortalidad (Bhadra et al., 2020).

Contrariamente, en otros se señala que no se encontró evidencia de que posterior a los brotes iniciales la densidad de población esté relacionada con la incidencia de COVID-19 (Carozzi et al., 2020), que la densidad del condado no muestra relación significativa con la tasa de infección y de mortalidad (Hamidi et al., 2020), y que la densidad por sí sola no explica la distribución geográfica de los casos confirmados de contagios y muertes (Khavarian-Garmir et al., 2021).

Por ello, se consideró pertinente examinar desde el caso de México, si estadísticamente existe correlación entre la densidad de población y la distribución del COVID-19, considerando municipios metropolitanos y rurales con diferentes rangos de densidad.

Además, se advirtió que en las investigaciones previas se recomienda el examen de otras variables demográficas como el tamaño de la población a nivel de condado (Wong y Li, 2020, p. 1), y de la población metropolitana (Hamidi et al., 2020).

Por todo lo anterior, como se explicó en el apartado “Variables independientes urbano-territoriales” de la introducción, se decidió estudiar la dimensión demográfica de un modo más amplio, incluyendo cuatro variables independientes (véase tabla 1): además de la densidad de población de la superficie municipal habitada; la población municipal relativa (proporción entre la población municipal y la nacional); la superficie habitada municipal relativa (proporción entre la superficie municipal habitada y la superficie nacional en hectáreas), y la densidad de población de 60 años y más (población municipal de 60 años y más por hectárea de superficie municipal habitada).

Procedimiento metodológico para el análisis de correlación estadística

Se realizaron las pruebas de correlación con las tasas de incidencia y mortalidad como variables dependiente considerando que constituyen un indicador relativo adecuado para desarrollar comparaciones entre localidades con variabilidad poblacional, pues implican el ajuste por el factor de población, por lo que son convenientes para discutir los resultados a la luz de los hallazgos de investigaciones en otros contextos, previas y posteriores a esta.

Procedimiento para la prueba de normalidad

Primeramente, antes de definir qué prueba estadística de correlación se aplicaría, se evaluó si las variables observadas presentan o no una distribución normal, tanto las dependientes (tasas de incidencia y mortalidad), como las cuatro variables independientes de la dimensión demográfica (densidad de la superficie municipal habitada, población municipal relativa, superficie municipal relativa y densidad de personas de 60 años y más). Dada la muestra n del número de municipios analizados ($n = 202$), siendo 93 metropolitanos y 109 municipios de la esperanza, optamos por la prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov, que es adecuada para muestras mayores a 50, es decir, $n > 50$.

Además, considerando que la base de datos es muy extensa y utilizar programas de hoja de cálculo para realizar las pruebas podría implicar limitaciones para la investigación por el potencial del error humano, se utilizó el paquete estadístico Scipy.Stats en lenguaje Python desde la plataforma colaborativa en la nube Google Colab o Colaboratory, a través de la cual se realizaron las pruebas requeridas de normalidad, de correlación estadística y su visualización.¹

¹ Agradecemos la asesoría sobre la realización de las pruebas y el uso del paquete estadístico Scipy.Stats en lenguaje Python brindada por el Doctor en Matemática Pura y Aplicada Boris Jesús Mederos Madrazo.

Aplicamos la prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov (K-S) a las variables eligiendo un nivel de significancia de 0.05, con las siguientes hipótesis nula y alternativa:

- Hipótesis nula: $H_o: X_i \sim N(\mu, \sigma^2)$ La distribución es normal.
- Hipótesis alternativa: $H_i: X_i \neq N(\mu, \sigma^2)$ La distribución no es normal.

De la cual se obtuvo que todos los valores de K-S exceden el error máximo permitido para un valor $\alpha=0.05$ y los valores p son iguales a 0 o muy cercanos, arrojando mucha evidencia en contra de la hipótesis nula: $H_o: X_i \sim N(\mu, \sigma^2)$, en todas las variables independientes y dependientes; por lo que se rechaza H_o , es decir, que ninguna variable exhibe una distribución normal (tabla 16).

Tabla 16. Resultados de la prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov (K-S) de las variables de la dimensión demográfica

<i>Variables dependientes</i>	<i>Estadístico de la prueba K-S</i>	<i>Valor p</i>
Tasa de incidencia por 100k	0.98019801980198	0.0
Tasa de mortalidad por 100k	0.86633663366337	1.07E-176
<i>Variables independientes</i>	<i>Estadístico de la prueba K-S</i>	<i>Valor p</i>
Densidad de la superficie municipal habitada	0.99421689592125	0.0
Superficie municipal habitada relativa	0.50000593933940	3.18E-47
Población municipal relativa	0.50011682009247	3.02E-47
Densidad de población de 60 años y más	0.61055302045254	7.72E-73

Fuente: Elaboración propia con paquete estadístico SciPy.Stats en lenguaje Python, datos de INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-Geolnt (2020).

Procedimiento para la prueba de correlación estadística

Dado que ninguna variable exhibe una distribución normal, se requiere una prueba de correlación para variables con distribución no paramétrica, por lo se calculó el coeficiente de correlación de Spearman ρ (rho), siguiendo la fórmula abajo y usando del mismo modo el paquete estadístico SciPy.Stats en lenguaje Python:

$$\rho = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Esta prueba considera las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula $H_0: \rho = 0$ indica que no hay correlación.
- Hipótesis alternativa $H_i: \rho \neq 0$ indica que sí hay correlación.

Si el valor ρ es menor o igual al nivel de significación (95% equivale 0.05) se rechaza la hipótesis nula H_0 , lo que significa que hay mucha evidencia de que no se cumple H_0 , es decir, que hay bastante evidencia a favor de la hipótesis alternativa $H_i: \rho \neq 0$. La existencia de una correlación positiva, $0 < \rho < 1$ o $\rho = 1$, implica que la correlación es directamente proporcional, es decir, que al aumentar la variable independiente la dependiente también se incrementa. Mientras que una correlación negativa $-1 < \rho < 0$ o $\rho = -1$ implica una relación inversamente proporcional, en otras palabras, que al aumentar la variable independiente la dependiente disminuye (tabla 17). Para facilitar la lectura e interpretación de los resultados, en el caso de que se encuentre evidencia a favor de la hipótesis alternativa $H_i: \rho \neq 0$, indicativa de que sí hay correlación, se utilizan los siguientes rangos (tabla 18).

Tabla 17. *Hipótesis del coeficiente de correlación*

$\rho = -1$	Correlación negativa perfecta
$-1 < \rho < 0$	Correlación negativa
$\rho = 0$	Sin correlación
$0 < \rho < 1$	Correlación positiva
$\rho = 1$	Correlación positiva perfecta

Fuente: Elaborado con base en Martínez Ortega et al. (2009).

Tabla 18. *Rangos de interpretación del grado de correlación*

Correlación despreciable:	$ \rho < 0.1$
Correlación baja:	$ \rho \leq 0.3$
Correlación mediana:	$ \rho \leq 0.5$
Correlación fuerte o alta:	$ \rho > 0.5$

Fuente: Elaborado con base en Martínez Ortega et al. (2009).

COVID-19 y variables demográficas

Densidad de población e incidencia y mortalidad por COVID-19

Primeramente, en lo relativo a la densidad de población, analizada como densidad de la superficie municipal habitada, el resultado indica con ambas variables dependientes (tasas de incidencia y mortalidad) que hay suficiente evidencia en la muestra en contra de la hipótesis nula $H_0: \rho = 0$ con un nivel de significancia de 95%, dado que los valores ρ son muy pequeños (tabla 19).

Los coeficientes de correlación de Spearman $\rho = 0.356694116$ y $\rho = 0.4458557$, con las tasas de incidencia y de mortalidad respectivamente, son ambos diferentes de 0, por lo que se comprueba la hipótesis alternativa $H_1: \rho \neq 0$ de que sí hay evidencia de correlación con las dos variables dependientes. En los dos casos, el valor ρ está en el rango $0.3 < |\rho| \leq 0.5$ indicativo de una correlación mediana. De lo que resulta que se encontró evidencia de una correlación mediana entre la densidad de la superficie municipal habitada y la tasa de incidencia por 100k de COVID-19 y la tasa de mortalidad por 100k de COVID-19 (tabla 19).

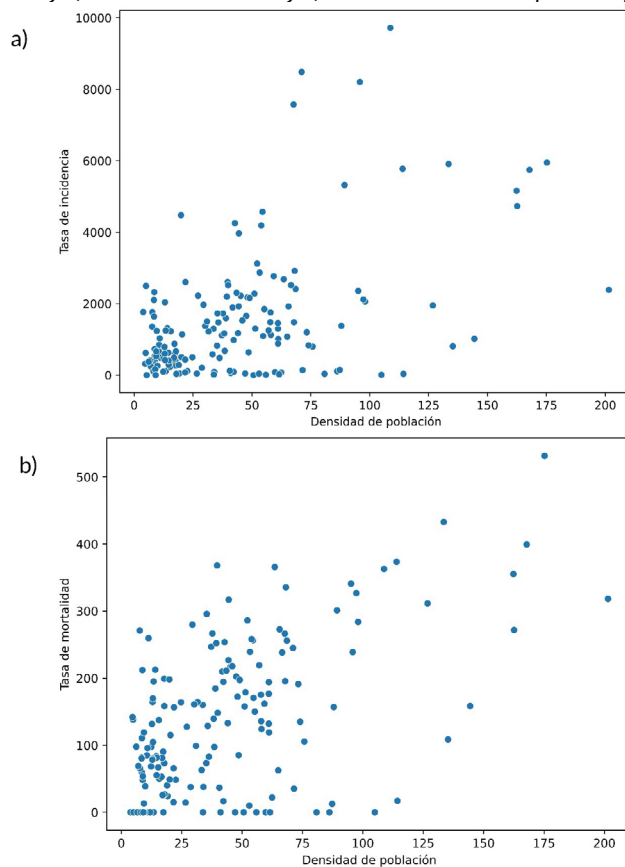
Tabla 19. Coeficientes de correlación de Spearman entre densidad de la superficie municipal habitada y la tasa de incidencia y mortalidad por 100k de COVID-19

Variable Independiente	Mediana en metropolitanos	Mediana en esperanza	Variable dependiente	ρ	p -value	Interpretación
Densidad de la superficie municipal habitada	56.1	15.6	Tasa de incidencia por 100k	0.35669412	9.3891E-07	$0.3 < \rho \leq 0.5$ Hay evidencia de correlación positiva mediana
			Tasa de mortalidad por 100k	0.445856	1.61E-09	$0.3 < \rho \leq 0.5$ Hay evidencia de correlación positiva mediana

Fuente: Elaboración propia, con paquete estadístico SciPy.Stats en lenguaje Python, datos de INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-GeoInt (2020).

Como se observa en la tabla 19 (columnas segunda y tercera), la mediana de la densidad de la superficie municipal habitada es de 56.1 en los municipios metropolitanos y de 15.6 en los de la esperanza o rurales, por lo que en los municipios donde es mayor la densidad de población de la superficie habitada, es decir, en los metropolitanos, será medianamente mayor el riesgo de contagio y un poco más el de defunción. A seguir, a través de los gráficos de dispersión de los rangos de las variables, se visualizan estas correlaciones (figura 7).

Figura 7. Gráfico de dispersión de correlación directa mediana entre la densidad de la superficie urbana habitada y a) la tasa de incidencia y b) la tasa de mortalidad por 100k por COVID-19



Fuente: Elaboración propia, con paquete estadístico SciPy.Stats en lenguaje Python, datos de INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-Geolnt (2020).

Densidad de adultos mayores de 60 años e incidencia y mortalidad del COVID-19

Seguidamente se realizaron las pruebas de correlación con la variable independiente densidad de población de 60 años y más. Para ambas variables dependientes, tasa de incidencia y de mortalidad, hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula $H_0: \rho = 0$ con un nivel de significancia de 95%, pues los valores ρ son muy cercanos a 0 (tabla 20).

Se comprobó la hipótesis alternativa $H_i: \rho \neq 0$ por lo que sí hay evidencia de correlación con ambas variables, dado los valores $\rho = -0.45078258$ y $\rho = -0.48225007$, respectivamente, que se encuentran en el rango de una correlación mediana, sin embargo, ambas negativas (tabla 20). Esto quiere decir que es inversamente proporcional, o sea, que la prueba de correlación detecta que a medida que aumenta la densidad de personas de 60 años y más, disminuye medianamente la tasa de incidencia y de mortalidad, lo que se puede visualizar en los gráficos de dispersión (figura 8).

Tabla 20. Coeficientes de correlación de Spearman entre densidad de población de 60 años y más, y la tasa de incidencia y mortalidad por 100k de COVID-19

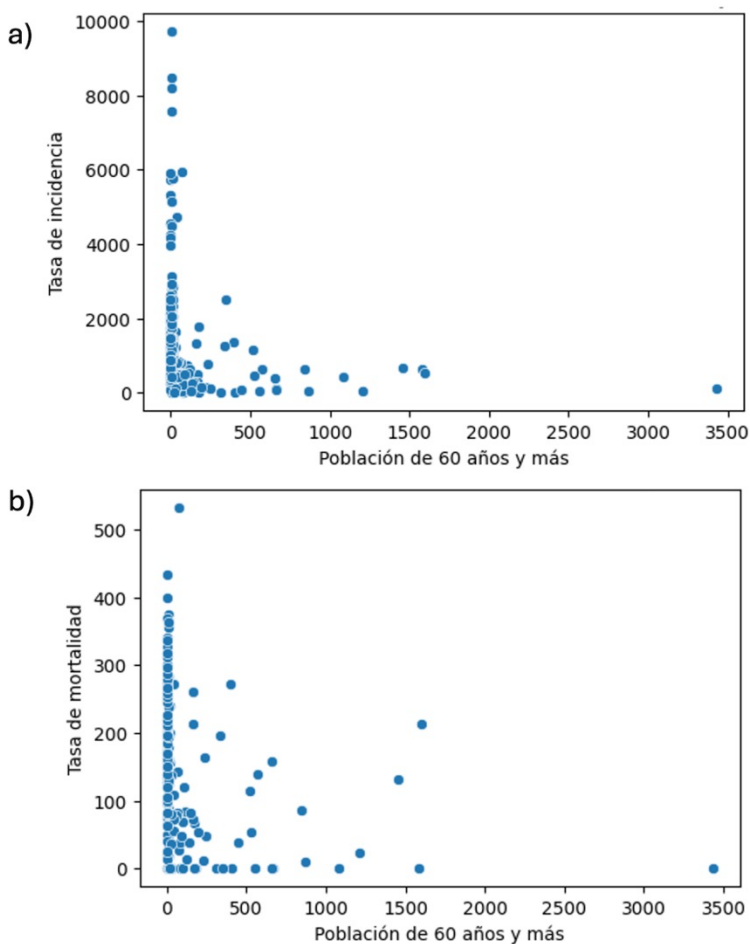
Variable Independiente	Mediana en metropolitanos	Mediana en esperanza	Variable dependiente	ρ	p-value	Interpretación
Densidad de población de 60 años y más	0.3	28.7	Tasa de incidencia por 100k	-0.45078258	2.54923E-11	0.3 < $ \rho $ ≤ 0.5 Hay evidencia de correlación negativa mediana
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.48225007	5.28E-10	0.3 < $ \rho $ ≤ 0.5 Hay evidencia de correlación negativa mediana

Fuente: Elaboración propia, con paquete estadístico SciPy.Stats en lenguaje Python, datos de INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-Geolnt (2020).

Como se observa en las columnas segunda y tercera de la tabla 20, la mediana de la densidad de personas de 60 años y más es de 0.3 en los municipios metropolitanos y de 28.7 en los esperanza, siendo menor en los metropolitanos, donde entonces habrá mayores tasa de incidencia y

mortalidad. Aunque es necesario resaltar que no es evidencia de causalidad, es decir, esto no significa que las personas de la tercera edad no sean un grupo más vulnerable a la enfermedad del COVID-19, sino que hay evidencia de correlación negativa entre el dato analizado a nivel municipal la densidad de personas de 60 años y más y las tasas de incidencia y mortalidad, o sea, que no es una variable predictiva de mayores brotes epidémicos.

Figura 8. Gráfico de dispersión de correlación negativa mediana entre la densidad de personas de 60 años y más y a) la tasa de incidencia y b) la tasa de mortalidad por 100k por COVID-19



Fuente: Elaboración propia, con paquete estadístico SciPy.Stats en lenguaje Python, datos del INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-Geolnt (2020).

