Investigaciones Geográficas • Instituto de Geografía • UNAM
eISSN: 2448-7279 • DOI: dx.doi.org/10.14350/rig.60140 • ARTÍCULOS
Núm. 104 • Abril • 2021 • e60140
www.investigacionesgeograficas.unam.mx

Índice de vulnerabilidad ante el COVID-19 en México

Vulnerability index to COVID-19 in Mexico

Manuel Suárez Lastra[1], Carlos Miguel Valdés González[2], M. Carlos Galindo Pérez[1], L. Enrique Salvador Guzmán[1], Naxhelli Ruiz-Rivera[1], Irasema Alcántara-Ayala[1], Malaquías López-Cervantes[3], Ana R. Rosales Tapia[1], William H. Lee[5], Héctor Benítez-Pérez[6], María del Carmen Juárez Gutiérrez[1], O. Arturo Bringas López[4], Oralia Oropeza Orozco[1], Armando Peralta Higuera[1], Ricardo Garnica-Peña[1]

Recibido: 20/04/2020. Aprobado: 22/04/2020. Publicado en línea: 13/05/2020.

Resumen. Se elaboró un índice de vulnerabilidad ante el COVID-19 para México a escala municipal (2,457 municipios) que permite identificar la distribución espacial de los diferentes factores que generan mayor susceptibilidad al daño o las consecuencias adversas que pueden tener las personas. El índice integra tres dimensiones de vulnerabilidad: demográfica, de salud y socioeconómica. A su vez, cada dimensión integra una serie de indicadores relacionados con el tipo de vulnerabilidad y exposición que expresan. La información resultante contribuye a la toma de decisiones sustentada en bases científicas.

El índice de vulnerabilidad está clasificado en cuatro grados: Medio, Alto, Muy Alto y Crítico. El grado medio de vulnerabilidad se encuentra principalmente en los grandes centros urbanos que cuentan con la mayor infraestructura de salud, y la mayor capacidad económica. 63.2% de la población vive en municipios con vulnerabilidad media. El grado alto de vulnerabilidad se presenta en municipios con localidades urbanas de tamaño medio, y con una proporción de población hablante de lengua indígena ligeramente menor a la media nacional. La infraestructura de salud es escasa. Su marginación se encuentra ligeramente debajo del promedio nacional; 17.6% de la población nacional reside en estos municipios. El grado muy alto de vulnerabilidad se observa en municipios que concentran 11.7% de la población nacional. Se trata de municipios de marginación por encima del promedio nacional con áreas urbanas pequeñas. El porcentaje de población hablante de lengua indígena se encuentra por arriba del promedio nacional. La infraestructura de salud es muy escasa, con una tasa de hacinamiento

[1] Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Correo-e: msuarez@igg.unam.mx, ORCID: 0000-0002-9441-3716. Correo-e: carlosgp@igg.unam.mx, ORCID: 0000-0001-7868-8667. Correo-e: enrique_saguz@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-4481-6768. Correo-e: nruiz@igg.unam.mx, ORCID: 0000-0003-4948-1557. Correo-e: irasema@igg.unam.mx, ORCID: 0000-0003-0794-1201. Correo-e: anarosa@igg.unam.mx, ORCID: 0000-0002-4146-9193. Correo-e: mela_jg@igg.unam.mx, ORCID: 0000-0001-6370-1304. Correo-e: orooro@igg.unam.mx, ORCID: 0000-0001-9354-2893. Correo-e: aperalta@igg.unam.mx, ORCID: 0000-0001-9297-060X. Correo-e: garnica@igg.unam.mx, ORCID: 0000-0002-3416-4594.
[2] Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México. Correo-e: carlos.valdes@unam.mx, ORCID: 0000-0003-3525-7642.
[3] Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México. Correo-e: mlopezcervantes@unam.mx, ORCID: 0000-0001-9936-8427
[4] Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Correo-e: act.arturo.b@ciencias.unam.mx, ORCID: 0000-0002-0255-8206
[5] Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Nacional Autónoma de México. Correo-e: wlee@astro.unam.mx, ORCID: 0000-0002-2467-5673.
[6] Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. Correo-e: hector.benitez@iimas.unam.mx, ORCID: 0000-0002-0355-0337.

mayor a las primeras dos categorías. Los hogares cuentan con pocos medios de comunicación, y la producción económica es precaria.

El grado crítico de vulnerabilidad se presenta en municipios que concentran al 7.5% de la población del país. Se trata de municipios primordialmente rurales con el porcentaje más alto de personas mayores de 60 años y una importante proporción de población hablante de lengua indígena. Los servicios de salud son críticamente escasos. Su marginación está muy por encima de la media nacional, muestran el mayor nivel de hacinamiento, el menor acceso a medios de comunicación y una economía muy precaria. Con base en los resultados se hace una serie de recomendaciones de las medidas que deben realizarse a nivel territorial con la finalidad de mitigar el potencial impacto del COVID-19 en la sociedad mexicana.

Palabras clave: pandemia, COVID-19, exposición, vulnerabilidad, municipios, política pública

Abstract. An index of vulnerability to COVID-19 was developed for Mexico at municipal scale (2457 municipalities). This index allows identifying the spatial distribution of the different factors associated with greater susceptibility to the disease or the adverse effects of COVID-19 in sick persons. It integrates three dimensions of vulnerability: demographic, health, and socioeconomic. In turn, each dimension comprises a series of indicators related to the type of vulnerability involved. The resulting information facilitates decision-making based on scientific evidence.

The index of vulnerability to COVID-19 classifies municipalities into four categories: Medium, High, Very High, and Critical. Medium vulnerability is found mainly in large urban centers that have the largest healthcare infrastructure and the greatest economic capacity. In Mexico, 63.2% of the population live in municipalities with medium vulnerability.

High vulnerability occurs in municipalities with medium-sized urban localities and with a proportion of indigenous population slightly lower than the country average. Healthcare infrastructure is scarce. Its marginalization is slightly below the national average. In Mexico, 17.6% of the population live in these municipalities.

Very high vulnerability is observed in municipalities that concentrate 11.7% of the national population. These are marginalized municipalities above the national average with small urban areas. The percentage of indigenous population is above the national average. Healthcare infrastructure is very scarce, with an overcrowding rate higher than in the first two categories. Households have few means of communication, and economic production is precarious.

Critical vulnerability occurs in municipalities that concentrate 7.5% of the country's population. These are primarily rural municipalities with the highest percentage of people over 60 years old and a significant proportion of indigenous population. Healthcare services are critically scarce. Marginalization is well above the national average, with inhabitants showing the highest over-crowding level, the least access to the media, and a very precarious economy.

Based on these results, a series of recommendations are made for urgent actions that should be implemented at the territorial level to mitigate the potential impact of COVID-19 on the Mexican society.

Key words: pandemic, COVID-19, vulnerability, exposure, municipalities, policy-making

INTRODUCCIÓN

El propósito del presente artículo es mostrar los resultados de la elaboración de un índice de vulnerabilidad ante el COVID-19 en México, que integra los principales aspectos demográficos, socioeconómicos y de salud de la población, a nivel municipal.

México registró a su paciente cero el 27 de febrero de 2020. Tras la evolución de la epidemia, los gobiernos federal, estatales y municipales, establecieron medidas de distanciamiento social, incluyendo el cierre de negocios no esenciales con el fin de disminuir la velocidad de los contagios y reducir la carga del ya saturado sistema de salud público. Aunque estas medidas permiten una mejor atención a los pacientes con casos severos, hay una vulnerabilidad económica importante en varios sectores de la población, particularmente en los más vulnerables; es decir, aquellos que tienen mayor susceptibilidad a padecer efectos negativos graves en diversos aspectos de su vida.

