

Atlas de vulnerabilidad urbana ante COVID-19 en las Zonas Metropolitanas de México

Metodología

**Manuel Suárez Lastra, Mateo Carlos Galindo Pérez,
Luis Enrique Salvador Guzmán, Ana Rosa Rosales Tapia,
Naxhelli Ruiz Rivera, Irasema Alcántara-Ayala, Oralia Oropeza Orozco,
Malaquías López Cervantes, María Teresa Sánchez Salazar,
María del Carmen Juárez Gutiérrez, Carlos Valdés González,
William Lee Alardin, Héctor Benítez Pérez, Oscar Arturo Bringas López,
Armando Peralta Higuera y Ricardo Javier Garnica-Peña**





Atlas de vulnerabilidad urbana ante COVID-19 en las Zonas Metropolitanas de México, se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC)

Primera edición, 9 de junio de 2020

Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad Universitaria,
Coyoacán, 04510 México, Cd. Mx.
Instituto de Geografía,
www.unam.mx
www.igeograf.unam.mx

La presente publicación presenta los resultados de una investigación científica y contó con dictámenes de expertos externos, de acuerdo con las normas editoriales del Instituto de Geografía

DOI: <http://dx.doi.org/10.14350/atlas.13.covid>
DOI: <http://dx.doi.org/10.14350/atlas.13.covid.mtdlg>

Corrección de estilo: Raúl Marcó del Pont Lalli
Diseño y formación: Laura Diana López Ascencio

Hecho en México

Editor académico: María Teresa Sánchez Salazar
Editor asociado: Héctor Mendoza Vargas
Editor técnico: Raúl Marcó del Pont Lalli

Coordinadores generales:

Manuel Suárez Lastra
Mateo Carlos Galindo Pérez
Ana Rosa Rosales Tapia
Luis Enrique Salvador Guzmán

Asesores cartográficos:

Atlántida Coll Hurtado
María Teresa Sánchez Salazar
José María Casado Izquierdo

Planeación, logística y diseño web:

Daniela Fernández y Fernández

Elaboración de cartografía:

Mateo Carlos Galindo Pérez
Ana Rosa Rosales Tapia
Luis Enrique Salvador García
Victor Reyes García
Miguel Ángel Rebollos Martínez
Luis David Ramírez Bautista

ZM	Autores por orden de aparición	Institución de adscripción
Metodología	Manuel Suárez Lastra ¹ Mateo Carlos Galindo Pérez ¹ Luis Enrique Salvador Guzmán ¹ Ana Rosa Rosales Tapia ¹ Naxhelli Ruiz Rivera ¹ Irasema Alcántara-Ayala ¹ Oralia Oropeza Orozco ¹ Malaquías López Cervantes ³ María Teresa Sánchez Salazar ¹ María del Carmen Juárez Gutiérrez ¹ Carlos Valdés González ² William Lee Alardin ⁵ Héctor Benítez Pérez ⁶ Oscar Arturo Bringas López ⁴ Armando Peralta Higuera ¹ Ricardo Javier Garnica-Peña ¹	¹ Instituto de Geografía-UNAM ² Instituto de Geofísica-UNAM ³ Facultad de Medicina-UNAM ⁴ Facultad de Ciencias-UNAM ⁵ Coordinación de la Investigación Científica-UNAM ⁶ Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas-UNAM
Zona metropolitana del Valle de México	María Teresa Sánchez Salazar Manuel Suárez Lastra	Instituto de Geografía-UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Guadalajara	Víctor Hugo Vargas Espinosa David Romero Hernández Rocío Castillo-Aja Néstor Corona Morales María-Teresa Ramírez-Herrera	Facultad de Ingeniería-UNAM Facultad de Ciencias-UNAM Universidad de Guadalajara Colegio de Michoacán Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Monterrey	Enrique Propin Frejomil	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Puebla-Tlaxcala	Lorena Cabrera Montiel Genaro Javier Delgado Campos	Universidad Iberoamericana de Puebla Instituto de Geografía – Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad – UNAM
Zona metropolitana de Toluca	Gustavo G. Garza Merodio	Unidad Académica de Estudios Territoriales – Instituto de Geografía- UNAM
Zona metropolitana de Tijuana	Lilia Susana Padilla y Sotelo Edgar Vargas Santana Rosa Alejandrina De Sicilia Muñoz	Instituto de Geografía-UNAM Instituto de Geografía-UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de León	María del Carmen Juárez Gutiérrez Marena Sofía García Gómez	Instituto de Geografía-UNAM Secretaría de Administración y Finanzas de la CDMX
Zona metropolitana de Juárez	Enrique Propin Frejomil	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de La Laguna	Álvaro Sánchez Crispín	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Querétaro	Genaro Javier Delgado Campos	Instituto de Geografía – Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad – UNAM
Zona metropolitana de SLP-Soledad	Abigail Vanessa Rojas Huerta	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Mérida	María Engracia Hernández Cerda Olivia Salmerón García	Instituto de Geografía-UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Mexicali	María del Carmen Juárez Gutiérrez	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Aguascalientes	Quetzalcóatl Orozco Ramírez	Unidad Académica Oaxaca – Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Cuernavaca	María José Ibarrola Rivas	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Acapulco	Guadalupe Rebeca Granados Ramírez Alma Villaseñor Franco Alejandra Toscana Aparicio	Instituto de Geografía-UNAM Universidad Autónoma de Guerrero Universidad Autónoma Metropolitana
Zona metropolitana de Tampico	Lilia Susana Padilla y Sotelo Edgar Vargas Santana Rosa Alejandrina De Sicilia Muñoz	Instituto de Geografía-UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Chihuahua	Ariadne Elena Rivera Aguirre Miguel Ángel Ramírez Beltrán	School of Medicine- New York University Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Morelia	Víctor Hugo Vargas Espinosa David Romero Hernández Rocío Castillo-Aja Néstor Corona Morales María-Teresa Ramírez-Herrera	Facultad de Ingeniería-UNAM Facultad de Ciencias-UNAM Universidad de Guadalajara Colegio de Michoacán Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Saltillo	Álvaro Sánchez Crispín	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Veracruz	Gustavo G. Garza Merodio	Unidad Académica de Estudios Territoriales – Instituto de Geografía- UNAM
Zona metropolitana de Villahermosa	Aída Armenta Dacea	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Zona metropolitana de Reynosa-Río Bravo	José Jonathan Ibarra Coronel Guillermo Castillo Ramírez	Instituto de Geografía-UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez	Ángel Emmanuel Zúñiga Tovar	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Cancún	José Gasca Zamora	Instituto de Investigaciones Económicas-UNAM