Población municipal relativa e incidencia y mortalidad del COVID-19

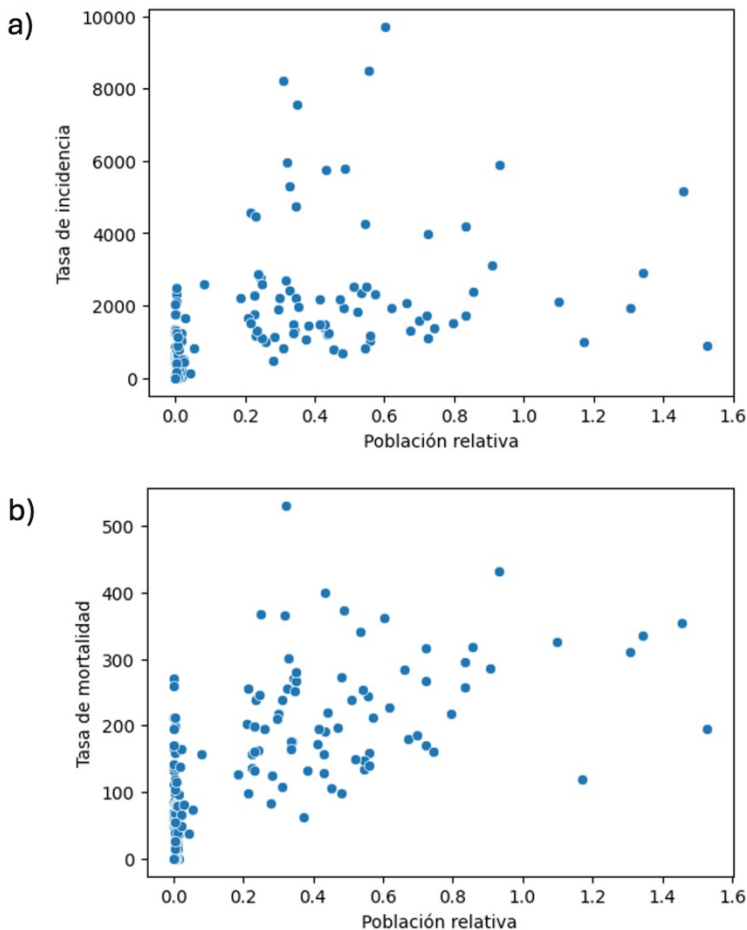
Al aplicar la prueba considerando la población municipal relativa (la proporción entre la población municipal y la nacional) como variable independiente se encontró evidencia de correlación positiva y es fuerte en el rango de $|\rho| > 0.5$ con las tasas de incidencia y mortalidad, siendo $\rho = 0.607232$ y $\rho = 0.6766$, respectivamente, siendo incluso más significativa o fuerte que la correlación con la densidad de la superficie habitada (tabla 21). Este resultado indica que mientras mayor sea la población municipal relativa, mayores serán las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19, y será así en los metropolitanos que presentan 0.43 en comparación con los esperanza de 0.005 (figura 9).

Tabla 21. Coeficientes de correlación de Spearman entre densidad de la población municipal relativa y la tasa de incidencia y mortalidad por 100k de COVID-19

Variable Independiente	Mediana en metropolitanos	Mediana en esperanza	Variable Dependiente	ρ	p-value	Interpretación
Población municipal relativa	0.430	0.005	Tasa de incidencia por 100k	0.607232	5.31E-18	$\rho > 0.5$ Hay evidencia de correlación positiva fuerte
			Tasa de mortalidad por 100k	0.6766	1.98E-23	$ \rho > 0.5$ Hay evidencia de correlación positiva fuerte

Fuente: Elaboración propia, con paquete estadístico SciPy.Stats en lenguaje Python, datos del INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-Geolnt (2020).

Figura 9. Gráfico de dispersión de correlación directa fuerte entre la población municipal relativa y (a) la tasa de incidencia y (b) la tasa de mortalidad por 100k por COVID-19



Fuente: Elaboración propia, con paquete estadístico SciPy.Stats en lenguaje Python, datos del INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-Geolnt (2020).

Superficie habitada relativa e incidencia y mortalidad por COVID-19

La tercera variable independiente incluida en la dimensión demográfica fue la superficie municipal habitada relativa, calculada como la proporción entre la superficie municipal habitada y la superficie nacional en hectáreas,

para cada uno de los 202 municipios estudiados. Al igual que el comportamiento observado con la población municipal relativa, hay evidencia de correlación incluso más fuerte en el rango de $|\rho| > 0.5$, siendo $\rho = 0.649914$ con la tasa de incidencia, y $\rho = 0.681594$ con la tasa de mortalidad, y mostrando un valor superior a la correlación con la densidad de la superficie habitada (tabla 22).

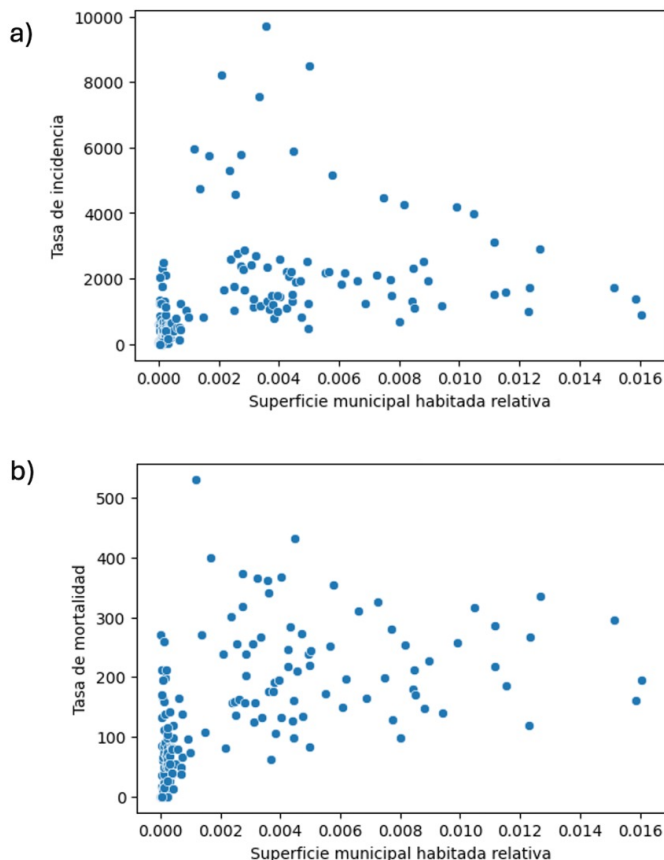
Lo que indica que a mayor superficie municipal habitada relativa mayor será la tasa de incidencia y mortalidad. Observando comparativamente la mediana de la superficie municipal habitada relativa se ubica en 0.0045 en los municipios metropolitanos y en 0.0002 en los municipios de la esperanza. Por lo que se puede predecir que habrá más contagios y fallecimientos en los municipios metropolitanos, donde es mayor la superficie de la mancha urbana. En los gráficos de dispersión se puede visualizar la expresión de esta correlación estadística (figura 10).

Tabla 22. Coeficientes de correlación de Spearman entre la superficie municipal habitada relativa y la tasa de incidencia y mortalidad por 100k de COVID-19

Variable Independiente	Mediana en metropolitanos	Mediana en esperanza	Variable Dependiente	ρ	p-value	Interpretación
Superficie municipal habitada relativa	0.0045	0.0002	Tasa de incidencia por 100k	0.649914	3.57E-21	$ \rho > 0.5$ Hay evidencia de correlación positiva fuerte
			Tasa de mortalidad por 100k	0.681594	7.05E-24	$ \rho > 0.5$ Hay evidencia de correlación positiva fuerte

Fuente: Elaboración propia, con paquete estadístico SciPy.Stats en lenguaje Python, datos del INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-Geolnt (2020).

Figura 10. Gráfico de dispersión de correlación directa fuerte entre la superficie municipal habitada relativa y (a) la tasa de incidencia y (b) la tasa de mortalidad por 100k por COVID-19



Fuente: Elaboración propia, con paquete estadístico SciPy.Stats en lenguaje Python, datos del INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-Geolnt (2020).

Cartografía de distribución de estas variables en el territorio nacional

Considerando los resultados antes expuestos, se encontró evidencias de correlación positiva con todas las variables demográficas analizadas, excepto la densidad de población con 60 años y más, que indican en orden de importancia que las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 serán mayores

de forma significativa fuerte mientras mayor sea la superficie municipal habitada relativa y la población municipal relativa, y de forma moderada mientras mayor sea la densidad de la superficie municipal habitada.

Con el propósito de apreciar la distribución de estas variables en el territorio nacional, se exploró la cartografía utilizando las medianas por tipo de municipio (metropolitanos y de la esperanza), mostrando aquellos con valores superiores o inferiores de las variables independientes y dependientes estudiadas (tabla 23).

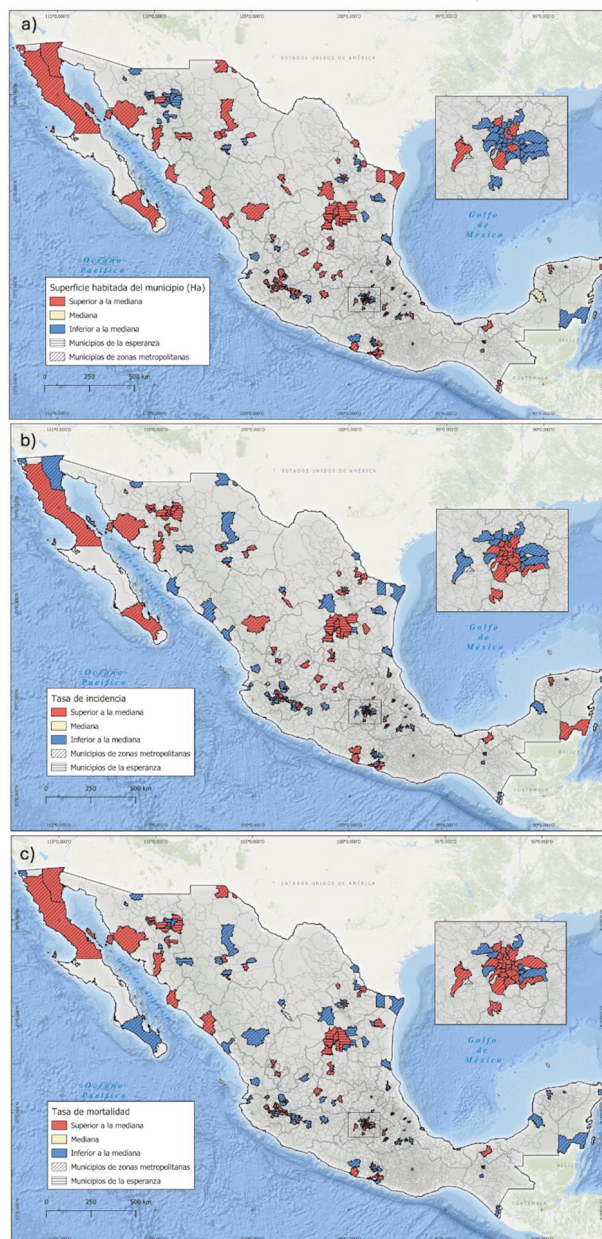
Tabla 23. *Medianas por tipo de municipio de las tasas de incidencia y mortalidad y de la superficie municipal habitada, población municipal y densidad de la superficie habitada*

<i>Clasificación de municipio</i>	<i>Tasa de incidencia por 100k</i>	<i>Tasa de mortalidad por 100k</i>	<i>Mediana de la superficie municipal habitada relativa</i>	<i>Mediana de población municipal</i>	<i>Mediana de la densidad de la superficie municipal habitada</i>
Metropolitanos	1 923.06	211.14	8 729.68	541 979.00	56.09
De la esperanza	395.67	52.92	319.47	6 041.00	15.55

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-Centro-Geo-Geolnt (2020).

La expresión de la mediana de superficie habitada (figura 11a) muestra la distribución de la superficie habitada al interior de los límites municipales. La mayoría de los municipios por encima de la mediana se localizan en la parte norte del territorio nacional. Esto refleja un patrón de ocupación posiblemente asociado a procesos de expansión urbana que coincide en buena medida con los municipios con densidades inferiores a la mediana (figura 13a), también localizados en la parte norte del país; mientras los municipios por debajo de la mediana se localizan alrededor de las principales zonas metropolitanas del centro y norte del país.

Figura 11. Superficie habitada municipal y tasas de incidencia y mortalidad superiores e inferiores a la mediana por tipo de municipios metropolitanos y de la esperanza



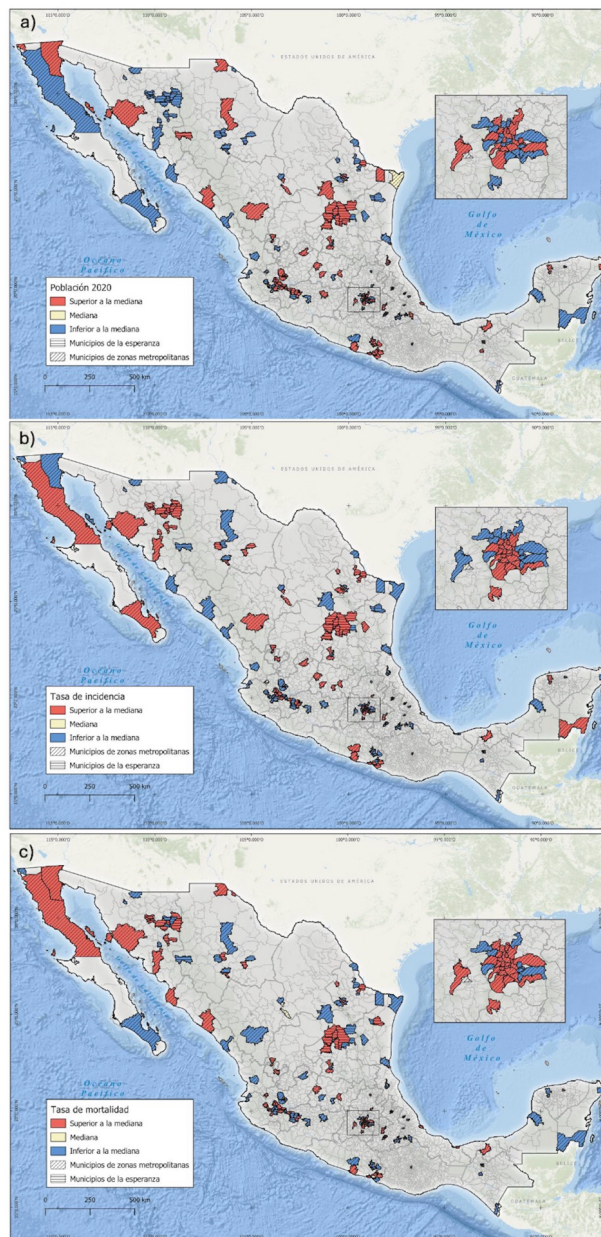
Nota: (a) Superficie habitada municipal; (b) Tasa de incidencia por COVID-19; (c) Tasa de mortalidad por COVID-19.
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020 y 2021).

El contraste con las medianas de las tasas de incidencia (figura 11b) y de mortalidad (figura 11c) permite visualizar coincidencia en la distribución espacial, dado que las mismas están por encima de la mediana en algunos municipios que también presentan superficies relativas superiores a la mediana. Observando que varios de ellos son parte de las aglomeraciones metropolitanas de la Ciudad de México, Monterrey, Ciudad Juárez, Mexicali, Hermosillo, Culiacán, Ahome, además de Ensenada, La Paz, Fresnillo, y otros municipios localizados en Sonora, que también muestran este comportamiento.

Prosiguiendo con la segunda variable independiente de mayor peso predictivo, la población municipal relativa, se observa que se distribuye de forma heterogénea en todo el país (figura 12a), advirtiéndose una ligera concentración de valores superiores a la mediana en la porción centro norte del país e inferiores a la mediana en las franjas oriental y occidental del territorio nacional, siendo destacables con poblaciones superiores a la mediana de su tipo varios municipios que son partes de zonas metropolitanas como aquellos que integran la Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara, Hermosillo y los fronterizos de Ciudad Juárez, Mexicali, Reynosa, así como Fresnillo.

Al confrontar la población municipal con las tasas de incidencia (figura 12b) y de mortalidad (figura 12c), se observa coincidencia en la distribución espacial de valores superiores a la mediana de la incidencia del COVID-19 en varios municipios que son parte de las aglomeraciones metropolitanas, repitiéndose el caso de la Ciudad de México, de Monterrey, Hermosillo, así como Fresnillo y otros del estado de Sonora. Y en cuanto a aquellos con tasas de mortalidad superiores a la mediana, la Ciudad de México, Monterrey, Ciudad Juárez, Mexicali, Hermosillo, Culiacán, Ahome, además de Ensenada, La Paz, Fresnillo, y otros municipios localizados en Sonora, que también muestran este comportamiento.

Figura 12. Población municipal y tasas de incidencia y mortalidad superiores e inferiores a la mediana por tipo de municipios metropolitanos y de la esperanza



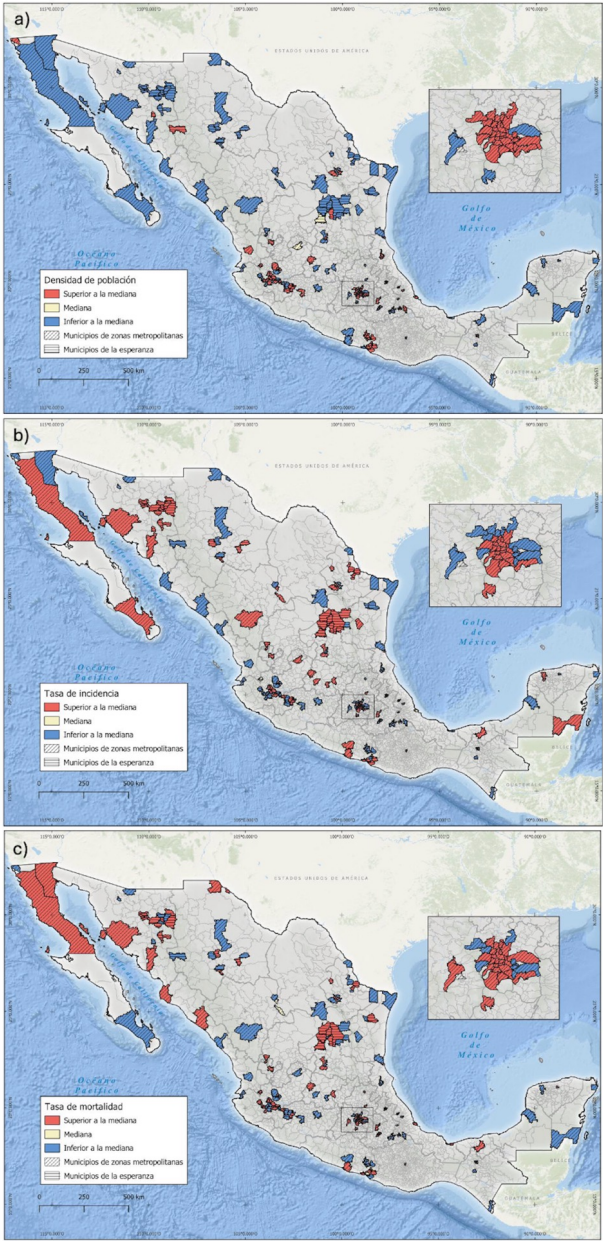
Nota: (a) Población municipal; (b) Tasa de incidencia por COVID-19; (c) Tasa de mortalidad por COVID-19.
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020, 2021).