En dicho contexto, es importante reconocer que la epidemia tiene efectos diferenciados en cada lugar y que éstos variarán de acuerdo con una serie de características sociales, económicas y de salud de la población, que tienen una dinámica espacial y cuya comprensión es mayor si se analiza desde el punto de vista geográfico. El análisis de la distribución geográfica de estos fenómenos forma parte de los procesos de toma de decisiones relativas a las intervenciones en el ámbito sanitario, económico y social. Uno de los objetivos más importantes desde el punto de vista geográfico es la identificación de la dinámica espacial de la vulnerabilidad; es decir, la espacialidad de las características subyacentes que conducen a una mayor probabilidad de daño en sectores identificables, tanto en sus características sociales como en su localización.

Aunque todas las personas se pueden contagiar, existen grupos sociales más vulnerables que otros, en función de distintas dimensiones, las cuales se busca conocer a través de este índice. Ejemplo de ello son la condición de edad avanzada o la preexistencia de determinadas enfermedades, las cuales promueven la evolución negativa de la enfermedad haciendo más propensa a la población con esas características a sufrir consecuencias negativas en diferentes aspectos de su vida a raíz de la epidemia. Las carencias en diferentes aspectos del desarrollo humano hacen vulnerable a la población que, en términos socioeconómicos y/o psicosociales, 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 al facilitar una mayor tasa de contagio.

Dado lo anterior, para generar este índice municipal de vulnerabilidad ante COVID-19, se realizaron talleres virtuales con 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. Dada la necesidad de contar con un índice en el menor tiempo posible, resulta imperativo adoptar una metodología robusta y transparente que facilitara el procesamiento rápido de las variables críticas, 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 hacer una toma de decisiones informada con bases científicas.

El índice que se presenta, integra tres dimensiones relevantes para la configuración de la 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 epidemia. En esta fase, se dejaron fuera elementos específicos para determinados territorios o grupos sociales que impidieran su aplicabilidad general en el contexto nacional de México; también se dejaron fuera variables cuya complejidad de construcción requerirá un tiempo de procesamiento más largo.

TERMINOLOGÍA Y BREVE MARCO METODOLÓGICO

(a) 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, disrupciones sociales y económicas o daños ambientales. En el caso del 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 (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.

(b) Breve marco metodológico

Los índices de vulnerabilidad se construyen para reflejar las características sociales, culturales, económicas y demográficas de la población en una unidad espacial que constituye la unidad de análisis (manzana, colonia, Área Geoestadística Básica —AGEB—, localidad, municipio). Los índices de vulnerabilidad, en general, se utilizan, entre otros aspectos, para dos propósitos diferentes (Díaz-Muñoz y Díaz-Castillo, 2001):

1. Reflejar condiciones de desventaja estructural que acentúan distintas facetas de la susceptibilidad al daño. Los índices de vulnerabilidad son medidas que sintetizan una magnitud de las desventajas que modulan el daño. Por ello, sirven para *comunicar* lo que debemos y podemos atender como sociedad.
1. Ayudar a *medir* y *predecir* los daños probables futuros ante diferentes escenarios de exposición a amenazas específicas; en este caso, la infección por SARS-CoV-2 (coronavirus 2 del síndrome respiratorio agudo grave).

En general, existen tres estrategias para elaborar los índices de vulnerabilidad (Tate, 2012). Las estrategias aditivas (aditiva jerárquica y aditiva ponderada) (Bollin y Hidajat 2006; Dwyer *et al.,* 2004; García *et al.*, 2006), 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 construidos 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 por 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 un desdibujamiento de éstos. 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

(i) Cálculo de índice de vulnerabilidad para el municipio m

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

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 aumentan 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 una menor accesibilidad a los servicios médicos indispensables una vez que han adquirido la infección.

La *dimensión de salud* la componen variables asociadas al estado de salud de la población, a la infraestructura de salud y al personal médico disponible en los municipios respecto a su población. Se considera que los municipios con un mayor porcentaje de morbilidades asociadas a complicaciones del COVID-19 (hipertensión, diabetes, obesidad, neumonía y bronconeumonía), serán más vulnerables, así como aquellos que cuenten con un menor grado de cobertura y especialización en la infraestructura de salud y personal médico.

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

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.

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.

La representación matemática del cálculo del índice de vulnerabilidad se expresa con la siguiente formula:

$$IV_m = \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{3} D_{im}\ ;\ D_{im} = \frac{1}{n_i}\sum_{j=1}^{n_i} Q_{mij}\,(x)\ ;\ n_i = \#Q_{mij}$$

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

donde

IV_m = Índice de vulnerabilidad del m-ésimo municipio.

D_{mi} = Es la i-ésima Dimensión de vulnerabilidad del m-ésimo municipio.

n_i = Es el número de variables que conforman la i-ésima Dimensión de vulnerabilidad del m-ésimo municipio.

Q_{mij} (X) = Es el quintil de pertenencia de la j-ésima variable observada que forma parte de la i-ésima dimensión de vulnerabilidad del m-ésimo municipio

X_{mij} = Es la j-ésima variable observada que se usa para calcular la i-ésima Dimensión de vulnerabilidad del m-ésimo municipio.

$P\alpha$ = Es el percentil α de la variable observada *(X) y* $\alpha \in \{0,100\}$

(ii) Selección y cálculo de indicadores

El cuadro 1 muestra la selección de indicadores y las dimensiones a las que pertenecen

(iii) Dimensión demográfica

Población total. Es la población total por municipio. Los municipios con poblaciones más grandes tienen un mayor número de casos y la variable se utiliza para ponderar el resto de las variables sociodemográficas.

Cuadro 1. Dimensiones e indicadores de vulnerabilidad: demografía y salud.

Dimensión	Indicadores	Cálculo	Criterios de vulnerabilidad (V) o exposición (E)	Fuente
Demográfica	1. Población total del municipio, 2015	Población absoluta por municipio	(E) A mayor cantidad de población absoluta, mayor grado de exposición	Encuesta intercensal, INEGI, 2015
	2. Porcentaje de población de 60 y más años, 2015	Población de 60 años y mas / Población absoluta por municipio * 100	(V) A mayor proporción de población de 60 años y más, mayor vulnerabilidad	Encuesta intercensal, INEGI, 2015
	3. Porcentaje de población hablante de lengua indígena, 2015	Población hablante de lengua indígena / Población absoluta por municipio * 100	(V) A mayor proporción de población hablante de lengua indígena, mayor vulnerabilidad por discriminación	Encuesta intercensal, INEGI, 2015
	4. Porcentaje de población que sólo habla una lengua indígena, 2015	Porcentaje de población que no habla español de 5 años y más / Población absoluta por municipio * 100	(V) A mayor porcentaje de población que no habla español de 5 años y más, mayor vulnerabilidad	Encuesta intercensal, INEGI, 2015
Salud	5. Tasa de camas hospitalarias, 2018 (por cada mil habitantes)	Total de camas hospitalarias en el municipio / Población absoluta por municipio *1000	(V) A mayor número de camas hospitalarias por población absoluta, mayor capacidad de atención hospitalaria y por tanto menor vulnerabilidad	Cubos dinámicos SS, 2018 y Encuesta intercensal, INEGI, 2015
	6. Tasa de camas en unidades de cuidados intensivos, 2018 (por cada mil habitantes)	Total de camas hospitalarias en UCI en el municipio / Población absoluta por municipio *1000	(V) A mayor número de camas en unidades de cuidados intensivos por población absoluta, mayor capacidad de atención hospitalaria y por tanto menor vulnerabilidad	Cubos dinámicos SS, 2018 y Encuesta intercensal, INEGI, 2015
	7. Tasa de médicos generales y especialistas, 2018 (por cada mil habitantes)	Total de personal médico general y especialista en el municipio / Población absoluta por municipio *1000	(V) A mayor número de médicos generales y especialistas por población absoluta mayor capacidad de atención médica y, por tanto, menor vulnerabilidad	Cubos dinámicos SS, 2018 y Encuesta intercensal, INEGI, 2015
	8. Tasa de personal de enfermería, 2018 (por cada mil habitantes)	Total de personal de enfermería / Población absoluta por municipio *1000	(V) A mayor número de personal de enfermería por población absoluta, mayor capacidad de atención hospitalaria y por tanto menor vulnerabilidad	Cubos dinámicos SS, 2018 y Encuesta intercensal, INEGI, 2015
	9. Morbilidad relativa, 2018 (hipertensión, diabetes, obesidad, neumonía y bronconeumonía)	Suma de los casos de las 5 morbilidades / Población absoluta del municipio*100	(V) A mayor comorbilidad, mayor vulnerabilidad	Anuario de morbilidad y Encuesta intercensal, INEGI, 2015

Cuadro 1. Continuación.