ZM	Autores por orden de aparición	Institución de adscripción
Zona metropolitana de Xalapa	Armando Peralta Higuera	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Oaxaca	Enrique Pérez Campuzano	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Celaya	Oralia Oropeza Orozco María del Pilar Fernández Lomelín	Instituto de Geografía-UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Poza Rica	Guillermo Olivera Lozano	Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias-UNAM
Zona metropolitana de Pachuca	Genaro Javier Delgado Campos	Instituto de Geografía – Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad - UNAM
Zona metropolitana de Tlaxcala-Apizaco	María Teresa Sánchez Salazar	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Matamoros	Armando Peralta Higuera	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Cuautla	Guillermo Olivera Lozano	Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias-UNAM
Zona metropolitana de Tepic	Armando Peralta Higuera	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Orizaba	Rafael Arturo Muñoz-Márquez Trujillo Jairo Agustín Reyes Plata H. Saúl Castilla Moyado	Colegio de Postgraduados-Campus Córdoba Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad León-UNAM Facultad de Arquitectura, Córdoba-Universidad Veracruzana
Zona metropolitana de Nuevo Laredo	José Jonathan Ibarra Coronel Guillermo Castillo Ramírez	Instituto de Geografía-UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Puerto Vallarta	Enrique Pérez Campuzano	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Minatitlán	María Teresa Sánchez Salazar	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Coatzacoalcos	José María Casado Izquierdo	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Colima-Villa de Álvarez	Olivia Salmerón García Raúl Aguirre Gómez	Instituto de Geografía-UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Monclova-Frontera	Laura Alejandra Garrido Rodríguez Enrique Pérez Campuzano	Centro de Estudios Sociológicos, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales-UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Córdoba	Rafael Arturo Muñoz-Márquez Trujillo Jairo Agustín Reyes Plata H. Saúl Castilla Moyado	Colegio de Postgraduados-Campus Córdoba Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad León-UNAM Facultad de Arquitectura, Córdoba-Universidad Veracruzana
Zona metropolitana de Zacatecas-Guadalupe	María Teresa Sánchez Salazar	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Tehuacán	Daniela Barrañón Gallardo Enrique Pérez Campuzano	Facultad de Arquitectura-UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Zamora-Jacona	Ana Rosa Rosales Tapia	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de La Piedad-Pénjamo	Susana Suárez Paniagua Verónica del Rocío Zúñiga Arrieta	Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad León-UNAM
Zona metropolitana de Tulancingo	Daniela Barrañón Gallardo Enrique Pérez Campuzano	Facultad de Arquitectura-UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Tula	Jairo Agustín Reyes Plata Rafael Arturo Muñoz-Márquez Trujillo	Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad León-UNAM Colegio de Postgraduados-Campus Córdoba
Zona metropolitana de Guaymas	Luis Enrique Salvador Guzmán	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de San Francisco del Rincón	Susana Suárez Paniagua Verónica del Rocío Zúñiga Arrieta	Universidad Autónoma de Guerrero
Zona metropolitana de Piedras Negras	José Jonathan Ibarra Coronel Guillermo Castillo Ramírez	Instituto de Geografía-UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Tehuantepec	Gustavo G. Garza Merodio	Unidad Académica de Estudios Territoriales - Instituto de Geografía- UNAM
Zona metropolitana de Tianguistenco	Laura Alejandra Garrido Rodríguez Enrique Pérez Campuzano	Centro de Estudios Sociológicos, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Tecomán	Pedro Irving Cerón Portuguez Carlos Mateo Galindo Pérez	Facultad de Arquitectura-UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Ocotlán	Ana Patricia Méndez Linares	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Ríoverde-Ciudad Fernández	Pedro Irving Cerón Portuguez Carlos Mateo Galindo Pérez	Facultad de Arquitectura-UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Teziutlán	Irasema Alcántara-Ayala Ricardo Javier Garnica-Peña Atlántida Coll-Hurtado	Instituto de Geografía-UNAM Instituto de Geografía-UNAM Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Acayucan	María Teresa Sánchez Salazar	Instituto de Geografía-UNAM
Zona metropolitana de Moroleón-Uriangato	Susana Suárez Paniagua Verónica del Rocío Zúñiga Arrieta	Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad León-UNAM