En cuanto a la tercera variable independiente que muestra correlación positiva, pero moderada, la densidad de la superficie municipal habitada (figura 13a), se observa que la mediana se presenta en municipios de los estados de San Luis Potosí y Jalisco. La mayoría de ambos tipos (metropolitanos y esperanza) con densidades inferiores a la mediana se distribuyen por lo general en los estados del norte y sureste del país; mientras que aquellos superiores a la mediana se localizan principalmente en la zona central del territorio nacional y asociados a las zonas metropolitanas de la Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara y Tijuana.

El contraste con las medianas de las tasas de incidencia por COVID-19 permite observar valores superiores en las aglomeraciones de municipios metropolitanos como la Ciudad de México (figura 13b, véase acercamiento), expresando coincidencia con la densidad. Entre tanto, también se observa cómo varios municipios, que se ubican debajo de la mediana en densidad, están por encima en la tasa de incidencia, como es el caso de algunos de zonas metropolitanas de Monterrey, Hermosillo, San Luis Potosí, además de Ensenada, La Paz, Fresnillo, Othón P. Blanco y otros municipios localizados en Sonora, que también muestran este comportamiento.

En la confrontación con las tasas de mortalidad, se distribuyen también de manera heterogénea en el país, con valores superiores a la mediana en municipios de zonas metropolitanas, con destaque nuevamente para la Ciudad de México (figura 13c, acercamiento), expresando correlación indicativa de que una mayor densidad implica mayores tasas de mortalidad. Sin embargo, también es posible visualizar municipios que se ubican por debajo de la mediana de la densidad de la superficie municipal habitada, donde se registraron tasas de mortalidad superiores a la mediana, tal es el caso de varios de las zonas metropolitanas de Monterrey, Ciudad Juárez, Mexicali, Hermosillo, Culiacán, Ahome, así como Ensenada.

Figura 13. *Densidad de la superficie municipal habitada y tasas de incidencia y mortalidad superiores e inferiores a la mediana por tipo de municipios metropolitanos y de la esperanza*



Nota: (a) Densidad de la superficie municipal habitada; (b) Tasa de incidencia por COVID-19; (c) Tasa de mortalidad por COVID-19.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020, 2021).

Lo que coincide con el resultado presentando en el capítulo anterior, indicativo de que los municipios de baja densidad o en este caso con densidades inferiores a la mediana, no están exentos de presentar tasas de incidencia y mortalidad superiores a la mediana. De suerte que la densidad no explica en todos los casos el patrón de distribución de los contagios y muertes por COVID-19; siendo aún más significativas las variables de superficie municipal habitada relativa y población municipal relativa, para predecir el comportamiento de la enfermedad. Por lo que sería oportuno tener datos estadísticos precisos de estas variables para todos los municipios mexicanos, que en conjunto pueden ofrecer una predicción más certera que coadyuve a fortalecer la capacidad de respuesta rápida y oportuna de los protocolos sanitarios y políticas de salud pública.

Densidad y COVID-19 ¿ciudades saludables compactas en-pandemia?

El estudio de la relación entre la densidad de población y el COVID-19 surgió del interés en comprobar la validez del cuestionamiento de la sustentabilidad de la “ciudad compacta” ante futuros eventos pandémicos, como agravante de la pandemia, tanto en contagios como en muertes. Sin embargo, a través de las pruebas de correlación estadística presentadas en este capítulo, comprobamos que, aunque sí existe evidencia de una correlación positiva mediana en el rango de 0.35 y 0.44 con las tasas de incidencia y mortalidad, respectivamente, se trata de una correlación moderada. Siendo más significativas las correlaciones directas fuertes con la superficie municipal habitada relativa de 0.65 y 0.68, así como con la población municipal relativa de 0.60 y 0.67. Ello explica por qué aún en los municipios de baja densidad, como es el caso de Juárez, se presentaron tasas de mortalidad superiores a la mediana, pues el mismo presenta la mayor superficie habitada municipal entre los estudiados. Lo que indica que la extensión descontrolada de las manchas urbanas, incrementa el riesgo de fallecimiento por COVID-19 de las poblaciones.

A continuación se contrastan estos resultados con los obtenidos por los estudios previos presentados en la introducción, aunque se declara que no

se pretende establecer una comparación, dado que corresponden a distintos países con características diferentes en lo relativo a población vulnerable, sistemas urbanos, capacidades hospitalarias, realización de pruebas, población inmunizada y se desarrollaron con datos de distintos periodos epidémicos y otras pruebas.

Considerando lo anterior, podemos señalar que el resultado coincide con aquellos que han detectado una correlación entre densidad de población y la propagación del COVID-19. El resultado es similar al del estudio previo de Bhadra et al. (2020, p. 623) que identificó una asociación moderada entre la tasa propagación del COVID-19 y la densidad poblacional; pues encontramos evidencia de una correlación estadística positiva mediana entre la densidad de la superficie habitada y las tasas de incidencia 0.35 cada 100k habitantes. Aunque no se identifica una asociación fuerte como la identificada por Wong & Li (2020, p. 1) que señalan una correlación fuerte (57%) entre la densidad de población y casos acumulados.

Por otro lado, la identificación en nuestra investigación de municipios de baja densidad en el listado de los que presentan tasas de incidencia y mortalidad por encima de la mediana (véase el capítulo 2) tiene un punto de coincidencia con los resultados obtenidos por Khavarian-Garmsir et al. (2021, p. 1), que apuntan que por sí sola la densidad de población no explica el patrón de distribución de los casos confirmados de COVID-19 y las muertes.

La comprobación de la existencia de una correlación entre dos variables no implica una relación de causalidad que explique el fenómeno de propagación, ni las muertes. Pero sí puede interpretarse como un predictor de la carga de la enfermedad, pues se comprueba estadísticamente que existe una correlación directa mediana entre las variables. Con lo cual podemos concluir que existe evidencia de que a mayor densidad de población serán medianamente mayor las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19, por lo que se puede predecir que los habitantes de las localidades más densas estarán expuestos a un riesgo medianamente mayor de contagio y fallecimiento por la enfermedad. Pero así también lo estarán los habitantes de las localidades muy extensas o muy pobladas, aunque sean de baja densidad.

Retomando la reflexión sobre el cuestionamiento de la ciudad compac-

ta, es importante matizar que en el caso de las tasas de incidencia y mortalidad por 100k se detectaron valores por encima de la mediana no sólo en localidades de mayor densidad, sino también en muchas de baja densidad o inferior a la mediana. Lo que indica que la densidad de población *per se* no explica del todo el comportamiento de dichas tasas y por tanto tiene un valor predictivo mediano.

Por lo anterior, se coincide con Hamidi et al. (2020, p. 506) en lo relativo a señalar que, dado que las pandemias son mortales también en desarrollos de baja densidad, no hay suficiente evidencia para abandonar los beneficios de la ciudad compacta: “Our findings suggest that planners should continue to practice and advocate for compact places rather than sprawling ones due to several environmental, transportation, health, and economic benefits of compact development” (p. 506).

Sostenemos que aún y cuando se detecta una correlación moderada en las ciudades de mayor densidad, no se invalidan los beneficios de la ciudad compacta en términos económicos, ambientales, de interacción social, conectividad y acceso a los beneficios de la urbanización. Aunque la detección de riesgos diferenciados de acuerdo con la clasificación por tipo de asentamiento (metropolitanos y rurales) y por rango de densidad, exige el planteamiento de políticas de salud pública diferenciadas en la misma medida, que sean capaces de responder y mitigar el riesgo mayor al que están expuestos los habitantes de los municipios metropolitanos más densos, desde una perspectiva de ciudades saludables en-pandemia.

Es relevante traer al debate la reciente publicación de ONU-Hábitat, *Densidad urbana y pandemia ¿Es la densidad de las ciudades un factor en el aumento de las tasas de infección y mortalidad por COVID-19?* (ONU-Hábitat, 2023), donde se informa que la revisión a nivel mundial de la relación entre las tasas de infección y densidad no arroja evidencia de una relación directa: “Una rápida comparación de las ciudades a nivel mundial en relación con las tasas de infección por COVID-19 no revela ninguna relación directa entre las tasas de infección por COVID-19 y la densidad de población” (párr. 7).

Sin embargo, en nuestra investigación sí se encontró evidencia de correlación directa mediana, que también fue identificada desde otros países por Bhadra et al. (2020) y Wong & Li (2020). En consecuencia, ONU-Hábi-

tat defiende una “densidad adecuada” de 15 000 personas por km², que equivale a 150 hab/ha, lo que significa apostar por un rango de densidad urbana media que se ubica entre 112-219 hab/ha, como se explicó en la introducción:

Para promover una densidad adecuada de población —y detener la tendencia de la expansión urbana en todo el mundo—, ONU-Hábitat recomienda un mínimo de 15 000 personas por kilómetro cuadrado. Aunque esta densidad puede tomar varias formas, dichas densidades deben estar bien diseñadas y planificadas para evitar un posible hacinamiento. (ONU-Habitat, 2023, párr. 3)

Pero de acuerdo con nuestros resultados, justamente el rango de densidad media corresponde al de los municipios más densos analizados en México, que sí presentaron en su gran mayoría tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 superiores a la mediana (véanse las tablas 13 y 14). Por lo anterior, argumentamos que es necesario tener en cuenta no sólo el rango de densidad, sino además ponderar si se trata de municipios que integran zonas metropolitanas, así como el tamaño de la superficie municipal habitada y de la población municipal.

Recordamos que, de acuerdo con los resultados presentados en el capítulo 2, se detectó que en los municipios metropolitanos la población tiene cuatro veces mayor riesgo de contagio y casi seis veces mayor riesgo de muerte, que en los rurales, y que considerando el conjunto, en aquellos de densidad media existe el doble de riesgo de contagio y fallecimiento que en los de baja densidad. Por lo cual, sostenemos que no es suficiente con plantear un rango de densidad adecuada, sino que debe reconocerse el riesgo diferenciado de las poblaciones de zonas metropolitanas con densidades medias o superiores y de localidades con manchas urbanas muy extensas, y abogar por una perspectiva de ciudades saludables en-pandemia integral que no se limite a la densidad, sino que considere todos los factores de riesgo, como el tamaño de la mancha urbana y de la población.

Por tanto, aunque se coincide en que no es válido abandonar los beneficios de la ciudad compacta para optar por la baja densidad, además se argumenta que los habitantes de las zonas metropolitanas tienen un mayor riesgo de contagio y defunción, por lo que requieren políticas de salud pú-

blica y de planeación metropolitana que mitiguen el riesgo y que garanticen que dichos habitantes cuentan con los medios para la promoción de la salud y la adecuada cobertura de infraestructura y equipamiento.

En ese sentido, aunque se menciona que: “La densidad de las ciudades no fue el factor decisivo en el aumento de las tasas de infección y mortalidad por COVID-19” (ONU-Hábitat, 2023, párr.1). Se coincide con lo señalado en seguida: “Más bien, el acceso a los servicios, la demografía, las condiciones de salud preexistentes, la infraestructura social y las medidas de respuesta oportuna determinan la escala y el impacto de la pandemia” (párr.1)

Aunque se defiende el papel que juegan en la generación de riqueza, señalando “que las ciudades más densas también eran más ricas, lo que les permitía canalizar recursos considerables para responder a la pandemia y así reducir sus tasas de infección” (ONU-Hábitat, 2023, párr. 9). Se advierte que quizá ese no es necesariamente el caso en los países en desarrollo donde se pueden presentar áreas marginales de alta densidad que concentran familias de bajos ingresos.

Por lo que, más allá de seguir una receta de densidad, es necesario estudiar en mayor profundidad si hubo un comportamiento y riesgo diferenciado en países desarrollados y en vías de desarrollo, por tipo de asentamiento, como las zonas metropolitanas, y derivado de otros atributos urbanos que deben entenderse para impulsar y promover “zonas metropolitanas saludables en-pandemia”, y garantizar la respuesta oportuna en emergencias sanitarias.

Desde el caso de las ciudades mexicanas, los resultados obtenidos permiten sostener que la perspectiva de las ciudades saludables en-pandemia requiere un abordaje integral de salud pública y planeación urbana, que priorice la mitigación del riesgo mayor de contagio y defunción por COVID-19 en las zonas metropolitanas, donde habita más de la mitad de la población nacional y se concentra la actividad económica representativa del 71.6 % del producto interno bruto (PIB) nacional (Consejo Nacional de Población [Conapo], 2024, p. 112).

Se requieren políticas de salud pública diferenciadas y sensibles a las jerarquías del sistema urbano nacional, que fortalezcan los modelos de alerta epidemiológica, los protocolos de respuesta oportuna, las capacidades

hospitalarias y de inmunización de las zonas metropolitanas. Asimismo, instrumentos de planificación urbana metropolitana orientados a la salud pública, que no abandonen la ciudad compacta, pero desde la promoción de la salud, apostando por una “ciudad compacta saludable” consciente de los riesgos, donde se garantice el acceso a los medios para la protección de la salud de los habitantes ante futuras pandemias.

4. COVID-19 y otras densidades de atributos urbanos

Además de las variables demográficas, se encontró que varios investigadores recomiendan estudiar otras variables explicativas predictoras de los impactos del COVID-19 como la conectividad y el subsistema de movilidad (Carozzi et al., 2020, p. 3), así como las características del vecindario y de la vivienda (Lai et al., 2020, pp. 27-29). Por ello, como ya se explicó, se amplió el objetivo inicial, incluyendo el estudio de otros atributos urbanos que pudieran estar correlacionados con una mayor carga de la enfermedad y fallecimientos, y con ello robustecer la reflexión sobre la planeación urbana de las ciudades saludables en-pandemia.

Por lo anterior y en aras de un abordaje orientado hacia la comprensión del carácter complejo y las lógicas sistémicas, en este capítulo se amplía el estudio de correlación hacia otras características que pueden ser diferenciadas entre los municipios urbanos y rurales. Las variables dependientes continúan siendo la tasa de incidencia y la tasa de mortalidad por 100k de COVID-19, pero las variables independientes (explicativas) son ahora diversos atributos urbanos que se relativizan en función de su densidad por hectárea. Así, se estudia de un modo más profundo cómo la densidad urbana afectó el comportamiento del COVID-19 en los municipios mexicanos, al incluir además de densidad de población, otras 31 variables que miden tipos de densidad, organizados en cinco dimensiones (véase la tabla 1).

Además de la dimensión demográfica examinada en el capítulo anterior, se presentan resultados relativos al estudio de la dimensión de condiciones de vivienda e higiene, observando 13 tipos de densidades: (a) de

viviendas habitadas, (b) de viviendas que tienen uno, dos, tres y más cuartos, (c) densidad de viviendas que disponen y (e) no de energía eléctrica, (f) de viviendas que disponen y (g) no de agua entubada, (h) de viviendas que disponen y (i) no de drenaje, (j) de viviendas que disponen y (k) no de energía eléctrica, (l) agua entubada y (m) drenaje y (n) densidad de asilos (véase la tabla 1).

También, de la dimensión de establecimientos de comercio y empleo se analizan siete tipos de densidad por hectárea: (a) de comedores comunitarios, (b) de alojamiento, (c) de bares, (d) de restaurantes, (e) de comercio al mayoreo, (f) de gimnasios, y (g) de industria manufacturera. Asimismo, desde la dimensión de establecimientos de atención sanitaria, otros tres tipos: (a) densidad de hospitales, (b) de clínicas, y (c) de laboratorios. Por último, de la dimensión de movilidad y conectividad, siete tipos de densidad: (a) de carreteras, (b) de aeropuertos, (c) de estaciones de ferrocarril, (d) de puertos fronterizos, (e) de puertos marítimos, (f) de transporte foráneo, (g) de transporte público urbano (tabla 1). Recordando que no se incluyeron variables independientes de los establecimientos del sistema educativo porque se encontraban cerrados durante el primer año de pandemia.

En otras palabras, se analiza qué relación podría guardar la incidencia y mortalidad del COVID-19 con atributos urbanos transformados en densidad, vinculados a variables demográficas y de extensión de la mancha urbana, a características de la vivienda y su infraestructura básica de sanidad, a los establecimientos comerciales, de servicios, industriales y de salud, así como a la cobertura de los distintos tipos de movilidad.