Dimensión	Indicadores	Cálculo	Criterios de vulnerabilidad (V) o exposición (E)	Fuente
Socio-económica	10. Índice de marginación del municipio, 2015	Índice de marginación municipal (CONAPO) Índice de componentes principales que incluye: (Población analfabeta, población sin primaria, viviendas sin drenaje, luz y agua, piso de tierra, viviendas con cuartos compartidos, población en localidades de menos de 5000 hab, población con ingresos de hasta 2 salarios mínimos.	(V) A mayores condiciones de marginación, mayor vulnerabilidad de la población	CONAPO con información de la Encuesta Intercensal 2010
	11. Porcentaje de población urbana, 2015 (que habita en localidades mayores de 15,000 habitantes)	Población en localidades de más de 15 000 hab/ Población absoluta del municipio *100	(E) A mayor grado de urbanización mayor exposición	Encuesta intercensal, INEGI, 2015
	12. Porcentaje de población sin derechohabiencia, 2015	Población sin derechohabiencia a servicios de salud en el municipio / Población absoluta del municipio	(V) A mayor número de personas sin derechohabiencia a servicios de salud mayor vulnerabilidad	Encuesta intercensal, INEGI, 2015
	13. Porcentaje de población que reside en viviendas de 1 cuarto, 2015	Suma de los habitantes de viviendas de un cuarto / población absoluta del municipio *100	(V) (E) Vulnerabilidad y exposición por hacinamiento, pero de manera distinta al índice de marginación. Es la imposibilidad de poder segregar dentro de la vivienda a la población vulnerable para protegerlo del contagio o bien a un enfermo de COVID-19, para prevenir la exposición del resto de los integrantes del hogar.	Microdatos de la Encuesta intercensal, INEGI, 2015
	14. Promedio de medios de comunicación dentro de la vivienda (radio, televisión, celular e internet), 2015	Suma de los medios de comunicación disponibles en cada vivienda / número total de viviendas *100	(V) A menor capacidad de recibir información, mayor vulnerabilidad	Microdatos de la Encuesta intercensal, INEGI, 2015

Cuadro 1. Continuación.

Dimensión	Indicadores	Cálculo	Criterios de vulnerabilidad (V) o exposición (E)	Fuente
Socio-económic	15. Porcentaje de personas que trabajan en negocios con menos de 5 empleados en actividades no esenciales, 2018	Número de personas que trabajan en negocios de 5 empleados o menos / Número de trabajadores en el municipio. Debido a que el número de trabajadores se presenta en estratos se realizó el cálculo utilizando una media ponderada con el punto medio de cada categoría. En la categoría de 251 y más se utilizó un valor de 300)	(V) A mayor número de personas que no pueden seguir trabajando durante la pandemia, mayor vulnerabilidad económica por no recibir ingresos.*	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) 2018
	16. Porcentaje de población ocupada que trabaja en actividades esenciales, 2018	Número de personas que trabajan en actividades esenciales / Número de trabajadores en el municipio. Debido a que el número de trabajadores se presenta en estratos se realizó el cálculo utilizando una media ponderada con el punto medio de cada categoría. En la categoría de 251 y más se utilizó un valor de 300)	(E) A mayor número de personas que trabajan en actividades esenciales ,mayor exposición al SARS-COV2.*	DENUE 2018
	17. Producción bruta total per cápita, 2019	Producción Bruta municipal / Población del municipio	(V) A menor producción bruta per cápita mayor vulnerabilidad.	Censos económicos INEGI 2014 y Encuesta intercensal, INEGI 2015

* Las actividades esenciales de acuerdo al gobierno federal son: Sector financiero, Recaudación tributaria (el SAT y todas sus operaciones permanentes), Distribución y venta de energéticos, gasolina y gas, Generación y distribución de agua potable, Industria de alimentos y bebidas no alcohólicas, Restaurantes, Alimentos básicos perecederos, Abarrotes y misceláneas, Supermercados, Tiendas de autoservicio, Minimercados, Agroindustria, Industria química, Ferreterías (Tlapalerías y casas de materiales), Servicios de mensajería, Guardias y labores de seguridad privada, Guarderías y estancias infantiles, Instancias para personas de la tercera edad, Refugios y centros de atención para mujeres víctimas de violencia y sus hijos, Servicios funerarios y de inhumación, Almacenamiento y cadena de frío de insumos esenciales, Telecomunicación y medios de información, Logística (aeropuertos, puertos, ferrocarriles, centrales camioneras, servicios postales), Hospitales, Consultorios médicos.

Para este indicador se tomó la población absoluta de los 2457 municipios del país para el año 2015 (INEGI, 2015). El mínimo registro de población fue de 87 habitantes en el municipio de Santa Magdalena Jicotlán, Oaxaca y el máximo de 1 827 868 habitantes para la alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México; la media para el país fue de 48 630 habitantes.

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 mayores entre la población

total del municipio y se multiplicó por 100. De esta forma se identificó el porcentaje de población vulnerable por edad al COVID-19, que en algunos casos asciende a casi la mitad de la población municipal. El mínimo registro de porcentaje de población de 60 años y más fue 2.5% para el municipio de García, Nuevo León y el máximo de 42% para Cosoltepec, Oaxaca; la media para los municipios fue de 13%.

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 del indicador se dividió el total de población hablante de lengua indígena entre la población total del municipio y se multiplicó por 100. El mínimo registro de porcentaje de población hablante de lengua indígena fue de 0.0% en 59 municipios del país y el máximo de 100% para el municipio de Tehuipango, Veracruz; la media entre los municipios fue de 25%.

Porcentaje de población que sólo 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 5 años y más, entre la población total del municipio y se multiplicó por 100. El mínimo registro de porcentaje de población monolingüe de 5 años y más fue de 0.0% para 1,327 municipios y el máximo de 64% para el municipio de Chalchihuitán, Chiapas; la media de los municipios es de 1.9%.

(iv) Dimensión salud

Camas hospitalarias y camas hospitalarias en unidades de cuidados intensivos. Ambos indicadores están calculados como una tasa por cada mil habitantes, y reflejan la capacidad de atención (general y especializada) de las unidades médicas del territorio nacional. 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 las camas hospitalarias se dividió el total de camas hospitalarias en el municipio, entre la población total del municipio y se multiplicó por 1000 para obtener una tasa. El mínimo registro de la tasa de camas hospitalarias fue de 0.0 para 1716 municipios del país y el máximo de 33.2 para el municipio de San Bartolo, Coyotepec, Oaxaca; la tasa media municipal fue de 0.28.

Para el cálculo del indicador de camas en unidades de cuidados intensivos se dividió el total de camas hospitalarias de cuidados intensivos en el municipio entre la población total del municipio y se multiplicó por 1000 para obtener una tasa. El mínimo registro de la tasa de camas hospitalarias de cuidados intensivos fue de 0.0 para 2308 municipios del país y el máximo de 1.2 para el municipio de San Bartolo, Coyotepec, Oaxaca; la tasa media municipal fue de 0.005.