Contenido

Introducción	5
Breve marco metodológico	7
Terminología	7
Metodología	8
Construcción del índice	8
Selección y cálculo de indicadores	10
Dimensión Socioeconómica	12
Referencias	13
Fuentes de datos	16

Introducción

Este atlas muestra los resultados de la elaboración de un índice de vulnerabilidad urbana ante el COVID-19 para 59 zonas metropolitanas de México, que en 2010 representaban aproximadamente el 60% de la población del país (Figura 1). El índice integra aspectos demográficos, socioeconómicos y de accesibilidad a servicios de salud de la población, a nivel de área geográfica estadística básica (AGEB).

En el contexto de la actual pandemia por COVID-19 en México, las ciudades juegan un papel preponderante. Por un lado, han sido los puertos de entrada del SARS-COV-2, por lo que en ellas se origina la propagación hacia los lugares con menor urbanización. Por otro lado, son los centros en los que se concentra la infraestructura de salud, además de ser los polos económicos de los que depende la distribución de bienes, y en gran parte la economía del país.

Desde el ámbito geográfico, además del carácter de la distribución territorial de la epidemia, es importante conocer la distribución espacial de la población que está expuesta al virus, sus características y los efectos diferenciados que la COVID-19 pueda tener sobre distintos grupos sociales. Diferentes grupos poblacionales tienen diversos grados de vulnerabilidad, en términos demográficos, socioeconómicos y de salud. Aunque a nivel nacional y regional las ciudades posiblemente sean los lugares menos vulnerables, a escala metropolitana existen patrones espaciales de grados de vulnerabilidad internos cuya distribución requiere de una escala más detallada que la municipal.

Aunque todas las personas son susceptibles al contagio, algunos grupos sociales son más vulnerables que otros en función de sus características, que se buscan conocer a través del índice que aquí se presenta. Por ejemplo, la condición de edad avanzada aumenta la probabilidad de complicaciones de la enfermedad, mientras que las carencias en términos del desarrollo humano hacen vulnerable a la población que tendrá mayor dificultad para sobrellevarlos aun sin estar contagiada. Por otro lado, la baja accesibilidad a la infraestructura de salud, particularmente la más especializada, así como su calidad, exacerba la vulnerabilidad debido a la imposibilidad de alcanzar atención médica, al tiempo que aspectos como la densidad poblacional de las ciudades aumentan la vulnerabilidad en las mismas al facilitar una mayor tasa de contagio.

Para generar este índice metropolitano de vulnerabilidad ante COVID-19 se tomó como referencia el índice de vulnerabilidad ante COVID-19 (Suárez *et al.*, 2020) a nivel municipal, utilizando las variables de dicho índice disponibles a nivel de AGEB, y aquellas que aproximarán las que no estaban disponibles a esta escala. Cabe señalar que ese índice fue el producto del consenso entre un grupo de académicos expertos en salud, vulnerabilidad y riesgo, a través de los cuales se discutió una amplia gama de variables e indicadores, su disponibilidad y características espaciales, así como las metodologías más adecuadas para la construcción de un índice de estas características.

México: Zonas Metropolitanas, 2010



Fuente: Elaborado con base en CONAPO, 2010.

Autores: Suárez et al., UNAM, 2020

Figura 1. México: zonas metropolitanas, 2010.

Debido a la emergencia sanitaria y al imperante proceso de recuperación económica, era necesario desarrollar este índice en el menor tiempo posible. Por ello, se optó por una metodología robusta, utilizada previamente, cuyo procesamiento de variables críticas fuese rápido, pero con la flexibilidad suficiente para ampliar o ajustar el índice en el futuro para escenarios específicos. Un índice de esta naturaleza permite identificar la distribución y combinación espacial de los diferentes factores que generan mayor susceptibilidad al daño o las consecuencias adversas que pueden tener las personas; esta información facilita que diferentes entidades de la administración pública puedan tomar decisiones informada con bases científicas.

El índice de vulnerabilidad integra tres dimensiones relevantes para la identificación de los grados de vulnerabilidad: demográfica (CEPAL, 2002; Garay y Montes de Oca, 2011; Sánchez-González y Egea-Jiménez, 2011); de salud (Instituto Nacional de Salud Pública, México, 2007; Juárez-Ramírez *et al.*, 2014) y socioeconómica (Kaztman, 1999; Rey *et al.*, 2009). Cada dimensión está construida a partir de una serie de indicadores cuya relevancia se basa en la revisión de trabajos publicados en cada una de las áreas de conocimiento que, además, existen como información

pública, y que miden los aspectos que consideramos más críticos en cuanto a la vulnerabilidad a los efectos de la pandemia.