Procedimiento para la prueba de correlación con atributos urbanos

Para realizar las pruebas de correlación se siguió el mismo procedimiento metodológico utilizado en el capítulo anterior (véase el capítulo 3, apartado: “Procedimiento metodológico para la prueba de correlación”), utilizando igualmente el paquete estadístico Scipy.Stats en lenguaje Python para cal-

cular todas las pruebas requeridas de normalidad, de correlación y su visualización.

Primeramente, se evaluó la distribución normal de las variables examinadas, aplicando la prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov (K-S). Las variables dependientes ya habían sido analizadas en el capítulo previo (véase tabla 16). Eligiendo un nivel de significancia de 0.05, la prueba arrojó mucha evidencia en contra de la hipótesis nula $H_0: X_i \sim N(\mu, \sigma^2)$ en todas las 31 variables independientes incluidas en el análisis de este capítulo, ninguna exhibe una distribución normal (tabla 24).

Para el cálculo del coeficiente de correlación de Spearman se consideró la misma fórmula, nivel de significación e hipótesis que en el capítulo anterior: hipótesis nula $H_0: \rho = 0$, indica que no hay correlación, y como hipótesis alternativa $H_i: \rho \neq 0$, hay correlación. Se integró la base de datos incluyendo las 31 variables independientes para los 202 municipios estudiados.

COVID-19 y otros tipos de densidades urbanas

Densidad de tipos de vivienda y condiciones de higiene y COVID-19

En esta dimensión se buscó examinar posibles correlaciones con características de la vivienda como son el número de cuartos, que pudieran ser indicativos de hacinamiento y mayor riesgo de contagio, además de los asilos por considerarlos también una forma de espacio habitable donde pudiera presentarse aglomeración de personas. Se analizaron posibles correlaciones con características de la infraestructura básica de las viviendas, considerando que el acceso a condiciones adecuadas de saneamiento fue uno de los principios básicos del urbanismo higienista de inicios del siglo xx, y del paradigma actual de ciudades saludables.

Se relativizaron los datos de conteo transformando las variables en densidad, calculada como el número del conteo por hectárea de superficie municipal habitada. Así, se determinó la densidad de viviendas que disponen de energía eléctrica y que carecen de energía eléctrica; que disponen de agua

Tabla 24. Resultados de la prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov (K-S) de las variables independientes

Dimensiones	Variable independiente	Estadístico de la prueba K-S	Valor p
Dimensión de condiciones de vivienda e higiene	Densidad de viviendas habitadas	0.66767558	2.96883151E-89
	Densidad de viviendas que tienen un cuarto	0.50012474	3.01383563E-47
	Densidad de viviendas que tiene dos cuartos	0.50030550	2.77279507E-47
	Densidad de viviendas que tienen tres y más cuartos	0.65563936	1.38782929E-85
	Densidad de viviendas que disponen de energía eléctrica	0.66757472	3.19035867E-89
	Densidad de viviendas que no disponen de energía eléctrica	0.45049505	6.15825846E-38
	Densidad de viviendas que disponen de agua entubada	0.66757206	3.19640740E-89
	Densidad de viviendas que no disponen de agua entubada	0.45544554	8.23331063E-39
	Densidad de viviendas que disponen de drenaje	0.65751383	3.79023697E-86
	Densidad de viviendas que no disponen de drenaje	0.48019802	2.32339521E-43
Dimensión de establecimientos de comercio y empleo	Densidad de viviendas que disponen de energía eléctrica, agua entubada y drenaje	0.65749370	3.84357161E-86
	Densidad de viviendas que no disponen de energía eléctrica, agua entubada, drenaje	0.35148515	8.07105733E-23
	Densidad de asilos	0.50000000	3.19221904E-47
	Densidad de comedores comunitarios	0.50000000	3.19221904E-47
	Densidad de alojamiento	0.50000000	3.19221904E-47
	Densidad de bares	0.50000000	3.19221904E-47
	Densidad de restaurantes	0.50000000	3.19221904E-47
	Densidad de comercio al mayoreo	0.50000000	3.19221904E-47
	Densidad de gimnasios	0.50000000	3.19221904E-47
	Densidad de industria manufacturera	0.50000000	3.19221904E-47

Dimensión de establecimientos de atención sanitaria	Densidad de hospitales	0.50000000	3.19221904E-47
	Densidad de clínicas	0.50000000	3.19221904E-47
	Densidad de laboratorios	0.50000000	3.19221904E-47
Dimensión de carreteras y tipos de movilidad	Densidad de carreteras	0.50000000	3.19221904E-47
	Densidad de aeropuertos	0.50000000	3.19221904E-47
	Densidad de estaciones de ferrocarril	0.50000000	3.19221904E-47
	Densidad de puertos fronterizos	0.50000000	3.19221904E-47
	Densidad de puertos marítimos	0.50000000	3.19221904E-47
	Densidad de transporte foráneo	0.50000000	3.19221904E-47
	Densidad de transporte público urbano	0.50000000	3.19221904E-47

Fuente: Elaboración propia con paquete estadístico SciPyStats en Python, datos de INEGI (2020, 2021 y 2021b) Gobierno de México-Conahcyt-Centro-Geo-Geolnt (2020).

entubada en el ámbito de la vivienda y que no disponen de agua entubada; que disponen de drenaje y que no disponen, que disponen de energía eléctrica, agua entubada y drenaje y que no cuentan con ello, así como la densidad de asilos.

El análisis arrojó como resultado que todas las variables del grupo exhiben correlaciones negativas frente a las dos variables dependientes (tabla 25), quedando todos los valores negativos. Sólo se identificó una variable, la densidad de asilos en el rango $0.1 < |\rho| \leq 0.3$ indicativo de una correlación baja. Seguidamente, en el rango de una correlación mediana negativa $0.3 < |\rho| \leq 0.5$, tanto para la tasa de incidencia como de mortalidad, quedaron la densidad de viviendas habitadas, la densidad de viviendas que tienen tres y más cuartos, la densidad de viviendas que disponen de energía eléctrica, la densidad de viviendas que disponen de agua entubada, la densidad de viviendas que disponen de drenaje, la densidad de viviendas que disponen de energía eléctrica, agua entubada y drenaje y la densidad de viviendas que no disponen de energía eléctrica, agua entubada, drenaje sólo para la tasa de incidencia.

Por último, hay evidencias de una correlación negativa fuerte con el comportamiento del COVID-19 con las siguientes: densidad de viviendas que tienen un cuarto, densidad de viviendas que tiene dos cuartos, densidad de viviendas que no disponen de energía eléctrica, densidad de viviendas que no disponen de agua entubada, densidad de viviendas que no disponen de drenaje y densidad de viviendas que no disponen de energía eléctrica, agua entubada, drenaje sólo para la tasa de mortalidad. En todos estos valores negativos la prueba indica que a medida que aumenta la densidad de la variable independiente, disminuye la tasa de incidencia y mortalidad. Si se observa la tabla 25 (segunda y tercera columnas), la mediana de la densidad de todos estos atributos es mayor en los municipios de la esperanza, por tanto en ellos habrá menor tasa de incidencia y mortalidad. Mientras que al ser menor la mediana de las densidades en los municipios metropolitanos, en ellos se puede predecir que habrá mayor tasa de incidencia y mortalidad por COVID-19.

Resulta curiosa la diferencia urbano-territorial entre municipios metropolitanos y rurales, dado que, de modo contrario a lo que se podría suponer, los indicadores de densidad son mayores en los municipios rurales dadas

Tabla 25. Coeficientes de correlación de Spearman entre la densidad de atributos de tipos de vivienda y las tasas de incidencia y mortalidad por 100k de COVID-19

Dimensión de condiciones de vivienda e higiene						
Variable Independiente	Mediana en metropolitanos	Mediana en esperanza	Variable Dependiente	ρ	p-value	Interpretación
Densidad de viviendas habitadas	0.42	64.69	Tasa de incidencia por 100k	-0.46876	2.15281600E-10	$0.3 < \rho \leq 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa mediana
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.459653	5.27973500E-10	$0.3 < \rho \leq 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa mediana
Densidad de viviendas que tienen un cuarto	0.03	3.66	Tasa de incidencia por 100k	-0.504587	4.83273200E-12	$ \rho > 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa fuerte
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.509711	2.70615800E-12	$ \rho > 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa fuerte
Densidad de viviendas que tiene dos cuartos	0.09	10.51	Tasa de incidencia por 100k	-0.518371	9.93225100E-13	$ \rho > 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa fuerte
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.521235	7.08474200E-13	$ \rho > 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa fuerte
Densidad de viviendas que tienen tres y más cuartos	0.29	45.01	Tasa de incidencia por 100k	-0.448934	1.46781400E-09	$0.3 < \rho \leq 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa mediana
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.433362	6.09562400E-09	$0.3 < \rho \leq 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa mediana
Densidad de viviendas que disponen de energía eléctrica	0.41	63.24	Tasa de incidencia por 100k	-0.466889	2.59414900E-10	$0.3 < \rho \leq 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa mediana
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.4566	7.08982600E-10	$0.3 < \rho \leq 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa mediana
Densidad de viviendas que no disponen de energía eléctrica	0.01	0.34	Tasa de incidencia por 100k	-0.556026	8.98245000E-15	$ \rho > 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa fuerte
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.590481	6.98434200E-17	$ \rho > 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa fuerte

Densidad de viviendas que disponen de agua entubada	0.41	62.67	Tasa de incidencia por 100k	-0.463618	3.58422500E-10	$0.3 < \rho \leq 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa mediana
Densidad de viviendas que no disponen de agua entubada	0.02	0.76	Tasa de mortalidad por 100k	-0.451157	1.19085700E-09	$0.3 < \rho \leq 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa mediana
Densidad de viviendas que disponen de drenaje	0.33	62.29	Tasa de incidencia por 100k	-0.524444	4.83404300E-13	$ \rho > 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa fuerte
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.553589	1.24031200E-14	$ \rho > 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa fuerte
			Tasa de incidencia por 100k	-0.440965	3.06900100E-09	$0.3 < \rho \leq 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa mediana
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.427996	9.79435600E-09	$0.3 < \rho \leq 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa mediana
Densidad de viviendas que no disponen de drenaje	0.03	1.01	Tasa de incidencia por 100k	-0.548184	2.51316900E-14	$ \rho > 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa fuerte
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.582608	2.22893900E-16	$ \rho > 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa fuerte
Densidad de viviendas que disponen de energía eléctrica, agua entubada y drenaje	0.33	59.82	Tasa de incidencia por 100k	-0.438341	3.89678700E-09	$0.3 < \rho \leq 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa mediana
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.423994	1.38756200E-08	$0.3 < \rho \leq 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa mediana
Densidad de viviendas que no disponen de energía eléctrica, agua entubada, drenaje	0.00	0.05	Tasa de incidencia por 100k	-0.480191	6.72290700E-11	$0.3 < \rho \leq 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa mediana
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.524457	4.82676000E-13	$ \rho > 0.5$ Hay evidencia de correlación negativa fuerte
Densidad de asilos	0.00	0.00	Tasa de incidencia por 100k	-0.235511	2.32570600E-03	$0.1 < \rho \leq 0.3$ Hay correlación negativa baja
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.200533	9.80603100E-03	$0.1 < \rho \leq 0.3$ Hay correlación negativa baja

Fuente: Elaboración propia, con paquete estadístico SciPyStats en Python, datos de INEGI (2020 y 2021). Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-Geolnt (2020) y INEGI (2021).

las pequeñas dimensiones de superficie habitada en comparación con los metropolitanos. Es destacable que en los municipios de la esperanza es mayor la densidad de viviendas sin electricidad, agua, drenaje; lo que resulta preocupante en términos sanitarios y desde su connotación como asentamientos “de la esperanza”, dado que estas carencias pueden afectar la salud de la población de otras formas.

Por lo que en el caso de los municipios mexicanos adquieren valor significativo fuerte las variables que muestran una correlación negativa fuerte, y que indican que, estadísticamente, mientras menor sean la densidad de viviendas que tienen un cuarto (figura 14 a, b), que tiene dos cuartos (figura 14 c, d), que no disponen de energía eléctrica (figura 14 e, f), ni de agua dentro de la vivienda (figura 14 g, h), ni disponen de drenaje (figura 14 i, j) o ninguno de los tres; mayores serán las tasas de incidencia y mortalidad municipal. Las mismas se ilustran a través de los gráficos de dispersión de las seis variables que están correlacionadas significativamente (figura 14).

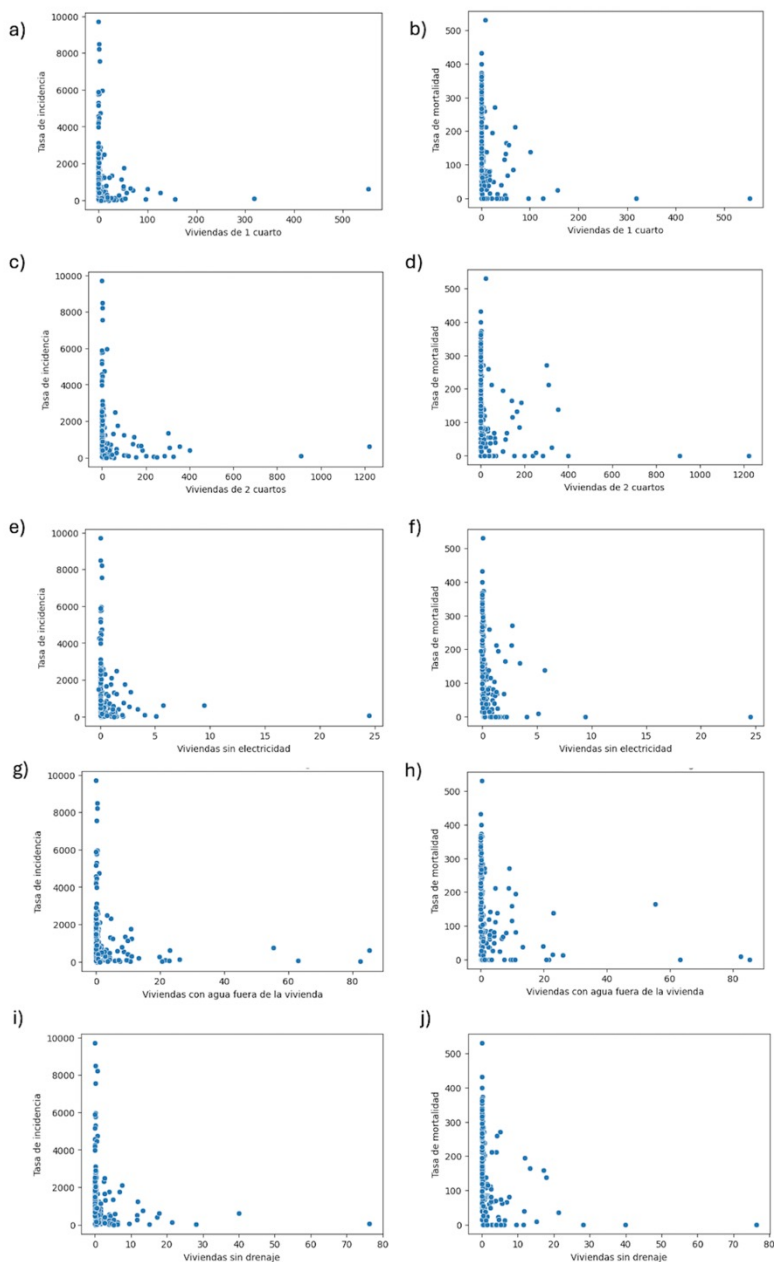
Recordando nuevamente, que esto no implica una relación de causalidad, es decir, la causa del incremento en las tasas no es el atributo, sino que la prueba de correlación detecta la diferencia urbano territorial entre municipios metropolitanos y rurales, y señala que las tasas son mayores donde son menores todas estas densidades, esto es, en los metropolitanos.

En este grupo, es importante mencionar que en la categoría de vivienda hay variables que no están disponibles en el conjunto de datos públicos, que internamente podrían estar afectando en uno de estos grupos, pero que no pudimos medir.

Densidad de establecimientos de comercio y empleo y COVID-19

En este grupo se incluye la densidad de establecimientos comerciales y de industrias manufactureras, considerando que estuvieron abiertos durante el primer año de pandemia, aunque usando medidas de distanciamiento social para evitar aglomeraciones. Se encontraron disponibles datos de conteo de las siguientes variables: comedores comunitarios, alojamiento, bares, restaurantes, comercio al mayoreo, gimnasios e industrias manufactureras,

Figura 14. Gráfico de dispersión de la correlación entre densidad de tipos de vivienda y condiciones de higiene y las tasas de incidencia y de mortalidad por 100k.



Fuente: Elaboración propia con paquete SciPy.Stats en lenguaje Python, datos del INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-Geolnt (2020).

que se transformaron en densidad dividiendo por las hectáreas de superficie municipal habitada.

Al igual que en la dimensión de tipos de vivienda, la prueba resulta en valores negativos en todas las variables (tabla 26) que indican que mientras mayor sea la densidad de dichos atributos menores serán las tasas de incidencia y mortalidad. Se observa el mismo comportamiento en lo relativo a que la mediana de la densidad de todos estos atributos es mayor en los municipios de la esperanza (tabla 26, segunda y tercera columnas); por tanto, en ellos habrá menores tasas de incidencia y mortalidad, señalando inversamente, que serán mayores en los metropolitanos.