Total de médicos generales y especialistas y personal de enfermería. Ambos indicadores están calculados como una tasa por cada mil habitantes. Son un indicador del 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 el cálculo del indicador de personal médico se dividió el total de médicos disponibles en el municipio entre la población total del municipio y se multiplicó por 1000 para obtener una tasa. El mínimo registro de la tasa de personal médico por cada mil habitantes fue de 0.0 para 202 municipios del país y el máximo de 35.7 para el municipio de San Jorge Nuchita, Oaxaca; la tasa media municipal fue de 0.97.

Para el calculó del indicador de personal de enfermería se dividió el total de personal disponible en el municipio entre la población total del municipio y se multiplicó por 1000 para obtener una tasa. El mínimo registro de la tasa de personal de enfermería por cada mil habitantes fue de 0.0 para

39 municipios del país y el máximo de 64.4 para el municipio de San Bartolo Coyotepec, Oaxaca; la tasa media municipal fue de 1.7.

Total de principales morbilidades asociadas a complicaciones de COVID-19. Representan la tasa por cada mil habitantes de la suma estatal de las siguientes morbilidades: hipertensión, diabetes, obesidad, neumonía y bronconeumonía. A medida que hay una mayor tasa de población con morbilidades que pueden llevar a complicaciones de COVID-19, se considera que los municipios de un estado son más vulnerables. Por existir solo a nivel estatal, este indicador opera bajo el supuesto de que todos los municipios dentro de un estado tienen las mismas tasas de morbilidad.

Para el cálculo del indicador se sumó la morbilidad de los cinco principales padecimientos que concentran el mayor porcentaje de morbilidad con COVID-19 y se dividió por la población total del municipio.

(v) Dimensión Socioeconómica

Índice de marginación del municipio. Es un indicador elaborado por el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2015), que mide las carencias de la población a través de indicadores de déficit. Incluye las condiciones de educación de la población, características de las viviendas (agua, electricidad, drenaje, piso de tierra), condiciones de hacinamiento, la dispersión de la población en el territorio, así como su ingreso económico.

Este indicador se tomó de CONAPO. El mínimo registro del Índice de Marginación fue de -2.23 para la alcaldía Benito Juárez, Ciudad de México y el máximo de 5.03 para el municipio de Batopilas, Chihuahua; la media de los municipios, por la naturaleza del indicador es de 0.

Porcentaje de población que reside en viviendas de un solo cuarto. Es una medida de hacinamiento. Indica la imposibilidad en un hogar de aislar a las personas contagiadas del virus SARS-CoV-2, así como 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).

Para el cálculo de este indicador se dividió el total de población que reside en viviendas de 1 cuarto entre la población total del municipio y se multiplicó por 100. El mínimo registro del porcentaje de población que reside en viviendas de un cuarto fue de 0.0% para 19 de municipios del país y el máximo de 37.5% para el municipio de Cuautepec, Guerrero; la media municipal fue de 6.6%.

Porcentaje de población que vive en localidades de más de 15 000 habitantes. Indica el grado de urbanización de un municipio. La evidencia sobre la distribución de casos a nivel nacional muestra que, durante las primeras fases de la epidemia, los municipios más urbanizados registran las tasas de contagio más altas.

Para el cálculo del indicador se dividió el total de población que habita en localidades mayores de 15 000 habitantes entre la población total del municipio y se multiplicó por 100. El mínimo registro del porcentaje de población urbana fue de 0.0% para 1952 municipios del país y el máximo de 99% para 18 municipios; la media de los municipios fue de 13.6%.

Porcentaje de personas que trabajan en negocios con menos de 5 empleados en actividades no esenciales. Es un indicador de vulnerabilidad económica. Mientras mayor sea el número de personas cuyas actividades tengan lugar en sectores económicos no esenciales, mayor será el número de personas que no están trabajando y que pueden dejar de percibir ingresos durante la epidemia.

Para el cálculo del indicador se dividió el total de personas que trabajan en negocios con menos de cinco empleados en actividades no esenciales, entre la población ocupada total del municipio y se multiplicó por 100. El mínimo registro del porcentaje de población que trabaja en negocios con menos de cinco empleados en actividades no esenciales fue de 8.1% para el municipio de Arteaga, Coahuila y el máximo de 94% para el municipio de Zapotitlán Palmas, Oaxaca; la media municipal fue de 55.3%.

Porcentaje de población ocupada que trabaja en actividades esenciales. Las personas que trabajan en actividades esenciales continúan trabajando, y están imposibilitadas para estar en cuarentena, lo que implica un mayor grado de exposición al virus.

Para el cálculo del indicador se dividió el total de población ocupada que trabaja en actividades esenciales, entre la población ocupada total del municipio y se multiplicó por 100. El mínimo registro del porcentaje de población que trabaja en actividades esenciales fue de 7.8% para el municipio de Santa María Ixcatlán, Oaxaca y el máximo de 90% para el municipio de Dzilam de Bravo, Yucatán; la media entre municipios fue de 48.5%.

Porcentaje de población sin derechohabiencia a servicios de salud. Indica el porcentaje de personas que tendrán mayor dificultad de ser atendidas en caso de ser contagiadas y presentar complicaciones médicas. Si la población derechohabiente a pesar de tener garantizado el acceso a servicios de salud, en un escenario de alta demanda se reduce su probabilidad de acceder al servicio (Galindo y Suárez, 2018), la población sin derechohabiencia es aún más vulnerable. Adicionalmente, la falta de derechohabiencia es un excelente indicador de la población que trabaja en el sector informal. Este factor incrementa la vulnerabilidad debido a que esta población depende mayormente de ingresos generados al día, y en el caso del comercio, de la actividad en la vía pública, la cual se encuentra, en gran medida, mermada debido a la contingencia sanitaria.

Para el cálculo del indicador se dividió el total de población sin derechohabiencia, entre la población total del municipio y se multiplicó por 100. El mínimo registro del porcentaje de población sin derechohabiencia fue de 0.0% para 35 municipios del país y el máximo de 100% para el municipio de Nogales, Veracruz; la media municipal fue de 19%.

Producción bruta total per cápita Es un indicador del bienestar económico de un municipio. La población de los municipios con menor producción bruta per cápita se consideran más vulnerables, ya que este valor supone un reflejo de la competitividad del territorio (Sobrino, 2005) y, de una manera indirecta, de su capacidad de inversión y recuperación. La escala de valores de la variable se invierte en el análisis para que denote vulnerabilidad.

El indicador se calculó dividiendo la Producción Bruta Total de cada municipio sobre su población. El mínimo registro del Producción Bruta Total fue de 0.0 pesos para tres municipios del país y el máximo de 4402 pesos para el municipio de Atitalaquia, Hidalgo; la media municipal fue de 29.6.

Promedio de bienes receptores de 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. La escala de valores de la variable se invierte en el análisis para que denote vulnerabilidad.

Para el cálculo de este indicador se contabilizó el número de medios de comunicación disponibles en la vivienda, y el valor obtenido se dividió entre el número de viviendas totales en el municipio para obtener el promedio de disponibilidad.

El mínimo registro del porcentaje del promedio de medios de comunicación dentro de la vivienda fue de 0.0% para 12 municipios del país (la mayoría de Oaxaca y Chihuahua) y el máximo de 3.6% para la alcaldía Benito Juárez, Ciudad de México; la media municipal fue de 2.1%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

(a) Índice de vulnerabilidad ante COVID-19 y sus dimensiones

El índice de vulnerabilidad ante COVID-19 está categorizado en cuatro grados de vulnerabilidad: Media, Alta, Muy alta y Crítica.

Un valor *crítico* de vulnerabilidad está asociado a municipios que tienen valores muy altos o críticos de vulnerabilidad en todas las dimensiones, lo que es producto de tener los valores más altos en una gran proporción de los indicadores que conforman las dimensiones. Comúnmente se trata de municipios rurales, marginados, poco poblados y con un muy bajo acceso a servicios de salud.