Al momento de escribir este trabajo, el país se encuentra en la llamada Fase III de la epidemia, con la recomendación de que la población se quede en casa, y ante un inminente levantamiento de algunas medidas de contingencia en más de 250 municipios —en su mayoría no urbanos— con el fin de comenzar con la reactivación de sus economías locales.

A medida en que se suspendan las medidas de contingencia, distintos lugares del país requerirán intervenciones de distinta naturaleza. Esto es cierto, también, hacia dentro de las zonas metropolitanas, que requerirán políticas de reactivación económica diferenciadas, de acuerdo con las características de sus poblaciones y su distribución territorial. La intención es que este atlas pueda ser de utilidad para la toma de decisiones enfocadas en políticas locales.

Breve marco metodológico

Terminología

Para los fines de este trabajo se utiliza la terminología de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre (UNISDR, 2017):

- El *riesgo* se define como “la posibilidad de que se produzcan muertes, lesiones o destrucción y daños en bienes en un sistema, una sociedad o una comunidad en un período de tiempo concreto, determinados de forma probabilística como una función de la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad” (pp. 14).
- Las *amenazas* constituyen los procesos, fenómenos o actividad humana que pueden ocasionar muertes, lesiones u otros efectos en la salud, daños a los bienes, interrupciones sociales y económicas o daños ambientales. En el caso de la COVID-19, el SARS-CoV-2 es una amenaza de tipo biológico.
- La *exposición* refiere a la localización en que se encuentran las personas, infraestructuras, viviendas y capacidades de producción y otros activos humanos tangibles situados en zonas expuestas al contagio por COVID-19.
- El nivel de *vulnerabilidad* de los habitantes ante el efecto potencial del COVID-19 deriva de las características de las personas o grupos en términos de morbilidad, así como de las condiciones sociales, culturales y económicas que influyen en su capacidad para anticipar, hacer frente, resistir y recuperarse de los efectos adversos del coronavirus (Blaikie *et al.*, 1994; UNISDR, 2017).
- La *capacidad* resulta de la combinación de todas las fortalezas, los atributos y los recursos disponibles dentro de una organización, comunidad o sociedad que pueden utilizarse para

gestionar y reducir el impacto de una amenaza; en el caso del impacto del COVID-19 en la población, es de suma relevancia considerar la capacidad del sistema de salud en los diferentes niveles territoriales.

Así, el riesgo ante COVID-19 resulta de la combinación de la amenaza, la vulnerabilidad, la exposición y la capacidad individual y colectiva de la sociedad para responder ante el SARS-CoV-2.

Metodología

En general, existen tres estrategias para elaborar índices de vulnerabilidad (Tate, 2012). Las estrategias aditivas (aditiva jerárquica y aditiva ponderada) (Bollin y Hidajat 2006; García *et al.*, 2006; Dwyer *et al.*, 2004); las factoriales (Cutter, *et al.*, 2003; Borja-Vega *et al.*, 2013; Cutter y Morath, 2013) y las matriciales (cruce de valores relativos y absolutos) (Barrenechea *et al.*, 2000; Natenzon, 2015).

Los índices contruidos a partir de estrategias aditivas se utilizan para identificar la dimensión social que tiene mayor interés; para comunicar qué elementos de la sociedad muestran los valores más bajos o precarios, y para mostrar de una manera directa qué factores suman o restan a un determinado proceso. Las estrategias que se basan en el método de componentes principales calculan la varianza que cada una de las variables explica en un modelo de vulnerabilidad. Por otro lado, la estrategia matricial sirve para ponderar tanto los valores absolutos como la intensidad de la desventaja o “masa carencial”.

Para este trabajo se escogió una estrategia aditiva jerárquica, en la cual la sumatoria de los componentes tiene una estructura jerárquica, que se compone de subconjuntos de indicadores, cuyos pesos relativos suman 1. Estos indicadores están normalizados en escalas ordinales, las cuales se definen a través de cinco cortes, que permiten evaluar las heterogeneidades en términos de vulnerabilidad y exposición que muestran los indicadores en cada uno de los municipios. Los valores normalizados se suman para dar lugar a los valores de cada subconjunto (vector) de vulnerabilidad. La estrategia aditiva jerárquica tiene como ventaja la posibilidad de separar los componentes de la vulnerabilidad en distintos conjuntos o vectores claramente identificables, de manera que los indicadores hagan visibles los componentes de desventaja, sin que su integración en el índice produzca su desdibujamiento. Por otro lado, la agrupación jerárquica de componentes permite distribuir la ponderación o peso que cada uno de ellos tiene, sea, como en este caso, de manera equitativa, o bien, de manera ponderada cuando ello sea posible.