Son destacables las correlaciones fuertes negativas, significativas por su valor predictivo, con la densidad de restaurantes y de industrias manufactureras que, aunque curiosamente son menores en los municipios metropolitanos que en los de la esperanza, porque estos últimos tienen menos superficie habitada; asimismo, también las correlaciones medianas negativas con la densidad de comedores comunitarios, de alojamientos, de bares. Todas estas resaltan las diferencias urbano-territorial entre municipios metropolitanos y rurales que adquieren valor predictivo del comportamiento del COVID-19.

En cuanto a la última variable del grupo, la densidad de industria manufacturera, es importante mencionar que se hizo una diferencia entre municipios de la esperanza y metropolitanos. En los últimos se consideraron todos los establecimientos de industria manufacturera con más de 50 empleados; sin embargo, si se utiliza el mismo rango en los municipios de la esperanza prácticamente se eliminan todos los establecimientos, por lo que se bajó a cinco empleados, considerando que en dichas localidades las unidades productivas tienden a ser más pequeñas.

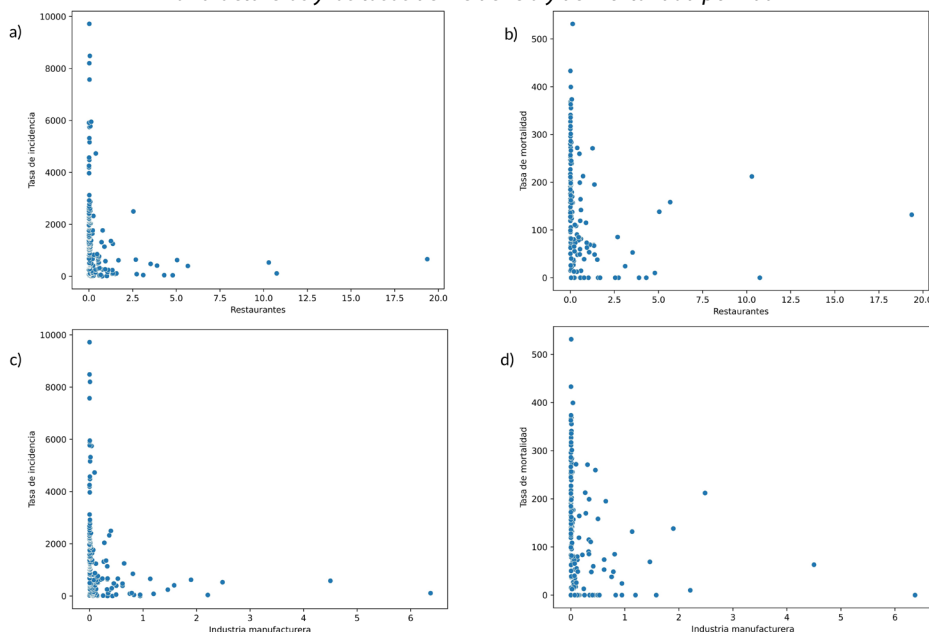
Se puede observar, también de manera ilustrativa y por medio de la visualización de los gráficos de dispersión, cómo se comporta la correlación fuerte entre las variables densidad de restaurantes (figura 15 a, b) y de industrias manufactureras (figura 15, c, d).

Tabla 26. Coeficientes de correlación de Spearman entre la densidad de establecimientos de comercio y empleo y las tasas de incidencia y mortalidad por 100k de COVID-19

Dimensión de condiciones de vivienda e higiene					
Variable Independiente	Mediana en metropolitanos	Mediana en esperanza	Variable dependiente	ρ	p-value
Densidad de comedores comunitarios	0.000	0.01	Tasa de incidencia por 100k	-0.384517	3.41299000E-07
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.335084	1.08564500E-05
			Tasa de incidencia por 100k	-0.41724	2.47242500E-08
Densidad de alojamiento	0.000	0.03	Tasa de mortalidad por 100k	-0.417923	2.33347400E-08
			Tasa de incidencia por 100k	-0.447282	2.31448400E-12
			Tasa de mortalidad por 100k	0.434582	3.94623500E-12
Densidad de bares	0.000	0.02	Tasa de incidencia por 100k	-0.511078	1.71300200E-09
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.506387	5.46643900E-09
			Tasa de incidencia por 100k	-0.271574	4.17990800E-04
Densidad de comercio al mayoreo	0.000	0.06	Tasa de mortalidad por 100k	-0.237171	2.16048500E-03
			Tasa de incidencia por 100k	-0.250996	1.14675400E-03
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.180531	2.03176200E-02
Densidad de gimnasios	0.000	0.04	Tasa de incidencia por 100k	-0.551866	1.55566900E-14
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.548734	2.34042500E-14
			Tasa de incidencia por 100k	-0.548734	2.34042500E-14

Fuente: Elaboración propia con paquete estadístico SciPy,Stats en Python, datos del INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-CONAHCYT-CentroGeo-Geoint (2020).

Figura 15. Gráfico de dispersión de la correlación entre densidad de restaurantes y de industrias manufactureras y las tasas de incidencia y de mortalidad por 100k



Fuente: Elaboración propia con paquete estadístico SciPy.Stats en Python, datos de INEGI (2020 y 2021) Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-GeoInt (2020) (INEGI, 2021b).

Densidad de establecimientos de atención sanitaria y COVID-19

En el grupo de variables de la densidad de servicios de salud disponibles en cada municipio, calculada como el conteo de hospitales, clínicas, laboratorios entre las hectáreas de superficie municipal habitada, los resultados de las pruebas son también valores todos negativos. Siendo negativa y baja la correlación con la densidad de hospitales y de laboratorios, y negativa moderada con la densidad de clínicas (tabla 27). Para las tres variables, el resultado indica una relación inversamente proporcional, es decir, que en aquellos municipios donde es menor la densidad de las tres variables, será mayor la tasa de incidencia y mortalidad por COVID-19.

Observando el dato de la mediana de las densidades (tabla 27, columnas segunda y tercera), se advierte que las tres densidades son mayores en los

municipios de la esperanza debido a la reducida superficie municipal habitada. Esto indica que en los municipios metropolitanos, donde es menor la densidad de hospitales, clínicas, laboratorios —aunque no el conteo—, serán mayores las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19. Ninguna variable muestra una correlación con peso predictivo fuerte.

Tabla 27. Coeficientes de correlación de Spearman entre densidad de establecimientos de atención sanitaria y las tasas de incidencia y mortalidad por 100k de COVID-19

<i>Dimensión de establecimientos de atención sanitaria</i>						
<i>Variable Independiente</i>	<i>Mediana en metropolitanos</i>	<i>Mediana en esperanza</i>	<i>Variable Dependiente</i>	ρ	<i>p-value</i>	<i>Interpretación</i>
Densidad de hospitales	0.0001	0.0108	Tasa de incidencia por 100k	-0.279648	2.75096200E-04	0.1 < $ \rho $ ≤ 0.3 Hay evidencia de correlación negativa baja
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.262406	6.61865700E-04	0.1 < $ \rho $ ≤ 0.3 Hay evidencia de correlación negativa baja
Densidad de clínicas	0.0001	0.0146	Tasa de incidencia por 100k	-0.340233	7.77529800E-06	0.3 < $ \rho $ ≤ 0.5 Hay evidencia de correlación negativa mediana
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.307581	5.84992600E-05	0.3 < $ \rho $ ≤ 0.5 Hay evidencia de correlación negativa mediana
Densidad de laboratorios	0.0002	0.0331	Tasa de incidencia por 100k	-0.299786	9.15721400E-05	0.1 < $ \rho $ ≤ 0.3 Hay evidencia de correlación negativa baja
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.247994	1.31978800E-03	0.1 < $ \rho $ ≤ 0.3 Hay evidencia de correlación negativa baja

Fuente: Elaboración propia con paquete estadístico SciPy.Stats en Python, datos de INEGI (2020, 2021 y 2021b) y Gobierno de México-CONAHCYT-CentroGeo-GeoInt (2020).

Es interesante la correlación negativa moderada indicativa de que a mayor densidad de establecimientos de hospitales, clínicas y laboratorios, menor será la tasa de incidencia y mortalidad. Por lo que es un dato valioso para la comprensión de las diferencias urbano-territoriales entre zonas metropolitanas y rurales que señala la importancia de aumentar la densidad

de este tipo de establecimientos sanitarios en las zonas metropolitanas, para mitigar el riesgo mayor de su población y promover la salud desde la garantía a la población del acceso a los medios para gestionar sus cuidados.

Queda la reserva de que puede haber datos más finos como el número de camas hospitalarias o de unidades de cuidados intensivos que puedan incidir o tener un peso mayor en las variables dependientes estudiadas de incidencia del coronavirus, pero que no podemos medir a través de las variables independientes disponibles en los datos públicos.

Densidad de tipos de movilidad y COVID-19

Las variables de la dimensión de tipos de movilidad fueron incluidas en el estudio considerando que los primeros casos importados llegaron a las comunidades por los distintos sistemas de movilidad, por lo que se calculó la densidad a partir de los datos del conteo de las siguientes variables: kilómetros de carreteras dentro del límite municipal, aeropuertos, estaciones de ferrocarril, puertos fronterizos, puertos marítimos, unidades económicas dedicadas al transporte foráneo y al transporte público urbano; entre las hectáreas de superficie habitada municipal.

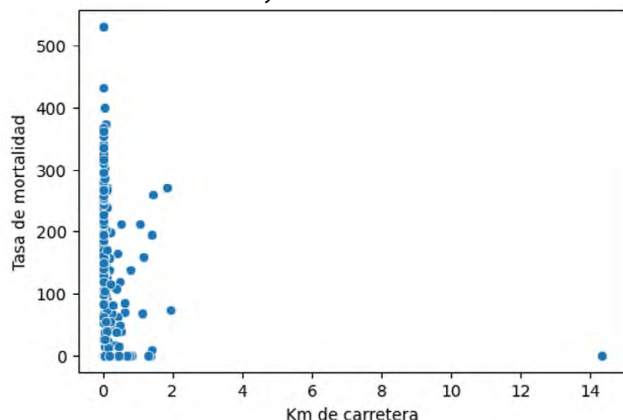
En este grupo se detectaron correlaciones despreciables con la densidad de aeropuertos y puertos marítimos, así como bajas con la densidad de ferrocarriles, de puertos fronterizos, siendo algunas negativas como la que existe con la densidad de transporte foráneo y de transporte público urbano. Sólo se identificó una correlación fuerte negativa con la densidad de kilómetros de carretera (tabla 28). Lo que indica, considerando que la mediana de la densidad de carreteras es mayor en los municipios de la esperanza, que en ellos habrán menores tasas de mortalidad; mientras que en los metropolitanos, donde es menor la mediana de la densidad de carretera, se correlaciona con mayor tasa de mortalidad, como se ilustra en el gráfico de dispersión correspondiente (figura 16). Por lo que la densidad de kilómetros de carretera tiene valor predictivo significativo y expresa las diferencias urbano-territoriales que distinguen municipios metropolitanos y rurales.

Tabla 28. Coeficientes de correlación de Spearman entre densidad de tipos de movilidad y las tasas de incidencia y mortalidad por 100k de COVID-19

Dimensión de tipos de movilidad					
Variable Independiente	Mediana en metropolitanos	Mediana en esperanza	Variable Dependiente	ρ	p-value
Densidad de carreteras	0.017	0.46049	Tasa de incidencia por 100k	-0.499287	8.71661900E-12
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.5220244	6.45138300E-13
Densidad de aeropuertos	3.3567E-05	0.00075	Tasa de incidencia por 100k	0.02354	7.64087200E-01
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.014921	8.49138500E-01
Densidad de estaciones de ferrocarril	1.242E-05	6.5E-05	Tasa de incidencia por 100k	0.183561	1.82725900E-02
			Tasa de mortalidad por 100k	0.161576	3.81405700E-02
Densidad de puertos fronterizos	1.023E-05	0.00058	Tasa de incidencia por 100k	0.132112	9.07362700E-02
			Tasa de mortalidad por 100k	0.053291	4.96619600E-01
Densidad de puertos marítimos	1.3983E-05	0.00069	Tasa de incidencia por 100k	0.069534	3.74829900E-01
			Tasa de mortalidad por 100k	0.010717	8.91329600E-01
Densidad de transporte foráneo	0.00114457	0.02907	Tasa de incidencia por 100k	-0.215674	5.40018700E-03
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.174891	2.46541600E-02
Densidad de transporte público urbano	0.00110065	0.05439	Tasa de incidencia por 100k	-0.238435	2.04188000E-03
			Tasa de mortalidad por 100k	-0.193105	1.29530600E-02

Fuente: Elaboración propia con paquete estadístico SciPyStats en Python, datos de INEGI (2020, 2021 y 2021b) y Gobierno de México-CONAHCYT-Centro-Geo-Geoint (2020).

Figura 16. Gráfico de dispersión de la correlación negativa fuerte entre la densidad de kilómetros de carretera y la tasa de mortalidad.



Fuente: Elaboración propia con paquete estadístico SciPy.Stats en Python, datos de INEGI (2020, 2021 y 2021b) y Gobierno de México-CONAHCYT-CentroGeo-Geolnt (2020).

Densidades urbanas diferenciadas entre municipios metropolitanos y rurales como variables predictivas significativas

El análisis de la correlación estadística con las 31 variables examinadas en este capítulo permitió estudiar el peso de los distintos tipos de densidad de atributos urbanos en momentos epidémicos, que pueden utilizarse para calibrar modelos predictivos de la vulnerabilidad y riesgo diferenciados por tipo de municipios. Se estudiaron variables vinculadas a los subsistemas de vivienda, infraestructura, movilidad, salud, comercio, servicios y empleo, con el propósito de contribuir a la reflexión en torno a los desafíos de las ciudades saludables en-pandemia y los retos que colocan al urbanismo en-pandemia.

Se detectaron 9 variables de tipos de densidad urbana que tiene valor predictivo fuerte negativo y que son significativas de las diferencias entre los municipios metropolitanos y los rurales de la esperanza, a saber: (a) la densidad de viviendas que tienen un cuarto, (b) la densidad de viviendas que tiene dos cuartos, (c) la densidad de viviendas que no disponen de

energía eléctrica, (d) la densidad de viviendas que no disponen de agua entubada, (e) la densidad de viviendas que no disponen de drenaje, (f) la densidad de viviendas que no disponen de energía eléctrica, agua entubada, drenaje, (g) la densidad de restaurantes, (h) la densidad de industria manufacturera y (i) la densidad de carreteras.

Este resultado indica que se puede predecir que las localidades que exhiban menor densidad en estas variables presentarán mayores tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19, lo que en el caso de los municipios mexicanos ocurrirá en los municipios metropolitanos, confirmando que en ellos hay mayor riesgo.

5. Autocorrelación espacial de la incidencia y mortalidad en municipios metropolitanos

En este último capítulo se presenta un estudio de correlación espacial que tiene como objetivo evaluar el comportamiento de la distribución espacial de la incidencia y mortalidad por COVID-19 para robustecer la profundidad del análisis presentado. Para identificar posibles asociaciones espaciales en la distribución de las variables dependientes tasa de incidencia y tasa de mortalidad, se calculó el índice de Moran global (I de Morán global), midiendo la autocorrelación espacial con base en las ubicaciones de los municipios y sus valores para cada una de estas variables; así como también la medida estadística G general de Getis-Ord para entender la naturaleza de los posibles agrupamientos.

Los estudios de autocorrelación espacial detectan patrones diferenciados en la distribución geográfica de variables, en este caso de las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19, y permiten evaluar si existe un patrón espacial en el conjunto de datos estudiados, indicativos de variaciones o concentraciones, así como de la influencia entre localidades cercanas.

Procedimiento para el estudio de autocorrelación espacial

A partir de un modelo conceptual de distancia inversa y un método de distancia euclidiana que reflejan las condiciones de propagación espacial por COVID-19, se utilizó una distancia umbral acorde con la escala y extensión de los objetos espaciales que representan los límites municipales sobre una proyección cónica equidistante con unidades lineares medidas en metros.

Para la totalidad de los municipios la distancia umbral del radio de búsqueda fue de 241 486.24 metros; para los municipios de zonas metropolitanas, de 279 202.15 metros, y para los municipios de la esperanza, de 610 938.5 metros. Con base en estos parámetros se calculó la I de Moran utilizando la siguiente ecuación Anselin (1995):

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2}$$

Donde z_i es la desviación del valor de la variable respecto a su media ($x_i - X$) en cada municipio i , w_{ij} es la ponderación espacial entre el municipio i y j , n es el número total de municipios y S_0 es el agregado de todas las ponderaciones espaciales.

A partir de este cálculo se obtuvieron los valores que se presentan (tabla 29). Dado que los valores p obtenidos resultaron estadísticamente significativos al ser iguales o cercanos a 0 se pudo rechazar la hipótesis nula de aleatoriedad espacial completa en la distribución de ambas variables en los municipios del país. Así, a partir de las puntuaciones z positivas se identificó que ambas variables se distribuyen mediante un patrón espacial agrupado, tanto en el conjunto de los municipios como en los municipios de zonas metropolitanas y municipios de la esperanza por separado. Esto significa que tanto los valores altos o bajos de incidencia y mortalidad tienden a atraerse espacialmente y formar agrupamientos.