Un valor *Muy alto* de vulnerabilidad está asociado a municipios que tienen valores altos y muy altos en todas las dimensiones, o críticos en unas dimensiones y altos en otras. Muchos de estos municipios son rurales o con pequeñas áreas urbanas.

Son municipios con altos grados de marginación con accesibilidad deficiente, y muy bajo acceso a sistemas de salud.

Un valor *Alto* de vulnerabilidad está asociado a municipios que tienen valores altos en todas las dimensiones, o Muy altos en algunas dimensiones y altos o medios en otras. Muchos de estos municipios tienen poblaciones urbanas, y en algunos casos se localizan en las periferias de las áreas metropolitanas. Son municipios con grados medios de marginación y bajo acceso a sistemas de salud, aunque cercanos a municipios que sí cuentan con dichos servicios

Un valor *medio* de vulnerabilidad significa tener el mayor acceso a servicios de salud, la menor marginación, y altos grados de urbanización. Dichos municipios son los de menor vulnerabilidad, sin que esto signifique que sus poblaciones no sean vulnerables, o que no se deba atender a grupos específicos dentro de los mismos.

Dimensiones de vulnerabilidad[1]

Las figuras 1, 2 y 3 muestran la distribución territorial de cada una de las variables utilizadas en el análisis y se presentan como referencia. Por su parte, las figuras 4, 5 y 6, muestran la distribución territorial de las tres dimensiones que componen el índice de vulnerabilidad. En el caso de la dimensión demográfica (Figura 4), resaltan los grandes centros de población, y debido al indicador de población de 60 años y más, también

[1] La correlación entre las dimensiones de vulnerabilidad varía de r=0.03 entre las dimensiones de salud y socioeconómica, a 0.37 entre las dimensiones demográfica y socioeconómica, por lo que puede suponerse independencia entre las mismas.

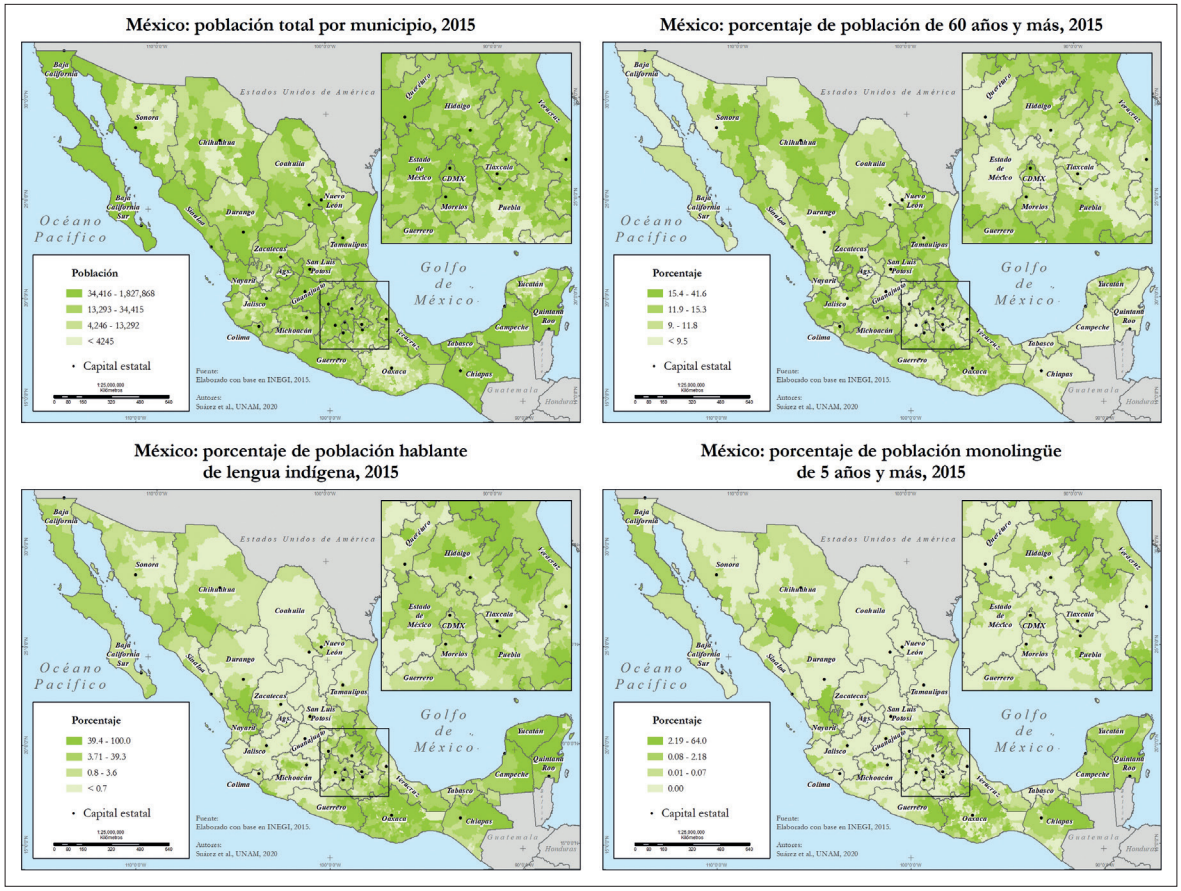

Figura 1. Indicadores de la dimensión demográfica.

sobresalen, principalmente, municipios en los que la migración de personas en edad de trabajar es importante. En estados como Oaxaca, Chiapas, y Guerrero, así como en la región de la Sierra Tarahumara existe una coincidencia con municipios de alta marginación y de altos porcentajes de comunidades indígenas.

La dimensión de salud (Figura 5) tiene una distribución muy distinta a las otras. Contribuye a la vulnerabilidad en áreas marginadas en algunos mu-