Construcción del índice

El índice de vulnerabilidad generado en este trabajo se construyó a partir de tres dimensiones que integran principalmente variables relativas y una variable absoluta (densidad de población).



Dimensiones de vulnerabilidad

La dimensión demográfica la componen variables asociadas con las características de la población que, por las particularidades de la infección por el virus SARS-CoV-2, pueden ser factores que aumenten la vulnerabilidad. Esta dimensión considera también los aspectos socioculturales de la población que dificultan el acceso a los recursos de información para prevenir el contagio, y factores que se han asociado a un menor acceso a los servicios médicos indispensables una vez que han adquirido la infección.

La dimensión de salud la componen variables asociadas a la infraestructura sanitaria y al personal médico disponible en las zonas metropolitanas respecto a su población. Las mediciones son estandarizadas de manera relativa a las realizadas en la Ciudad de México. Se considera que las AGEB que cuenten con una menor accesibilidad a la infraestructura de salud y personal médico serán más vulnerables.

La dimensión socioeconómica está compuesta por variables que están relacionadas al bienestar de la población en términos de satisfactores básicos, derechos y capacidad económica. Esta dimensión también incluye la probabilidad de exposición al virus dadas las características de poblamiento y el empleo disponible que influyen en el grado de movilidad.

El valor para cada una de las dimensiones se obtuvo cortando en quintiles cada una de las variables que las componen y asignando un valor entre 1 y el 5 a cada caso, de manera que un valor de 1 representa el valor más bajo de vulnerabilidad y 5 al más alto. Posteriormente, se calculó el promedio de los nuevos valores del conjunto de las variables de cada dimensión.

Los valores de corte son relativos a cada zona metropolitana, excepto en el caso de los indicadores de salud, cuyos valores más bajos son cercanos a 0 y los más altos corresponden a la mayor accesibilidad en el país, en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

El índice de vulnerabilidad es el resultado de sumar los valores de cada una de las dimensiones, ponderadas por un factor de 1/3. El indicador resulta ser una variable ordinal, por lo que su valor numérico no tiene una interpretación directa más allá de una relación mayor que, menor que. Para facilitar su interpretación y su representación cartográfica el índice se categorizó en cuatro grupos o clases (cuartiles) que representan cuatro grados de vulnerabilidad: Medio, Alto, Muy alto y Crítico.

Representación matemática

La representación matemática del cálculo del índice de vulnerabilidad para las dimensiones demográfica y socioeconómica se expresa con la siguiente fórmula:

$$IV_{az} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 D_{aiz}; D_{aiz} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} Q_{aijz}(x); n_i = \#Q_{aijz} \quad (\text{Fórmula 1})$$

$$Q_{aijz}(X) = \begin{cases} q, P_{(20 \cdot (q-1)),z} < X_{aijz} \leq P_{(20 \cdot q),z}; q \in \{1, 2, 3, 4, 5\} \\ 0, \text{cualquier otro caso} \end{cases}$$



Donde:

IV_{az} = Índice de vulnerabilidad de la a-ésima AGEB en la z-ésima zona metropolitana.

D_{aiz} = Es la i-ésima dimensión de vulnerabilidad de la a-ésima AGEB en la z-ésima zona metropolitana.

n_i = Es el número de variables que conforman la i-ésima dimensión de vulnerabilidad de la a-ésima AGEB.

$Q_{aijz}(X)$ = Es el quintil de pertenencia de la j-ésima variable observada que forma parte de la i-ésima dimensión de vulnerabilidad de la a-ésima AGEB en la z-ésima zona metropolitana.

X_{aijz} = Es la j-ésima variable observada que se usa para calcular la i-ésima dimensión de vulnerabilidad de la a-ésima AGEB en la z-ésima zona metropolitana.

$P_{\alpha,z}$ = Es el percentil α de la variable observada (X_{aijz}) en la z-ésima zona metropolitana y $\alpha \in [0,100]$.

Para la dimensión de salud, el índice de vulnerabilidad se calcula de manera análoga; sin embargo, las variables observadas son estandarizadas de manera relativa a las mediciones realizadas en la Ciudad de México, una vez estandarizadas las variables, se realiza la asignación de quintiles. Las fórmulas son las siguientes:

$$S_{aijz} = \frac{X_{aijz} - \min(X_{aijz^*})}{\max(X_{aijz^*}) - \min(X_{aijz^*})}$$

$$Q_{aijz}(S) = \begin{cases} q, P_{(20 \cdot (q-1)),z^*} < S_{aijz} \leq P_{(20 \cdot q),z^*}; q \in \{1, 2, 3, 4, 5\} \\ 0, \text{cualquier otro caso} \end{cases}$$

Donde:

X_{aijz} = Es la j-ésima variable observada que se usa para calcular la dimensión de salud que mide la vulnerabilidad de la a-ésima AGEB en la z-ésima zona metropolitana.

X_{aijz^*} = Es la j-ésima variable observada que se usa para calcular la dimensión de salud que mide la vulnerabilidad de la a-ésima AGEB en la Ciudad de México.