Tabla 29. Valores del índice de Morán global

Variable	I de Morán	Puntuación z	Valor p	Patrón espacial
Total de municipios				
Tasa de incidencia	0.412614	12.279406	0	Agrupado
Tasa de mortalidad	0.447558	13.114905	0	Agrupado
Municipios de zonas metropolitanas				
Tasa de incidencia	0.244073	3.854923	0.000116	Agrupado
Tasa de mortalidad	0.317543	4.923625	0.000001	Agrupado
Municipios de la esperanza				
Tasa de incidencia	0.430511	11.60899	0	Agrupado
Tasa de mortalidad	0.197804	5.439982	0	Agrupado

Fuente: Elaboración propia con base en ecuación de Anselin (1995) y datos del INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-Geolnt (2020).

Para identificar la naturaleza de estos agrupamientos se utilizó además la medida estadística G general de Getis-Ord (Getis y Ord, 1992) con base en la siguiente ecuación:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j x_i}{\sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n x_i x_j}, \forall_j \neq i$$

Donde x_i y x_j son los valores de la variable para los municipios i y j , w_{ij} es la ponderación espacial entre los municipios i y j , n es el número total de municipios en el conjunto de datos y $\forall_j \neq i$ indica que los municipios i y j no pueden ser el mismo objeto.

A partir de los resultados obtenidos (tabla 30), dada la significancia de los valores de p cercanos a 0 se pudo rechazar la hipótesis nula de aleatoriedad, y dadas las puntuaciones z positivas se pudo determinar que los agrupamientos que se presentan son de valores altos en ambas variables, tanto para el conjunto de los municipios, como para los municipios de zonas metropolitanas y los municipios de la esperanza. Esto significa que las tasas altas de incidencia y mortalidad tienden a presentarse de forma agrupada, más de lo que se esperaría observar si los procesos espaciales que las propician actuaran en realidad de manera aleatoria.

Tabla 30. Valores de G general de Getis-Ord

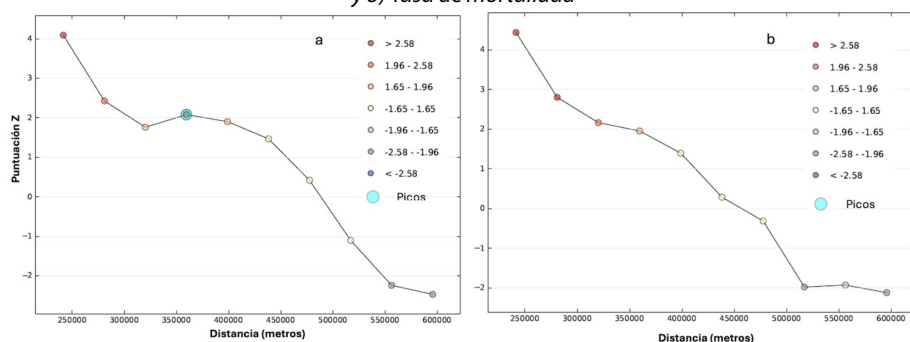
Variable	<i>I</i> de Morán	Puntuación z	Valor p	Patrón espacial
Total de municipios				
Tasa de incidencia	0.007872	10.792085	0	Agrupado
Tasa de mortalidad	0.006515	10.284006	0	Agrupado
Municipios de zonas metropolitanas				
Tasa de incidencia	0.013353	4.415724	0.00001	Agrupado
Tasa de mortalidad	0.012097	5.24601	0	Agrupado
Municipios de la esperanza				
Tasa de incidencia	0.013902	9.990757	0	Agrupado
Tasa de mortalidad	0.01118	4.540787	0.000006	Agrupado

Fuente: Elaboración propia con base datos del INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-CONAHCYT-CentroGeo-Geolnt (2020).

Con el fin de ubicar espacialmente estos agrupamientos se calculó la autocorrelación espacial incremental a distintos intervalos para determinar

la distancia óptima del radio de búsqueda. Sin embargo, sólo en el caso de la tasa de incidencia se observa un ligero pico en la curva a 359 555.78 metros con una puntuación z de 2.081976 (figura 17). La curva de la tasa de mortalidad no muestra alguna distancia a la que se manifieste con mayor fuerza la autocorrelación espacial, por lo que se utilizaron los radios de búsqueda originales que se calculan por defecto de acuerdo con la extensión espacial de cada uno de los conjuntos de municipios.

Figura 17. Autocorrelación espacial incremental para las variables a) Tasa de incidencia y b) Tasa de mortalidad



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020 y 2021).

Con base en estos radios de búsqueda se calculó la estadística G_i^* de Gettis-Ord para identificar los agrupamientos de valores altos o bajos de incidencia y mortalidad en el conjunto de municipios. A partir de las puntuaciones z y los valores p , esta estadística permite evaluar cada municipio en el contexto espacial de sus municipios vecinos. Para identificar agrupamientos estadísticamente significativos, un municipio de valores altos o bajos debe estar rodeado de otros igualmente altos o bajos en ambas variables. La ecuación para el cálculo de esta estadística es:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{[\sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}}$$

Donde x_j es el valor de la variable para cada municipio j , w_{ij} es la ponderación espacial entre los municipios i y j , y n es el número total de municipios en el conjunto de datos y

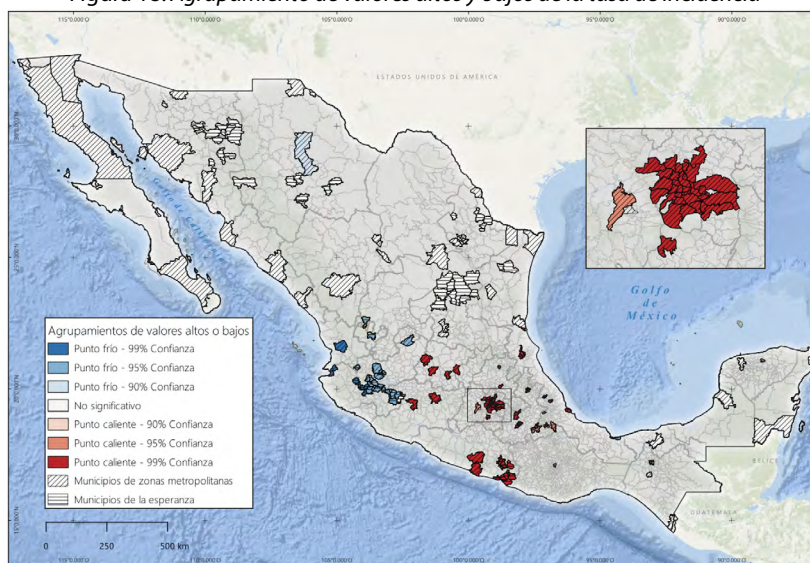
$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2}$$

Distribución agrupada de incidencia y mortalidad en municipios metropolitanos

Los resultados para la variable tasa de incidencia muestran agrupamientos estadísticamente significativos con niveles de confianza de 99% de municipios, principalmente metropolitanos, con valores altos localizados en la porción centro sur del país (figura 18).

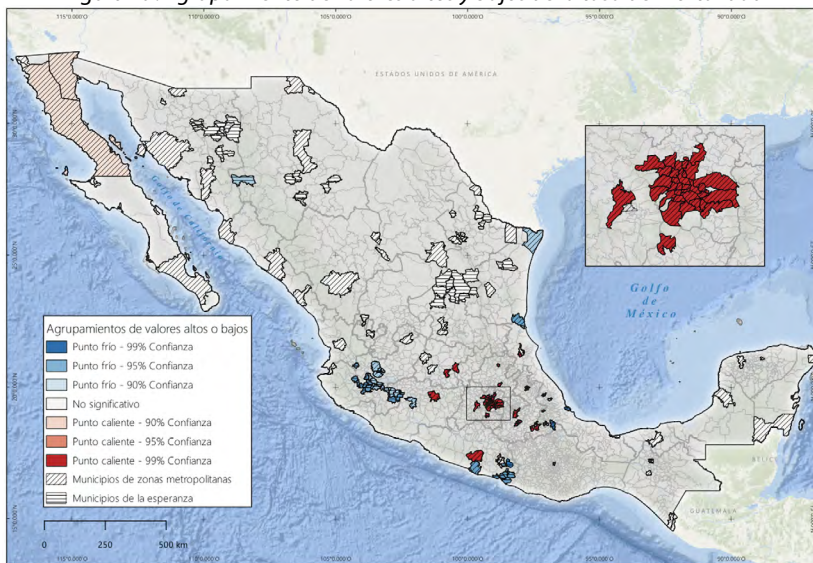
Figura 18. Agrupamiento de valores altos y bajos de la tasa de incidencia



Fuente: Elaboración propia calculados a partir de la estadística G_i^* de Gettis-Ord.

Asimismo, los municipios, principalmente de la esperanza, localizados en la franja centro occidental del país muestran agrupamientos estadísticamente significativos de valores bajos en la tasa de incidencia con niveles de confianza de 95%. Los agrupamientos espaciales estadísticamente significativos con niveles de confianza de 99% de municipios con valores altos en la tasa de mortalidad se presentan también principalmente en municipios metropolitanos, pero concentrados sobre todo en el centro del país. Por su parte, los agrupamientos de bajas tasas de mortalidad ocurren en mayor medida en las regiones sur y occidental con niveles de confianza de 95% (figura 19).

Figura 19. *Agrupamiento de valores altos y bajos de la tasa de mortalidad*



Fuente: Elaboración propia calculados a partir de la estadística Gi* de Gettis-Ord.

Principales zonas metropolitanas de México y sus riesgos diferenciados

Considerando lo anterior, se confirma la importancia de priorizar la mitigación de riesgos en las zonas metropolitanas, especialmente las que aglomeran más de un millón de habitantes, que además muestran tasas de crecimiento importantes. En el caso de México, se destaca que existen 17

zonas metropolitanas o metrópolis municipales (en dependencia de su clasificación) en las que habitan más de un millón de habitantes que, en conjunto, concentran 50 543 318 millones de mexicanos (tabla 31).

Tabla 31. *Zonas metropolitanas y metrópolis de México con más de un millón de habitantes*

<i>Posición</i>	<i>Clave de metrópoli</i>	<i>Nombre de la metrópoli</i>	<i>Población Total</i>
1	09.1.01	Ciudad de México	21 436 911
2	19.1.01	Monterrey	5 322 117
3	14.1.01	Guadalajara	5 110 617
4	21.1.01	Puebla-Tlaxcala	2 776 893
5	15.1.01	Toluca	2 353 924
6	02.1.01	Tijuana	2 049 413
7	11.1.02	León	1 935 928
8	22.1.01	Querétaro	1 530 820
9	08.2.03	Ciudad Juárez	1 512 450
10	05.1.01	La Laguna	1 375 248
11	31.1.01	Mérida	1 324 771
12	24.1.01	San Luis Potosí	1 243 980
13	02.2.03	Mexicali	1 049 792
14	01.1.01	Aguascalientes	1 140 916
15	17.1.02	Cuernavaca	1 121 122
16	05.1.04	Saltillo	1 031 779
17	25.2.01	Culiacán	1 003 530
Total			50 543 318

Fuente: Elaboración propia con datos de Conapo (2024, pp. 88 y 91).

Además, teniendo en cuenta los resultados del capítulo 3, se pueden predecir riesgos diferenciados en los municipios metropolitanos, asociados a las variables en orden de importancia, de superficie de la mancha urbana, población municipal, las dos principales con valor predictivo de mayores tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19.

Considerando lo anterior, a seguir se presentan un listado de 54 de los 93 municipios metropolitanos ordenados de acuerdo con la superficie municipal habitada, que es la variable correlacionada de modo más fuerte, incluyendo todos aquellos que se localizan por encima de la mediana de la superficie municipal habitada de 8 729.7 que se ubica en el municipio de Campeche, así como por encima de la mediana de la población municipal

de 541 979.0 que se posiciona en el municipio de Matamoros, considerando que la población municipal es la segunda variable con mayor peso predictivo (tabla 32). Siendo notorio que se presentan todos los rangos de densidad y que predominan en la lista municipios de baja densidad, lo que señala que la expansión de baja densidad está presente en 33 de estos municipios metropolitanos, es decir, en 61.1% de los que exhiben mayor superficie urbanizada; lo que se vislumbra como una problemática desafiante para el objetivo de impulsar ciudades saludables en México.

Tabla 32. *Municipios metropolitanos ordenados por superficie municipal habitada y población municipal superiores a la mediana*

<i>Municipio</i>	<i>Población municipal</i>	<i>Superficie municipal habitada</i>	<i>Densidad de la superficie municipal habitada</i>	<i>Rango de densidad</i>	<i>Tasa de incidencia por 100k</i>	<i>Tasa de mortalidad por 100k</i>
Ciudad Juárez	1 512 450	36 718.8	41.2	Baja	1485.1	236.0
Tijuana	1 922 523	31 473.1	61.1	Media baja	882.0	194.1
Chihuahua	937 674	31 074.1	30.2	Baja	1375.1	160.9
Mérida	995 129	30 034.9	33.1	Baja	2139.3	197.3
Mexicali	1 049 792	29 689.0	35.4	Baja	1728.6	295.8
Hermosillo	936 263	29 264.7	32.0	Baja	3489.3	241.4
León	1 721 215	27 441.6	62.7	Media baja	2461.9	226.8
Puebla	1 692 181	24 840.5	68.1	Media baja	2918.2	335.5
Toluca	910 608	24 153.6	37.7	Baja	1727.9	266.6
Zapopan	1 476 491	24 140.2	61.2	Media baja	1006.8	119.1
Saltillo	879 958	22 601.6	38.9	Baja	1593.7	184.6
Monterrey	1 142 994	21 893.6	52.2	Baja	3121.9	286.2
Culiacán	1 003 530	21 861.2	45.9	Baja	1529.2	217.8
San Luis Potosí	911 908	20 511.6	44.5	Baja	3967.4	317.0
Querétaro	1 049 777	19 460.0	53.9	Baja	4189.7	258.2
Reynosa	704 767	18 435.9	38.2	Baja	1167.2	139.5
Acapulco de Juárez	779 566	17 566.4	44.4	Baja	1925.3	226.8
Durango	688 697	17 259.6	39.9	Baja	2518.7	148.3
Aguascalientes	948 990	16 917.6	56.1	Baja	2113.7	208.4
Benito Juárez	911 503	16 653.4	54.7	Baja	1095.6	170.6
Torreón	720 848	16 581.5	43.5	Baja	2303.5	211.1
Morelia	849 053	16 516.8	51.4	Baja	1301.4	179.0
Centro	683 607	15 990.7	42.8	Baja	4252.0	128.8

Matamoros	541 979	15 156.6	35.8	Baja	1475.9	279.9
Ensenada	443 807	15 082.3	29.4	Baja	1969.1	198.1
La Paz	292 241	14 693.9	19.9	Baja	4479.2	326.9
Guadalajara	1 385 629	14 240.5	97.3	Media baja	2118.6	326.9
Nuevo Laredo	425 058	13 451.4	31.6	Baja	1224.1	164.4
Ecatepec de Morelos	1 645 352	12 977.5	126.8	Media	1950.0	311.5
Irapuato	592 953	12 100.8	49.0	Baja	2160.5	197.3
Ahome	459 310	11 885.5	38.6	Baja	1079.7	224.5
Apodaca	656 464	11 880.7	55.3	Baja	1846.9	150.0
Iztapalapa	1 835 486	11 307.3	162.3	Media	5159.3	355.4
Cajeme	436 484	11 097.0	39.3	Baja	2196.4	252.2
Celaya	521 169	10 833.8	48.1	Baja	2173.8	172.3
Mazatlán	501 441	10 269.0	48.8	Baja	1098.0	185.7
Tlalpan	699 928	9 845.2	71.1	Media baja	8483.9	244.9
Cuautitlán Izcalli	555 163	9 726.2	57.1	Baja	1252.8	219.2
Guadalupe	643 143	9 659.3	66.6	Media baja	2518.4	238.4
San Pedro Tlaquepaque	687 127	9 281.2	74.0	Media baja	833.9	135.1
Veracruz	607 209	9 265.3	65.5	Media baja	1923.1	272.9
Gómez Palacio	372 750	8 918.0	41.8	Baja	1896.2	209.8
Gustavo A. Madero	1 173 351	8 790.6	133.5	Media	5908.9	432.9
Campeche	294 077	8 729.7	33.7	Baja	1297.6	160.2
Altamira	269 790	8 725.7	30.9	Baja	1501.2	99.0
Naucalpan de Juárez	834 434	8 512.5	98.0	Media baja	2057.7	283.9
Tecámac	547 503	7 472.3	73.3	Media baja	1200.0	191.2
Tlalnepantla de Baz	672 202	7 067.6	95.1	Media baja	2356.3	340.8
Álvaro Obregón	759 137	6 980.0	108.8	Media baja	9719.7	362.9
Ixtapaluca	542 211	6 164.6	88.0	Media baja	1377.3	156.9
Coyoacán	614 447	5 392.3	113.9	Media	5774.0	373.5
Nezahualcóyotl	1 077 208	5 345.9	201.5	Media	2388.2	318.3
Chimalhuacán	705 193	4 883.3	144.4	Media	1017.0	158.4
Cuauhtémoc	545 884	3 252.5	167.8	Media	5745.0	399.4

Fuente: Elaboración propia, con datos del INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-Centro-Geo-GeoInt (2020).