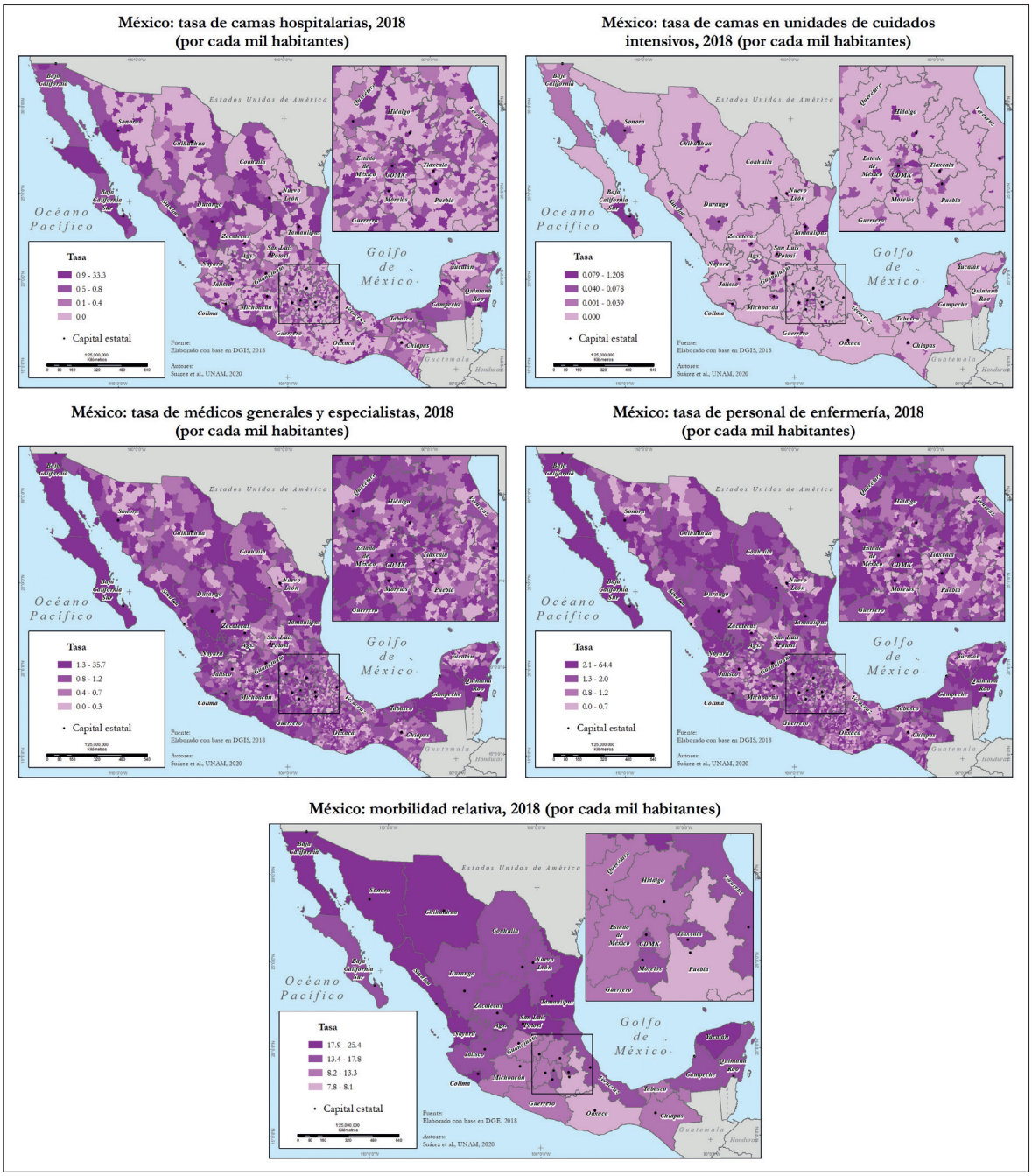

Figura 2. Indicadores de la dimensión salud.

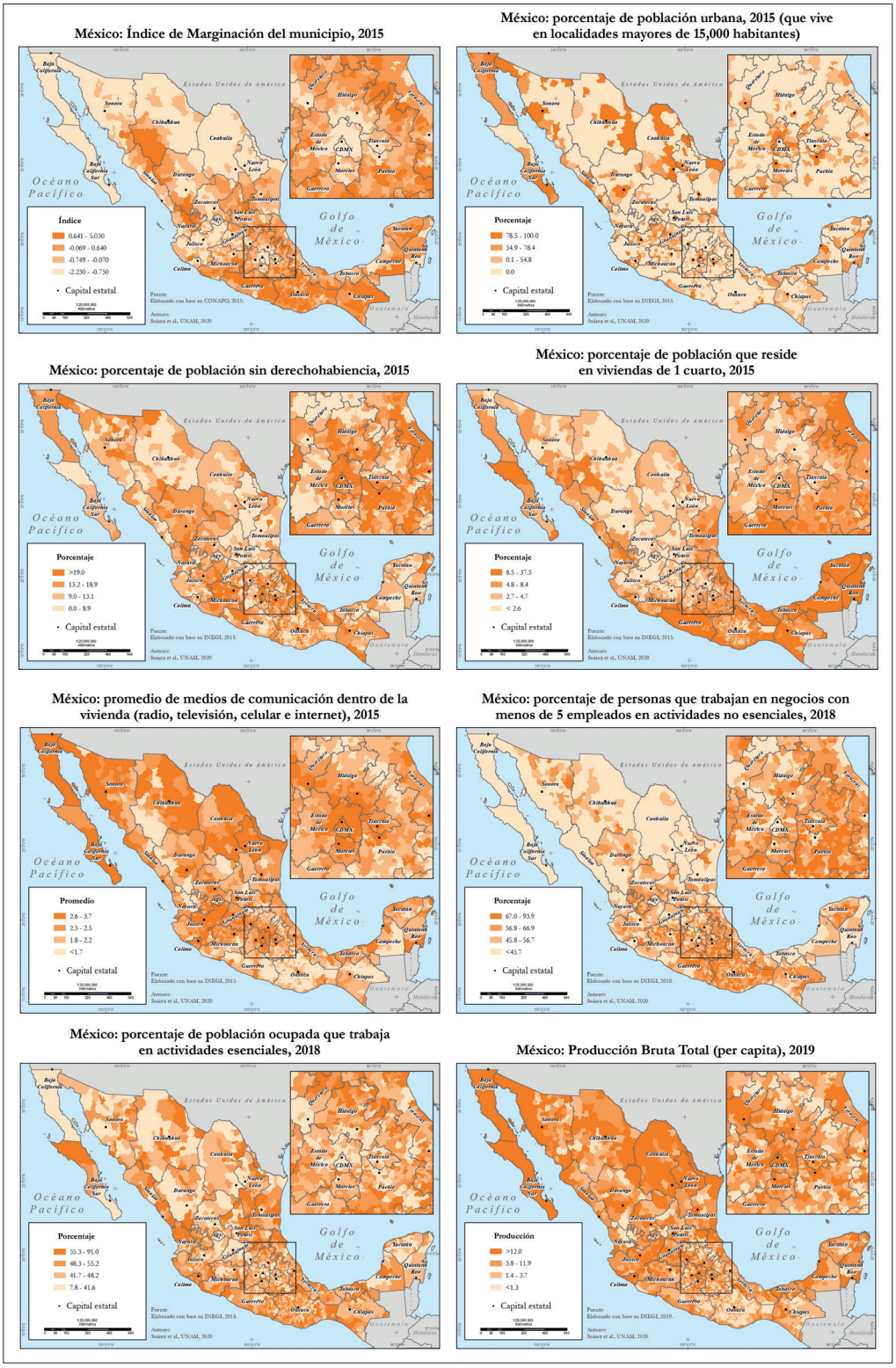

Figura 3. Indicadores de la dimensión socioeconómica.

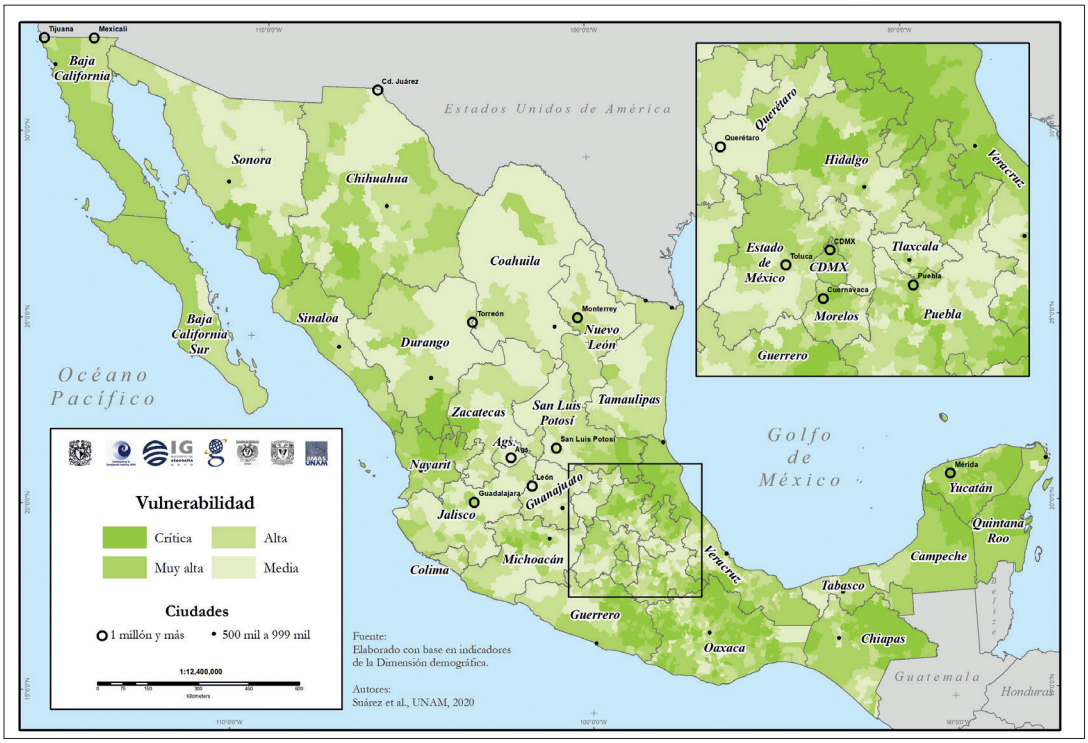

Figura 4. México: vulnerabilidad a COVID-19, dimensión demográfica.