$Q_{aijz}(S)$ = Es el quintil de pertenencia de la j-ésima variable estandarizada que forma parte de la dimensión de salud que mide la vulnerabilidad de la a-ésima AGEB en la z-ésima zona metropolitana.

S_{aijz} = Es la j-ésima variable estandarizada que se usa para calcular la dimensión de salud que mide la vulnerabilidad de la a-ésima AGEB en la z-ésima zona metropolitana.

P_{α,z^*} = Es el percentil α de la variable observada (S_{aijz}) en la Ciudad de México y $\alpha \in [0,100]$.

Selección y cálculo de indicadores

La siguiente sección muestra la selección de indicadores y las dimensiones a las que pertenecen. Los datos de población corresponden a los principales resultados por AGEB del censo de 2010, que

es la fuente de datos poblacionales más reciente desagregada a ese nivel. Los datos de infraestructura de salud provienen de los Cubos Dinámicos, 2018, de la Dirección General de Información en Salud de la Secretaría de Salud. Los datos económicos provienen del Directorio Nacional de Unidades Económicas 2019.

Dimensión demográfica

Densidad de población. Es la población total del AGEB dividida por su área en hectáreas. Las AGEB más densas son susceptibles a un mayor número de casos y la variable se utiliza para ponderar el resto de las variables sociodemográficas.

Porcentaje de población mayor a 60 años. De acuerdo con la información disponible sobre las características infecciosas del SARS-CoV-2 (Lai *et al.*, 2020), la población mayor a 60 años tiene mayor probabilidad de tener complicaciones en caso de ser infectados. Para el cálculo del indicador se dividió el total de personas de 60 años y más entre la población total del AGEB y se multiplicó por 100.

Porcentaje de población hablante de lengua indígena. La población indígena tiene mayor grado de vulnerabilidad por la discriminación sistemática de la que es objeto en la prestación de servicios de salud (Leyva-Flores *et al.*; 2013, Hurtado-Saa, Rosas-Vargas y Valdés-Cobos, 2012; Horbath y Gracia 2012). Para el cálculo de este indicador se dividió el total de población hablante de lengua indígena de 3 años y más entre la población total del AGEB y se multiplicó por 100.

Porcentaje de población que solo habla una lengua indígena. Este grupo tiene una mayor vulnerabilidad debido a la falta de un enfoque de interculturalidad en los programas de salud dirigidos a la población indígena, particularmente la monolingüe, que reduce sus garantías de derecho de acceso a la información y limitan la atención que se le presta a este sector en instalaciones de servicios de salud (Monroy 2017; Figueroa 2009). Para el cálculo del indicador se dividió el total de población monolingüe de 3 años y más entre la población total del AGEB y se multiplicó por 100.

Dimensión salud

Accesibilidad a camas hospitalarias y camas hospitalarias en unidades de cuidados intensivos (UCI). Ambos indicadores reflejan la capacidad de atención (general y especializada) de las unidades médicas de cada área metropolitana. Por las características ya explicadas de los índices de vulnerabilidad, la escala de las variables está invertida, de manera que a medida que el valor del indicador aumenta, el número relativo de camas es menor. Para el cálculo de accesibilidad a camas hospitalarias se utilizó la siguiente fórmula:

$$A_{ci} = \sum_{j=1}^n \left(\frac{C_j}{P_i} \cdot D_{ij}^{-1} \right) \quad (\text{Fórmula 2})$$



Donde:

A_{ci} = Accesibilidad a camas en AGEB i

C_j = Número de camas hospitalarias en AGEB j

P_i = Población en AGEB i

D_{ij}^{-1} = Inverso de la distancia euclideana entre los centroides de las AGEB i y j

Para el cálculo de accesibilidad a camas en UCI se utilizó la fórmula 2, reemplazando las camas hospitalarias por las camas en UCI.

Accesibilidad a médicos generales y especialistas y personal de enfermería. Ambos indicadores están asociados al personal disponible para atender pacientes. La escala de las variables está invertida, de manera que a medida que sus valores aumentan, el número de médicos o personal de enfermería relativo a la población disminuye.

Para ambos indicadores se utiliza la fórmula 2 reemplazando las camas por el número de personal médico y de enfermería, respectivamente.

Dimensión Socioeconómica

Índice de marginación urbana del AGEB. Es un indicador elaborado por el Consejo Nacional de Población que mide las carencias de la población a través de indicadores de déficit y es el resultado de un análisis de componentes principales que incluye las siguientes variables:

- % Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela
- % Población de 15 años o más sin educación básica completa
- % Población sin derechohabencia a los servicios de salud
- % Hijos fallecidos de las mujeres de 15 a 49 años de edad
- % Viviendas particulares habitadas sin drenaje conectado a la red pública o fosa séptica
- % Viviendas particulares habitadas sin excusado con conexión de agua
- % Viviendas particulares habitadas sin agua entubada dentro de la vivienda
- % Viviendas particulares habitadas con piso de tierra
- % Viviendas particulares habitadas con algún nivel de hacinamiento
- % Viviendas particulares habitadas sin refrigerador

Este indicador se tomó directamente del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2015).