Destacan en este listado, por superficie municipal habitada, seis que ya exceden o están muy cercanas a las 30 000 hectáreas: Ciudad Juárez (Chihuahua), Tijuana (Baja California), Chihuahua (Chihuahua), Mérida

(Yucatán), Mexicali (Baja California), Hermosillo (Sonora). Siendo Tijuana, Ciudad Juárez y Mexicali, las metrópolis binacionales más grandes del norte de México, de baja densidad, a excepción de Tijuana, que se ubica en el rango de media baja.

Es muy interesante observar que en este listado de 84 municipios metropolitanos que presentaron algunos o varios indicadores por encima de la media, se presentan 47 de baja densidad que representan 55.9% del grupo. Esto recalca nuevamente que la baja densidad no es garantía de baja incidencia y mortalidad por COVID-19. En dichas localidades, si presentan población o manchas urbanas superiores a la mediana, se puede predecir que exhibirán tasas de incidencia y mortalidad también superiores a la mediana. Lo que ratifica que la densidad es un factor predictivo del comportamiento del COVID-19 menos certero que la superficie municipal habitada y la población municipal y que el desarrollo disperso de baja densidad no es la solución a la ciudad saludable.

A modo de conclusiones, lecciones para las ciudades saludables en-pandemia

El cuestionamiento principal que orientó el origen de esta investigación se enfocó inicialmente en la variable densidad de población y en el debate de la validez del modelo de la ciudad compacta, dado que las grandes ciudades fueron el epicentro de la crisis sanitaria vivida durante la pandemia. Así, la pregunta detonadora planteaba: ¿Existe una correlación entre densidad de población y el comportamiento del COVID-19 que permita aseverar que en las ciudades con mayor densidad, la población está expuesta a mayor riesgo de contagio y defunción por la enfermedad en comparación con las de baja densidad, de modo que se pueda sostener el argumento de apostar por la baja densidad como solución a la ciudad saludable ante la posibilidad de futuras pandemias?

Sin embargo, al estudiar los resultados de investigaciones previas, advertimos la importancia de considerar que, dada la complejidad inherente a las grandes ciudades, sería conveniente ampliar el planteamiento de la investigación y evaluar otras posibles variables que pudieran influir en la dis-

tribución espacial, lo que abrió espacio a un cuestionamiento más amplio, siendo la pregunta central: ¿Existe una correlación entre el comportamiento del COVID-19 y determinados atributos urbanos de la configuración física de las ciudades que permita predecir qué tipo de localidades presentarán mayor riesgo de contagio y defunción ante el desafío de futuras pandemias?

Así, en virtud de la complejidad de las ciudades y considerando las variables urbanas disponibles en datos públicos, el diseño de la investigación se orientó a examinar la relación entre las tasas de incidencia y mortalidad por COVID-19 como variables dependientes, y las variables: densidad de población, población municipal relativa, superficie habitada municipal relativa, densidad de tipos de vivienda y su infraestructura sanitaria, densidad de establecimientos comerciales y de empleo, densidad de servicios de salud y densidad de infraestructura de movilidad.

Se examinaron las relaciones entre las variables desde el estudio de una muestra de 202 municipios mexicanos (93 de municipios de zonas metropolitanas y 109 “municipios de la esperanza”, rurales y de baja densidad) durante el primer año epidémico (entre 14 de marzo 2020 y 2021) cuando la población aún no recibía inmunizadores. Estableciendo comparaciones entre los indicadores cuantitativos de salud pública y los atributos urbanos por grupos: por tipos de poblaciones (metropolitanos y los “municipios de la esperanza”), por rangos de densidad y por aquellos con tasas de incidencia y mortalidad superiores o inferiores a las medianas.

La confrontación de la densidad de población, estimada como densidad de la superficie habitada y las tasas de incidencia y mortalidad por 100k por COVID-19 —capítulo 2— aportó evidencias de que los municipios de zonas metropolitanas figuraron en una mayor proporción entre los que presentaron mayores tasas de incidencia y mortalidad, siendo 3.7 veces mayor el riesgo de contagio y 3.4 veces mayor la probabilidad de defunción para sus habitantes en comparación con los “municipios de la esperanza”. Mientras que las poblaciones de los municipios más densos tuvieron un riesgo dos veces mayor de contagio y 1.7 veces mayor de defunción por COVID-19 que los de baja densidad poblacional, de acuerdo con las tasas de incidencia y mortalidad, respectivamente. Lo que es indicativo de que considerando el conjunto por grupos, en las localidades de municipios metropolitanos

con mayor densidad es mayor el riesgo de contagiarse y fallecer que en los municipios rurales y menos densos.

Entretanto, del agrupamiento de los municipios que presentaron tasas de incidencia y mortalidad superiores a la mediana, se obtuvieron resultados un tanto paradójicos. Por un lado, no todos los de mayor densidad presentaron tasas superiores a las medianas; por otro lado, se detectó una considerable cantidad de municipios de baja densidad con tasas por encima de la mediana. Lo que reveló que la baja densidad no está exenta de alta incidencia y mortalidad por la enfermedad y que una mayor densidad tampoco implicó siempre mayores cargas de la enfermedad. Esto llevó a sospechar que la densidad no debe ser la única variable predictiva, y a sostener el argumento de que la baja densidad no es la solución ideal a la “ciudad saludable”.

Ante la pregunta: ¿Existe un riesgo diferenciado entre municipios que sustente la necesidad de plantear políticas de salud pública diferenciadas distinguiendo entre metropolitanos y de la esperanza o por rangos de densidad? Se puede responder que sí es necesario plantear políticas de salud pública diferenciadas y prioritarias hacia los municipios de zonas metropolitanas. Considerando el resultado de las pruebas de correlación estadística del coeficiente de Spearman (capítulos 3 y 4), se detectó que, de las 34 variables estudiadas, 11 muestran correlación fuerte, de las cuáles sólo dos positivas y las demás negativas. Y la densidad de población no se encuentra entre ella, dado que aunque presenta correlación esta es de tipo moderada (tabla 33).

Este resultado confirmó algunas de las hipótesis iniciales; en particular, que sí existe una correlación directa, no de causalidad, entre la densidad de población y la incidencia y mortalidad por COVID-19; sin embargo, esta es moderada. Siendo un resultado no esperado y más notorio, la evidencia de correlación directa fuerte con atributos de la dimensión del asentamiento, en particular la superficie habitada municipal y la población municipal, las únicas variables con correlación fuerte positivas que indican que mientras mayor sean ambas variables se pueden predecir mayores tasas de incidencia y mortalidad. Destacando que, en ambos indicadores, los municipios metropolitanos exhiben valores de medianas más altos que los de la esperanza, que se correlaciona con mayores tasas.

Tabla 33. Coeficientes de correlación de Spearman entre las variables con mayor valor predictivo y las tasas de incidencia y mortalidad por 100k de COVID-19

<i>Variable independiente</i>	<i>Mediana en metropolitanos</i>	<i>Mediana en esperanza</i>	<i>Variable Dependiente</i>	<i>ρ</i>	<i>Interpretación</i>
Superficie municipal habitada relativa	0.0045	0.0002	Tasa de incidencia	0.649914	positiva fuerte
			Tasa de mortalidad	0.681594	positiva fuerte
Población municipal relativa	0.430	0.005	Tasa de incidencia	0.607232	positiva fuerte
			Tasa de mortalidad	0.6766	positiva fuerte
Densidad de viviendas que no disponen de energía eléctrica	0.01	0.34	Tasa de incidencia	-0.556026	negativa fuerte
			Tasa de mortalidad	-0.590481	negativa fuerte
Densidad de viviendas que no disponen de drenaje	0.03	1.01	Tasa de incidencia	-0.548184	negativa fuerte
			Tasa de mortalidad	-0.582608	negativa fuerte
Densidad de viviendas que no disponen de agua entubada	0.02	0.76	Tasa de incidencia	-0.524444	negativa fuerte
			Tasa de mortalidad	-0.553589	negativa fuerte
Densidad de viviendas que no disponen de energía eléctrica, agua entubada, drenaje	0.001835	0.05441	Tasa de mortalidad	-0.524457	negativa fuerte
Densidad de carreteras	0.017	0.46049	Tasa de mortalidad	-0.522024	negativa fuerte
Densidad de viviendas que tienen dos cuartos	0.09	10.51	Tasa de incidencia	-0.518371	negativa fuerte
			Tasa de mortalidad	-0.521235	negativa fuerte
Densidad de restaurantes	0.005	0.37	Tasa de incidencia	-0.511078	negativa fuerte
			Tasa de mortalidad	-0.506387	negativa fuerte
Densidad de viviendas que tienen un cuarto	0.03	3.66	Tasa de incidencia	-0.504587	negativa fuerte
			Tasa de mortalidad	-0.509711	negativa fuerte
Densidad de industria manufacturera	0.003	0.14	Tasa de incidencia	-0.551866	negativa fuerte
			Tasa de mortalidad	-0.548734	negativa fuerte
Densidad de la superficie municipal habitada	56.1	15.6	Tasa de incidencia	0.3566941	positiva mediana
			Tasa de mortalidad	0.44586	positiva mediana

Fuente: Elaboración propia con paquete estadístico SciPy.Stats en lenguaje Python, datos del INEGI (2020 y 2021) y Gobierno de México-Conahcyt-CentroGeo-Geolnt (2020).

Asimismo, las variables que muestran correlaciones negativas fuertes, es decir inversamente proporcionales, indican que tendrán mayores tasas de incidencia y mortalidad los municipios que presentan densidades menores, lo que nuevamente señala a los municipios metropolitanos, dado que

en ellos es menor la mediana de dichas variables, en orden de significancia: densidad de viviendas que no disponen de energía eléctrica ni de drenaje ni de agua entubada ni de los tres en conjunto; densidad de carreteras, de viviendas que tienen dos cuartos, de restaurantes, de viviendas que tienen un cuarto, y de industria manufacturera.

Por lo anterior, retomando la pregunta de investigación: ¿Existe una correlación entre la incidencia y mortalidad por COVID-19 y determinados atributos urbanos de la configuración física de las ciudades que permita predecir qué tipo de localidades presentarán mayor riesgo de transmisión y defunción ante el desafío de futuras pandemias? Se puede concluir que el estudio de correlación estadística realizado permite argumentar que existen diferencias en la configuración física entre los asentamientos metropolitanos y los rurales o de la esperanza que permiten predecir que las poblaciones que habitan en los metropolitanos presentan estadísticamente mayor riesgo de contagiarse y fallecer por COVID-19. Siendo mayor el riesgo en los que presenten valores superiores a la mediana en la superficie habitada municipal y la población municipal, que son los dos predictores más fuertes de mayor incidencia y mortalidad.

Confirmando lo anterior, el análisis de autocorrelación espacial —capítulo 5— permitió detectar que la tasa de incidencia muestra agrupamientos estadísticamente significativos en los municipios metropolitanos y valores significativos bajos en los municipios de la esperanza; asimismo, agrupamientos espaciales estadísticamente significativos de municipios metropolitanos con valores altos en la tasa de mortalidad. Estos resultados son relevantes, considerando que en México hubo una tasa de mortalidad mayor que la registrada a nivel mundial, por lo que resulta vital utilizar el potencial predictivo de dichas variables para plantear políticas de salud pública que minimicen las pérdidas de vidas en aquellas poblaciones con mayor riesgo ante futuras pandemias.

Articulando los resultados de los estudios realizados, es importante retomar el cuestionamiento en torno a si es necesario plantear políticas de salud pública diferenciadas para determinados municipios. Dado que los municipios de zonas metropolitanas son parte de aglomeraciones de mayor población y mancha urbana, se puede predecir que sus habitantes están expuestos a un mayor riesgo de contagio y defunción. Por lo que puede

anticiparse que en los municipios metropolitanos, donde viven más de 60 millones de mexicanos y se genera más de 70% del producto interno bruto (PIB) nacional, se presentará mayor carga de la enfermedad.

Desde la perspectiva de la teorías de las ciudades saludables, que reconoce que la salud pública depende no sólo de los servicios sanitarios, sino de toda la actuación pública, se requiere el diseño de un programa o fondo enfocado a promover “metrópolis saludables en-pandemia”, así como el diseño de protocolos de respuesta al riesgo y medidas de salud pública diferenciadas y prioritaria, que permitan un uso más efectivo de los recursos públicos.

Retomando la discusión sobre la validez del cuestionamiento de la “ciudad compacta”, podemos argumentar que la ciudad saludable en-pandemia del siglo XXI no se resuelve con modelos de manchas urbanas extendidas de desarrollos de baja densidad. No es correcto culpar a la densidad o a una sola variable por el agravamiento epidémico; en su lugar, es necesario partir del entendimiento de las múltiples variables predictoras de riesgo en la “ciudad saludable en-pandemia”. Más que apostar por soluciones rápidas como optar por bajar la densidad, quizá al costo de extender la mancha urbana, se requieren abordajes complejos e innovadores de planificación urbana ante futuros riesgos epidémicos que, con sustento en evidencias, instrumenten el papel que juegan las distintas variables de la configuración física de las ciudades para la prevención, contención y mitigación de epidemias.

Los resultados recalcan los riesgos y desafíos de la súper aglomeración y las megaciudades, que se caracterizan por ocupar grandes superficies urbanas, concentrar millones de habitantes y el continuo de municipios conurbados con distintos rangos de densidad, especialmente a la luz de la perspectiva de la promoción de la salud pública como el conjunto de decisiones que le permiten gozar de salud y calidad de vida a una población. La emergente perspectiva de las “ciudades saludables” y el abordaje multidisciplinario de la interrelación entre desastres naturales, lo urbano y la salud pública, es esencial para la planificación de las ciudades saludables en-pandemia del siglo XXI, y coloca la necesidad de volver la mirada a viejos problemas urbanos: la súper aglomeración y la expansión urbana descontrolada. Lo aprendido con las lecciones del COVID-19 apunta hacia un

urbanismo en-pandemia que debe repensar la salubridad y habitabilidad de las megaciudades y metrópolis, que aglomeran millones de habitantes en enormes manchas urbanas en todo el mundo.

Referencias

- Acharya, R., & Porwal, A. (2020). A vulnerability index for the management of and response to the COVID-19 epidemic in India: an ecological study. *The Lancet Global Health*, 8(9), e1142-e1151. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30300-4](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30300-4)
- Almagro, M., & Orane-Hutchinson, A. (2022). JUE Insight: The determinants of the differential exposure to COVID-19 in New York City and their evolution over time. *Journal of Urban Economics*, 127(103293), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2020.103293>
- Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association. LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93-115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Barton, H., & Grant, M. (2013). Urban Planning for Healthy Cities. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 90, 129-14. <https://doi.org/10.1007/s11524-011-9649-3>
- Bernstein, A. S., Ando, A. W., Loch-Temzelides, T., Vale, M. M., Li, B. V., Li, H., Busch, J., Chapman, C. A., Kinnaird, M., Nowak, K., Castro, M. C., Zambrana-Torrel, C., Ahumada, J. A., Xiao, L., Roehrdanz, P., Kaufman, L., Hannah, L., Daszak, P., Pimm, S. L., & Dobson, A. P. (2022). The costs and benefits of primary prevention of zoonotic pandemics. *Science Advances*, 8(5), 3-13. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abl4183>
- Bettencourt, L. M. (2015). Cities as complex systems. En B. Alves Furtado, P. A Sakowski y H. Tóvolli, *Modeling complex systems for public policies* (pp. 217-238). Institute for Applied Economic Research. https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/index.php?option=com_content&view=article&id=25858
- Bhadra, A., Mukherjee, A., & Sarkar, K. (2021). Impact of population density on Covid-19 infected and mortality rate in India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(1), 623-629. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00984-7>
- Carozzi, F., Provenzano, S., & Roth, S. (2020). Urban density and COVID-19. *IZA-Institute of Labor Economics. Discussion Paper Series*, (13440), 1-29. <https://docs.iza.org/dp13440.pdf>