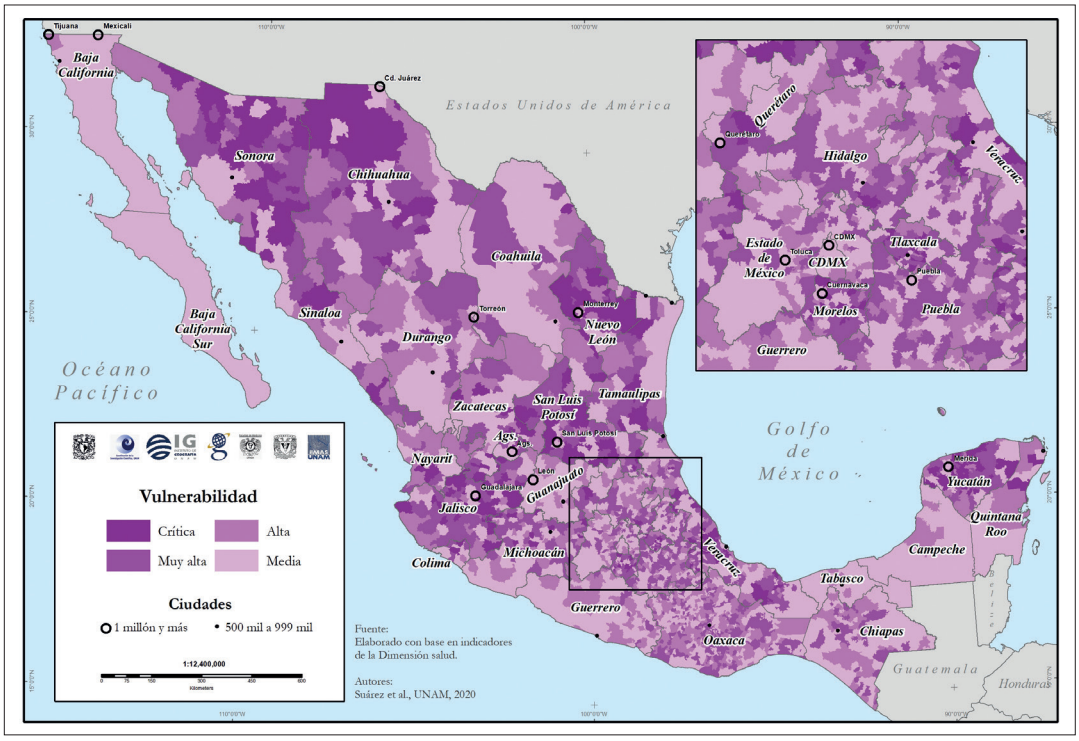

Figura 5. México: vulnerabilidad ante COVID-19, dimensión salud.

nicipios de Oaxaca, pero principalmente en el norte del país en los estados de Sonora y Chihuahua, así como en la península de Yucatán donde las tasas de camas hospitalarias y de terapia intensiva son escasas y las comorbilidades altas. San Luis Potosí, Nuevo León y Tamaulipas exhiben grandes áreas de vulnerabilidad asociadas al número de camas y personal medico y de enfermería, mientras que en el centro del país se observan municipios dispersos con niveles altos en esta dimensión, principalmente por tener un bajo acceso a camas hospitalarias.

Finalmente, la dimensión socioeconómica (Figura 6), pone en evidencia un patrón territorial más reconocible. Las áreas del país que tienen mayor vulnerabilidad socioeconómica son al sur, Oaxaca, Chiapas y Guerrero; en la Sierra Madre Oriental en los límites entre Puebla y Veracruz, y hacia el norte, en la Sierra Madre Occidental en la región al sur de Durango y norte de Sinaloa.

Índice de vulnerabilidad

La Figura 7 representa el grado de Vulnerabilidad a COVID-19 en cuatro categorías: Medio, Alto, Muy Alto y Crítico. 63.2% de la población del país vive en municipios con un grado medio de vulnerabilidad, 17.6% en municipios de alto grado de vulnerabilidad, 11.7% en municipios de muy alto grado de vulnerabilidad y 7.5% en municipios donde el grado de vulnerabilidad es crítico. El volumen de población en municipios con condiciones de vulnerabilidad muy alta y crítica asciende a 24 millones de personas (cuadro 2).

El cuadro 3 muestra los valores medios de cada una de las variables que componen las dimensiones para los distintos grados de vulnerabilidad. A excepción de dos variables, el comportamiento es el esperado: el grado de vulnerabilidad expresado por cada variable aumenta junto con el índice general. En el caso de la morbilidad el comportamiento es inverso, lo que puede deberse a dos factores. Por

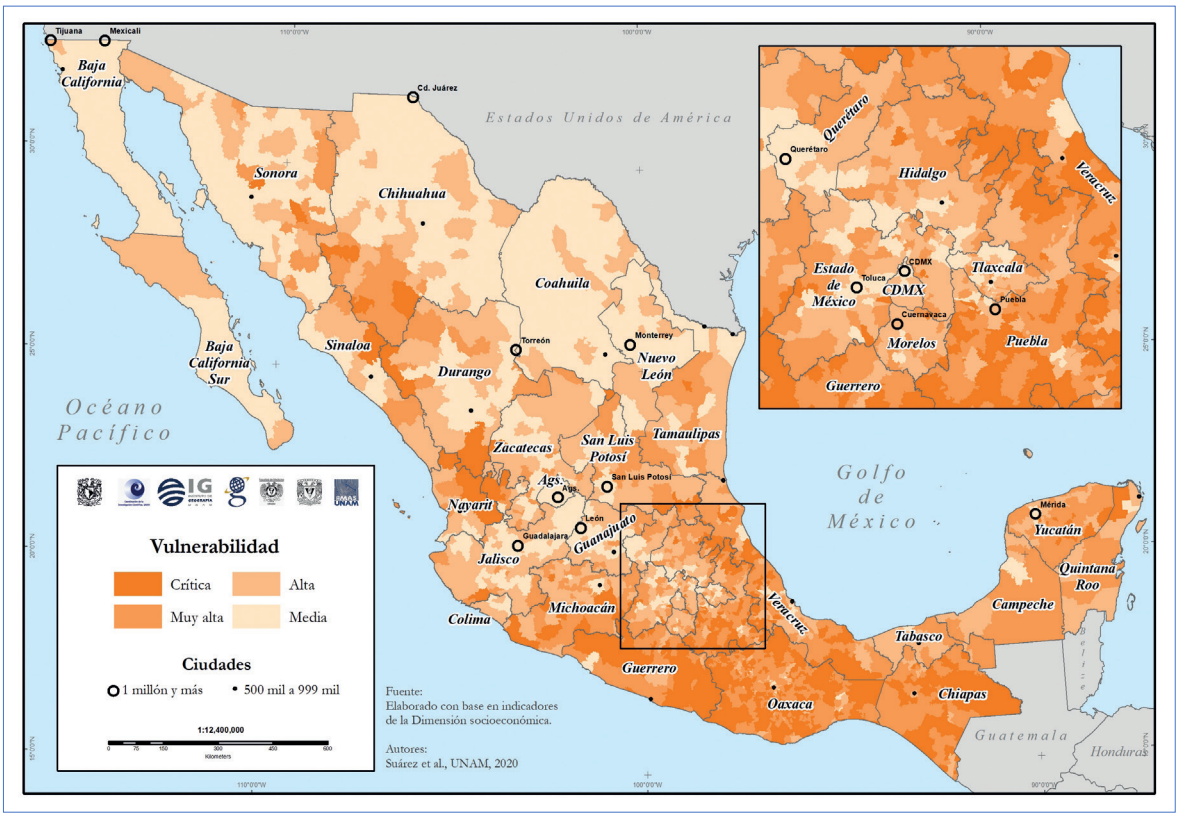

Figura 6. México: vulnerabilidad ante COVID-19, dimensión socioeconómica.