Porcentaje de viviendas con un solo cuarto. Es una medida de hacinamiento. Indica la imposibilidad en un hogar de proteger a personas vulnerables, aislar a las personas contagiadas del virus SARS-CoV-2, además de representar una mayor concentración de personas en el espacio físico

de la vivienda, facilitando el contagio. Por esta razón se recomendó también dentro de la vivienda mantener la sana distancia entre los miembros de la familia (SSa, 2020; IMSS, 2020). Si bien el índice de marginación urbana considera el hacinamiento (viviendas en las que hay más personas que cuartos), en las viviendas que solo tienen un cuarto es más difícil segregarse a los integrantes del que son más vulnerables, o en su caso, a los enfermos.

Acceso a medios de comunicación dentro de la vivienda. Es un indicador de las posibilidades de la población de recibir mensajes a través de los medios de comunicación masivos, bajo el supuesto de que mayor acceso a diversos medios de comunicación conlleva una mayor posibilidad de recibir la información mínima esencial para generar acciones de autoprotección. Contempla cobertura de aparatos de radio y televisión, posesión de teléfono celular y acceso a internet. Para el cálculo de este indicador se promediaron los porcentajes de hogares con radio, televisión, celular o internet dentro del AGEB. La escala de valores de la variable se invierte en el análisis para que denote vulnerabilidad.

Porcentaje de la población ocupada. Es la población ocupada sobre la población total del AGEB. Se considera que a medida que la proporción de personas que trabajan es mayor, el AGEB es menos vulnerable, en igualdad de circunstancias, por tener una mayor capacidad de resistencia y de resiliencia.

Densidad de empleos. Es un indicador de la estructura y capacidad económica del AGEB que aumenta junto con la densidad de empleos. Está calculada como el número de empleos totales sobre el área del AGEB. El número de empleos se calculó, a partir del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), como una suma ponderada de los puntos medios de los intervalos de clase.

Las bases de datos utilizadas para elaborar los mapas de cada indicador y los mapas síntesis utilizados para este estudio se encuentran disponibles en:

<https://www.gits.igg.unam.mx/iCOVID-19/home>

Referencias

- Barrenechea, J., Gentile, E., González, S. y Natenzon, C. (2000). Una propuesta metodológica para el estudio de la vulnerabilidad social en el marco de la teoría social del riesgo. Buenos Aires: PIRNA, Instituto de Geografía, FFyL/UBA. Recuperado de <https://bit.ly/2TsSKPN>
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. y Wisner, B. (2014). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge.
- Bollin, C. y Hidajat, R. (2006). Community-based disaster risk index: Pilot implementation in Indonesia. En J. Birkmann (Ed.), *Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies* (pp. 271-89). Tokio, Nueva York: United Nations University.
- Borja-Vega, C. y de la Fuente, A. (2013). *Municipal Vulnerability to Climate Change and Climate-Re-*



- lated Events in Mexico. The World Bank. Recuperado de <http://documents.worldbank.org/curated/en/327691468281941794/pdf/wps6417.pdf>
- CEPAL. (2002). *Vulnerabilidad sociodemográfica. Viejos y nuevos riesgos para comunidades, hogares y personas*. LC/R.2086. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/13051/S2002632_es.pdf
- CONAPO. (2015). *Índice de Marginación 2015*. México: Consejo Nacional de Población, Secretaría de Gobernación.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J. y Shirley, W. L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242-61. DOI: 10.1111/1540-6237.8402002.
- Cutter, S. L., Ismail-Zadeh, A., Alcántara-Ayala, I., Altan, O., Baker, D. N., Briceño, S., Gupta, H., Holloway, A., Johnston, D., McBean, G. A., Ogawa, Y., Paton, D., Porio, E., Silbereisen, R.K., Takeuchi, K., Valsecchi, G.B., Vogel y C., Wu, G. (2015). Global risks: Pool knowledge to stem losses from disasters. *Nature*, 522 (7556), 277-279. DOI: 10.1038/522277a
- Cutter, S.L. y Morath, D.P. (2013). The evolution of the social vulnerability index. En J. Birkmann, J. (Ed.), *Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies* (2nd ed.) (pp. 304-321). Tokio: United Nations University Press.
- Díaz-Muñoz, M. Á. y Díaz-Castillo, C. (2001). El análisis de la vulnerabilidad en la cartografía de riesgos tecnológicos: Algunas cuestiones conceptuales y metodológicas. *Serie Geográfica*, 10, 27-41.
- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S. y Roberts, S. (2004). *Quantifying Social Vulnerability: A Methodology for Identifying Those at Risk to Natural Hazards*. Canberra, Australia: Geoscience Australia.
- Figuroa, M. (2009). Estrategias para superar las barreras idiomáticas entre el personal de salud-usuario de servicios de salud pública en España, Estados Unidos y México. *Comunicación y sociedad*, 12, 149-175.
- Galindo-Pérez, C. y Suárez-Lastra, M. (2018). Servicios de salud del ISSSTE en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México ¿Qué pasaría si nos enfermáramos todos? *Gestión y Política Pública*, 27(2), 475-499.
- Garay, S., y Montes de Oca, V. (2011). La vejez en México. Una mirada general sobre la situación socioeconómica y familiar de los hombres y mujeres adultos mayores. *Perspectivas Sociales*, 13(1), 143-165.
- García, N., Marín, R. y Méndez, K. (2006). Vulnerabilidad social. En L. Flores Corona, *Guía básica para elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos: Evaluación de la vulnerabilidad física y social* (pp. 75-154). México: Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Horbath, J. E. y Gracia, A. (2012). Rezago social y discriminación de la política social hacia los grupos indígenas en Sonora. *Revista de relaciones internacionales, estrategia y seguridad*, 7(1), 173-89. DOI: 10.18359/ries.95.
- Hurtado-Saa, T., Rosas-Vargas, R. y Valdés-Cobos, A. (2012). Servicios de salud, discriminación y