- Chasles, V. (2016). Urban health and hygienism, the example of France. *Revista do Instituto de Estudos Brasileiros*(64), 65-74.
- Choay, F. (1970). *El urbanismo. Utopías y realidades*. Lumen (edición en lengua española de original de 1965, Traducción de Luis del Castillo).
- Choay, F. (2002). *O urbanismo. Utopias e realidades. Uma antologia*. Sao Paulo: Editora Perspectiva S.A. (5º edición, 2º tiraje, 1º edición: Éditions du Seil, 1965).
- Clos, J. (30 de diciembre de 2016). *Hábitat III: la conferencia de las Naciones Unidas centrada en los ciudadanos*. Conferencia de las Naciones Unidas, Quito, Ecuador. <https://www.un.org/es/chronicle/article/habitat-iii-la-conferencia-de-las-naciones-unidas-centrada-en-los-ciudadanos>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (12 de octubre de 2018). *¡La Fuerza de la Naturaleza!* <https://www.gob.mx/conanp/articulos/la-fuerza-de-la-naturaleza?idiom=es#:~:text=Se%20trata%20de%20aludes%2C%20avalanchas,causan%20enfermedades%20de%20difícil%20control>
- Conahcyt-CentroGeo-Geolnt (2020). Covid-19 México. Gobierno de México. <https://datos.covid-19.conacyt.mx>
- Consejo Nacional de Población (2018). *Sistema Urbano Nacional*.
- Consejo Nacional de Población (2024). *Las Metrópolis de México 2020* (Vol. Parte 5 y 6). https://www.gob.mx/cms/uploads/sedatu/MM2020_06022024.pdf, Ed
- Corominas, A. (23 de septiembre de 2021). Las pandemias en la historia de la humanidad. *Real Academia Europea de Doctores*. <https://raed.academy/las-pandemias-en-la-historia-de-la-humanidad/>
- Desai, D. (mayo de 2020). Urban densities and the Covid-19 Pandemic: Upending the Sustainability Myth of Global Megacities. *Observer Research Foundation Occasional Paper*, (244), 1-38. <https://www.orfonline.org/wp-content/uploads/2020/05/>
- Diccionario panhispánico del español jurídico (2025). <https://dpej.rae.es/lema/desastre-natural>
- Fajardo-Gutiérrez, A. (2017). Medición en epidemiología: prevalencia, incidencia, riesgo, medidas de impacto. *Revista Alergia México*, 64(1), 109-120. <https://revistaalergia.mx/ojs/index.php/ram/article/view/252/2605>
- Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis*, 24(3), 189-206. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x>
- Hamidi, S., Sabouri, S., & Ewing, R. (2020). Does Density Aggravate the COVID-19 Pandemic? Early Findings and Lessons for Planners. *Journal of the American Planning Association*, 86(4), 495-509. <https://doi.org/10.1080/01944363.2020>
- Holmes, E. C., Goldstein, S. A., Rasmussen, A. L., Robertson, D. L., Crits-Christoph, A., Wertheim, J. O., Anthony, S. J., Barclay, W. S., Boni, M. J., Doherty, P. C., Farrar, J., Georgehagan, J. L., Jiang, X., Leibowitz, J. L., Neil, S., Skern, T., Weiss, S., Worobey, M..., Rambaut, A. (2021). The origins of SARS-CoV-2. A critical review. *A Cell Press journal* 184(19), 4848-4856. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.08.017>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2021c). *Red Nacional de Caminos*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842798>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (25 de enero de 2021). *En México somos 126 014 024 habitantes: censo de población y vivienda 2020*. [Comunicado de Prensa, 24/21]. INEGI INFORMA en X: "En #México somos 126 millones 14 mil 24 habitantes: #Censo2020mx #ComunicadoINEGI <https://t.co/8idsaydBwN> <https://t.co/lDpa97DKT0>" / X
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2021a). *Marco Geoestadístico*. <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2021b). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?-ti=6>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (6 de julio de 2023). *Estadísticas a propósito del día mundial de la población*. [Comunicado de Prensa, 395/23].
- Instituto Mexicano del Seguro Social (01 de junio de 2020). *Nueva Normalidad. Reactivación de la economía mexicana de forma responsable y segura*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/covid19medidaseconomicas/acciones-y-programas/nueva-normalidad-244196>
- Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*. New York: Random House.
- Jenks, M., Burton, E., & Williams, K. (2005). *The Compact City: A Sustainable Urban Form?* Taylor & Francis e-Library, 2005 (1ª ed. 1996 by E & FN Spon).
- Johns Hopkins University and Medicine (3 de octubre de 2023). *Coronavirus Resource Center*. <https://coronavirus.jhu.edu/>
- Khavarian-Garmsir, A. R., Sharifi, A., & Moradpour, N. (julio de 2021). Are high-density districts more vulnerable to the COVID-19 pandemic? *Sustainable Cities and Society*, 70(102911). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102911>
- Lai, K. Y., Webster, C., Kumari, S., & Sarkar, C. (2020). The nature of cities and the Covid-19 pandemic. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 46, 27-31. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.08.008>
- Llorca, E., Amor, M. T., Merino, B., Márquez, F. J., Gómez, F., & Ramírez, R. (2010). Ciudades saludables: una estrategia de referencia en las políticas locales de salud pública. *Gaceta Sanitaria*, 24(6), 435-436. Ciudades saludables: una estrategia de referencia en las políticas locales de salud pública Healthy cities: A reference strategy in local public health policies – DOAJ <https://doaj.org/article/cbf1fc1b8ff64504b-043b7b5def232d2>
- Martínez Ortega, R., Tuya, L., Martínez, M., Pérez, A., & Cánovas, A. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman. Caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2). http://scielosld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017&lng=es&tlng=es
- Merlin, P., & Choay, F. (2010). *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*. Paris: Quadriga / PUF (3ª edición).
- Naciones Unidas (27 de junio 2020 de s. d). Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean

- más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Naciones Unidas (s. d). Ciudades Sostenibles: por qué son importantes. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*, (11). 11_Spanish_Why_it_Matters.pdf
- Ning, H., Li, Z., Qiao, S., Zeng, C., Zhang, J., Olatosi, B., & Li, X. (2023). Revealing geographic transmission pattern of COVID-19 using neighborhood-level simulation with human mobility data and SEIR model: A case study of South Carolina. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 118(103246), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103246>
- ONU-Hábitat (abril de 2023). *Densidad urbana y pandemia ¿Es la densidad de las ciudades un factor en el aumento de las tasas de infección y mortalidad por COVID-19?* <https://www.onu-habitat.org/index.php/densidad-urbana-y-pandemia>
- ONU-Hábitat (2025). *Ciudades compactas-story*. ONU-Habitat. El Programa de la Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. <https://onu-habitat.org/index.php/ciudades-compactas-story>
- ONU-Hábitat México (2016). *Índice de prosperidad urbana en la República Mexicana*. Reporte Nacional de Tendencias de la Prosperidad Urbana en México. CPI-Reporte-Ciudades-Mexico-2016.pdf
- Organización Panamericana de la Salud (2017). Módulos de principios de epidemiología para el control de enfermedades (MOPECE). *Serie PALTEX para Técnicos Medios y Auxiliares* (26). Módulos de principios de epidemiología para el control de enfermedades (MOPECE). Módulo 1: Presentación y marco conceptual
- Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud, Oficina Regional para las Américas (2018). *Indicadores de salud. Aspectos conceptuales y operativos*. Indicadores de Salud - Aspectos conceptuales y operativos - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud
- Organización Panamericana de la Salud (11 de marzo de 2020). *La OMS caracteriza a COVID-19 como una pandemia*. <https://www.paho.org/es/noticias/11-3-2020-oms-caracteriza-covid-19-como-pandemia>
- Organización Panamericana de la Salud (6 de mayo de 2023). *Se acaba la emergencia por la pandemia, pero la COVID-19 continúa*. <https://www.paho.org/es/noticias/6-5-2023-se-acaba-emergencia-por-pandemia-pero-covid-19continua#:~:text=Por%20lo%20tanto%2C%20declaro%20con,amenaza%20para%20la%20salud%20mundial>
- Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud (2020). *COVID-19. GLOSARIO SOBRE BROTES Y EPIDEMIAS. Un recurso para periodistas y comunicadores*. Oficina Regional para las Américas. COVID-19 Glosario sobre brotes y epidemias. Un recurso para periodistas y comunicadores - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud
- Portugali, J. (2016). What Makes Cities Complex? En J. S. Portugali, J. Stolk (Eds.) *Complexity, Cognition, Urban Planning and Design*. (pp. 3-19). Springer Proceedings in Complexity. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32653-5_1

- Randolph, H. E., & Barreiro, L. B. (2020). Herd Immunity: Understanding COVID-19. *Immunity*, 52(5), 737-741. <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2020.04.012>
- Real Academia Española. (19 de marzo de 2020). *Crisis del COVID-19: sobre la escritura de «coronavirus»*. <https://www.rae.es/noticia/crisis-del-covid-19-sobre-la-escritura-de-coronavirus>
- Real Academia Española (5 de abril de 2022). ¿Es «el COVID-19» o «la COVID-19»? <https://www.rae.es/duda-linguistica/es-el-covid-19-o-la-covid-19>
- Real Academia Española (2024). *Pandemia*. <https://dle.rae.es/pandemia?m=form>
- Richards, G., Carpenter, J., Heneghan, C., & Howard, D. (verano de 2022). The Commission on Creating Healthy Cities. *Healthy Cities Toolkit*. <https://www.healthycities-commission.org/>
- Rodríguez Sosa, M., & Sánchez Flores, E. (2020). *Densificación sustentable y habitable. Viabilidad urbana, económica y sociocultural*. México: Colofón.
- Sánchez Talanquer, M., & Sepúlveda, J. (coords.). (2024). *Informe de la Comisión Independiente de Investigación sobre la Pandemia de COVID-19 en México*. Aprender para no repetir. Informe-Comision-Independiente.pdf
- Sánchez Chillon, P. (2 de febrero de 2011). 'Public health is wealth': Urbanismo higienista y desarrollo urbano. *Urban & Public Affairs*. 'PUBLIC HEALTH IS WEALTH': URBANISMO HIGIENISTA Y DESARROLLO URBANO. – Pablo Sanchez Chillon
- Secretaría de Salud (2020). VacunaCovid. CALENDARIO DE VACUNACIÓN. <https://vacunacovid.gob.mx/calendario-vacunacion/>
- Secretaría de Educación Pública (8 de abril de 2021). Boletín SEP no. 67. Reitera SEP que el regreso a clases presenciales será gradual y en semáforo epidemiológico en verde. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/sep/articulos/boletin-sep-no-67-reitera-sep-que-el-regreso-a-clases-presenciales-sera-gradual-y-en-semaforo-epidemiologico-en-verde?idiom=es>
- Secretaría de Salud. (18 de agosto de 2015). CARTA DE OTTAWA publicado por la DGPS. 1ª Conferencia Internacional sobre Promoción de la Salud; Ottawa, Canadá (1986). Gobierno de México. <https://www.gob.mx/salud/documentos/carta-de-ottawa-publicado-por-la-dgps>
- Secretaría de Salud. (24 de marzo de 2020). 095. Inicia fase 2 por coronavirus COVID-19. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/salud/prensa/095-inicia-fase-2-por-coronavirus-covid-19>
- Secretaría de Salud. (16 de mayo de 2020). Municipios de la esperanza. Ciudad de México https://coronavirus.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Municipios_Esperanza_16052020.pdf (posible virus)
- Secretaría de Salud (21 de abril de 2020b). 110. Inicia la fase 3 por COVID-19. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/salud/prensa/110-inicia-la-fase-3-por-covid-19>
- Segob-Sedatu-Conapo-INEGI. (26 de enero de 2018). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/delimitacion-de-las-zonas-metropolitanas-de-mexico-2015>
- Tulchinsky, T. H. (2018). John Snow, Cholera, the Broad Street Pump; Waterborne Di-

- seases Then and Now. En *Case Studies in Public Health* (pp. 77–99). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804571-8.00017-2>
- The Lancet (2012). Shaping cities for health: a UCL/Lancet Commission. *The Lancet*, 379(9831), p. 2023. [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(12\)60870-8/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(12)60870-8/fulltext)
- UN-Habitat (2007). *Enhancing Urban Safety and Security: Global Report on Human Settlements 2007*. Nairobi: UN-Habitat - Earthscan. Enhancing Urban Safety and Security: Global Report on Human Settlements, 2007 | UN-Habitat
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018). The speed of urbanization around the world. *Population Facts*, (2018/1), pp. 1-2. https://population.un.org/wup/assets/WUP2018-PopFacts_2018-1.pdf
- Wheaton, W. C., & Kinsella Thompson, A. (6 de April de 2020). The Geography of COVID-19 Growth in the US: Counties and Metropolitan Areas. *SSRN*. pp.1-10. <https://ssrn.com/abstract=3570540> <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3570540> ,
- Wong, D. W., & Li, Y. (23 de diciembre de 2020). Spreading of COVID-19: Density matters. *PLOS ONE*, 15(12), 1-16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242398>
- World Health Organization (2021). *Health Promotion Glossary of Terms 2021*. Health Promotion Glossary of Terms 2021
- World Health Organization (2025). *Healthy cities*. <https://www.who.int/teams/health-promotion/enhanced-wellbeing/ninth-global-conference/healthy-cities>
- World Health Organization (2025b). *Creando ciudades saludables*. https://www-who-int.translate.goog/activities/creating-healthy-cities?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Sobre los autores

Marisol Rodríguez Sosa

Doctora en Urbanismo por la Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil (UFRJ), Master en Urbanismo (UFRJ) y Arquitecta. Profesora investigadora titular en el Departamento de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), Vocal de la Asociación Latinoamericana de Escuelas de Urbanismo y Planificación (ALEUP) y vicepresidenta de Investigación y Posgrado de la Asociación Nacional de Instituciones de la Enseñanza de la Planeación Territorial, el Urbanismo y el Diseño Urbano (ANPUD). Es miembro del SNII, Nivel 1. Sus líneas de investigación incluyen la sustentabilidad urbana, densidad urbana, vivienda social inclusiva, habitabilidad y vida urbana. Ha sido responsable técnica de diversos proyectos de investigación multidisciplinaria. Es autora de libros especializados; el más reciente *Densificación sustentable y habitable: viabilidad urbana, económica y sociocultural* (2020). Ha publicado diversos artículos en revistas científicas, así como capítulos de libro, entre los más recientes *Frontera Madre(hood) and Survival Tactics of Urban Life* (2024), *El derecho a la ciudad y la zonificación inclusiva y de cuidados* (2024). En la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), contribuyó a la creación de los programas de Doctorado en Estudios Urbanos y de Licenciatura en Diseño Urbano y del Paisaje, de este último fue fundadora y coordinadora por nueve años. Imparte diversas asignaturas en pregrado y posgrado, en temas de arquitectura, planeación, diseño y estudios urbanos.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5513-9355>

Academia: <https://independent.academia.edu/SolRs>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=UCT9YQsAAAAJ>

Erick Sánchez Flores

Doctor y Maestro en geografía por la Universidad de Arizona y Licenciado en Geografía por la Universidad Autónoma del Estado de México. Profesor-investigador de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Especialista en análisis espacial y sistemas de percepción remota. Es investigador nacional nivel I y sus intereses se enfocan en el análisis de la dinámica espacial de fenómenos urbano territoriales. En la UACJ fundó y coordinó el Doctorado en Estudios Urbanos y el Laboratorio de Análisis Urbano Territorial. Fue Director del Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte; Coordinador Institucional de Posgrado, y es Subdirector de Vinculación. Además, fue presidente del Consejo Mexicano de Estudios de Posgrado (COMPEPO) y participa en la red de líderes globales en educación de posgrado del *Council of Graduate Sochools*. Entre sus publicaciones recientes destacan *La retribución social de posgrados en México: un diálogo nacional*, publicado por la Universidad de Guadalajara (2024); *Densificación sustentable y habitable. Viabilidad urbana, económica y sociocultural* (2020); *Spatial multicriteria model to analyze residential segregation in the colonias of El Paso, Texas* (2020), y *Vivienda vertical social en la frontera norte de México: criterios para una densificación sustentable* (2019).

ORCID: orcid.org/0000-0001-7963-1128

Academia: <https://independent.academia.edu/ErickSanchez431>

Google Académico: <https://myaccount.google.com/personal-info?hl=en>

Ciudades saludables en-pandemia. Densidad urbana y COVID-19 en México, de Marisol

Rodríguez Sosa y Erick Sánchez Flores publicado por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V. en versión digital para acceso abierto en los formatos PDF, EPUB y HTML.

Este libro presenta los resultados de una investigación que tuvo como objetivo examinar desde el caso de los municipios mexicanos la relación entre la incidencia y mortalidad por COVID-19 y la densidad de población, así como otros atributos urbanos. La investigación fue conducida desde una perspectiva integradora de los estudios urbanos y de salud pública, con una metodología de tipo cuantitativo y correlacional, recurriendo a pruebas de correlación estadística y de autocorrelación espacial.

Los autores sostienen que se encontró evidencia en los datos de una correlación positiva entre la densidad de población y el comportamiento del COVID-19, pero esta es moderada, siendo más significativa con la superficie habitada municipal y la población municipal; lo que implica que las poblaciones de las zonas metropolitanas y de las megaciudades están expuestas a mayor riesgo de contagiarse y fallecer por COVID-19. Por lo que, desde la planeación urbana, consideran que no debe abandonarse la ciudad compacta, sino orientarse a promover “metrópolis saludables en-pandemia”; dados los riesgos diferenciados que presentan ante futuras pandemias, y considerando que en ellas habitan más de la mitad de los mexicanos y que aportan en mayor medida al PIB nacional.



Marisol Rodríguez Sosa es Doctora en Urbanismo por la Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil; Master en Urbanismo y Arquitectura. Actualmente es profesora investigadora titular en el Departamento de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), Vocal de la Asociación Latinoamericana de Escuelas de Urbanismo y Planificación y Asesora de la Asociación Nacional de Instituciones de la Enseñanza de la Planeación Territorial, el Urbanismo y el Diseño Urbano. Es miembro del SNII de la Secihti, Nivel I.



Erick Sánchez Flores es Doctor y Maestro en Geografía por la Universidad de Arizona y Licenciado en Geografía por la Universidad Autónoma del Estado de México. Actualmente es profesor investigador de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Especialista en análisis espacial y sistemas de percepción remota. Es miembro del SNII de la Secihti, nivel I y sus intereses se enfocan en el análisis de la dinámica espacial de fenómenos urbano territoriales.



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
CIUDAD JUÁREZ

ISBN 978-607-520-560-1



**EDICIONES
COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA** PUBLICACIONES
ARBITRADAS

comunicacion-cientifica.com

ISBN 978-968-9738-46-6



Dimensions



2000922



Google
Scholar



[DOI.ORG/10.52501/CC.344](https://doi.org/10.52501/CC.344)

ISBN: 978-607-520-560-1



9 786075 205601