- condición étnica/racial: un estudio de caso de la problemática en México y Colombia. *Ra Ximhai*, 9(1), 135-151.
- Instituto Nacional de Salud Pública (México). (2007). *Atención a la salud de grupos vulnerables: Hacia una síntesis de la literatura: resumen ejecutivo*. México: Instituto Nacional de Salud Pública.
- IMSS. (2020). Para disminuir la propagación del COVID-19, el IMSS promueve las medidas de sana distancia. México: Instituto Mexicano del Seguro Social, Gobierno de México.
- Juárez-Ramírez, C., Márquez-Serrano, M., Salgado, N., Pelcastre-Villafuerte, B. E., Ruelas-González, M. G. y Reyes-Morales, H. (2014). La desigualdad en salud de grupos vulnerables de México: Adultos mayores, indígenas y migrantes. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 35(4), 284-290.
- Kaztman, R. (1999). *Activos y estructuras de oportunidades: Estudios sobre las raíces de la vulnerabilidad social en Uruguay*. Montevideo: CEPAL. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/28651>
- Lai, C.-C., Shih, T.-P., Ko, W.-C., Tang, H.-J. y Hsueh, P.-R. (2020). Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and Coronavirus Disease-2019 (COVID-19): The Epidemic and the Challenges. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 55(3), 105924. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2020.105924
- Leyva-Flores, R., Infante-Xibille, C., Gutiérrez, J. P. y Quintino-Pérez, F. (2013). Inequidad persistente en salud y acceso a los servicios para los pueblos indígenas de México, 2006-2012. *Salud Pública de México*, 55, S123-S128. DOI: 10.21149/spm.v55s2.5107
- Monroy, J. F. (2017). La evaluación de los indicadores de interculturalidad en los programas de salud dirigidos a la población indígena y la importancia de la comunicación intercultural. *Revista de Evaluación de Programas y Políticas Públicas*, 1(8), 71. DOI: 10.5944/reppp.8.2017.15952
- Natenzon, C. (2015). Vulnerabilidad social, amenaza y riesgo frente al cambio climático. En *Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático* (pp. 1-79). Buenos Aires: Jefatura de Gabinete de Ministros, Presidencia de la Nación, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Banco Mundial.
- Rey, G., Fouillet, A., Bessemoulin, P., Frayssinet, P., Dufour, A., Jouglu, E. y Hémon, D. (2009). Heat exposure and socio-economic vulnerability as synergistic factors in heat-wave-related mortality. *European Journal of Epidemiology*, 24(9), 495-502. DOI: 10.1007/s10654-009-9374-3
- Sánchez-González, D. y Egea-Jiménez, C. (2011). Enfoque de vulnerabilidad social para investigar las desventajas socioambientales: Su aplicación en el estudio de los adultos mayores. *Papeles de población*, 17, 151-185.
- SSa. (2020). Jornada Nacional de Sana Distancia. México: Secretaría de Salud, Gobierno de México.
- Suárez Lastra, M., Valdés González, C., Galindo Pérez, M., Salvador Guzmán, L., Ruiz Rivera, N., Alcántara-Ayala, I., López Cervantes, M., Rosales Tapia, A., Lee Alardin, W., Benítez Pérez, H., Juárez Gutiérrez, M. del C., Bringas López, O., Oropeza Orozco, O., Peralta Higuera, A. y Garnica-Peña, R. (2020). Índice de vulnerabilidad ante el COVID-19 en México. *Investigaciones Geográficas*, e60140. DOI: 10.14350/ig.60140



- Sobrino, J. (2005). Competitividad territorial: ámbitos e indicadores de análisis. *Economía, Sociedad y Territorio*, 5 (Extra 1), 123-183.
- Tate, E. (2012). Social Vulnerability Indices: A Comparative Assessment Using Uncertainty and Sensitivity Analysis. *Natural Hazards*, 63(2), 325-347. DOI: 10.1007/s11069-012-0152-2.
- UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction). (2017). *Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction*. Ginebra: UNISDR.

Fuentes de datos

- Dirección General de Información en Salud. (2018). Cubos dinámicos. México: Secretaría de Salud.
- INEGI. (2010). Censo de población y vivienda, principales resultados por AGEB. México: INEGI.
- INEGI. (2018). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. México: INEGI.