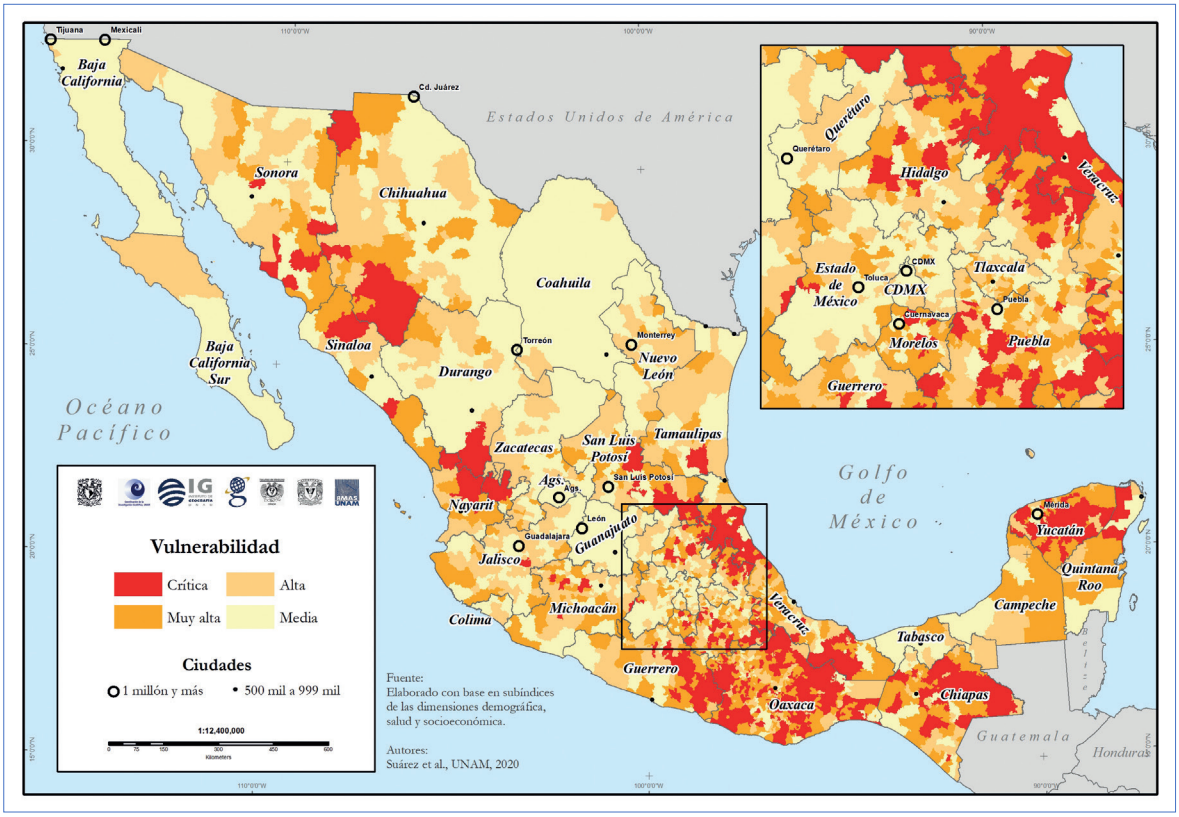

Figura 7. México: Grado de vulnerabilidad ante COVID-19.

Cuadro 2. Población nacional total en municipios de acuerdo con su grado de vulnerabilidad.

	Grado de vulnerabilidad				
	Medio	Alto	Muy alto	Crítico	Total
Población total	75 526 131	21 090 957	13 958 485	8 955 180	119 530 753
% de la población nacional	63.20%	17.60%	11.70%	7.50%	100%

Cuadro 3. Promedios municipales de variables por grado de vulnerabilidad.

Dimensión	Variable	Grado de vulnerabilidad			
		Medio	Alto	Muy alto	Crítico
Demográfica	Población total	121 816	34 073	22, 45	14 753
	% población total de 60 años y más	11.6	13.1	13.6	13.3
	% población hablante de lengua indígena	3.1	7.3	22.1	67.5
	% población monolingüe	0	0.1	1.2	6.5

Cuadro 3. Continuación.

Dimensión	Variable	Grado de vulnerabilidad			
		Medio	Alto	Muy alto	Crítico
Salud	Tasa de camas hospitalarias	0.7	0.2	0.1	0.1
	Tasa de camas hospitalarias de cuidados intensivos	0.0200	0.0010	0.0008	0
	Morbilidad relativa total	14.1	13.8	12.3	11.2
	Tasa de médicos	1.7	0.9	0.7	0.6
	Tasa enfermeras	2.9	1.6	1.3	1.1
Socioeconómica	Índice de marginación	-0.8	-0.3	0.2	1
	% población que reside en viviendas de 1 cuarto	4.4	5.2	7.4	9.6
	% población urbana	31.8	12.9	7.4	2.4
	% personas que trabajan en negocios con menos de 5 empleados en actividades no esenciales	45.8	53.4	59.1	63.6
	% población ocupada que trabaja en actividades esenciales	44.3	49	50.9	50.1
	% población sin derechohabiencia	17.1	22.8	18.5	17.9
	Producción Bruta Total per cápita	86.5	18.8	9.2	2.9
	Promedio de medios de comunicación en viviendas	2.6	2.3	2	1.6

un lado, el grado de agregación estatal (por solo existir datos en esa escala) y por otro, un déficit en la información a medida que los municipios son menos urbanos y los servicios de salud se vuelven deficitarios. Aun así, la diferencia entre los grados de vulnerabilidad es pequeña.

En el caso de la derechohabiencia, se muestra una distribución cuadrática, menor informalidad en los municipios con grados de vulnerabilidad media y crítica y mayor en los de alta y muy alta. Lo anterior puede deberse a la interacción entre las variables de estructura poblacional y de empleo.

A partir del mapa en la Figura 7, se observa que gran parte de los estados de Guerrero, Oaxaca, Chiapas y Yucatán, seguidos de la Huasteca Veracruzana y la Huasteca Potosina muestran una gran parte de su territorio con niveles críticos de vulnerabilidad. Lo mismo sucede al sur de Chihuahua en la región de la Sierra Tarahumara, y al norte de Nayarit y sur de Durango.

(b) Índice de vulnerabilidad y la epidemia en México

En esta sección se muestra la relación entre el grado de vulnerabilidad y los patrones de contagio a nivel municipal en el país, al corte del 25 de abril de 2020.

Durante la tercera semana de abril la Secretaría de Salud publicó el mapa de distribución de casos COVID-19 por municipio. Dicho mapa muestra un semáforo con municipios con casos confirmados (rojo), aquellos municipios contiguos que no reportan casos (amarillo), y el resto de los municipios sin contagio y sin vecindad (verde). El Cuadro 4 muestra el cruce entre dicha clasificación y los grados de vulnerabilidad aquí presentados.

Cerca de la mitad de los municipios con casos confirmados tienen un grado de vulnerabilidad medio; y un 7% de estos municipios con contagios confirmados se encuentran en grado crítico de vulnerabilidad. Ello se explica en gran medida por el alto nivel de urbanización de los municipios

Cuadro 4. Relación entre vulnerabilidad y la distribución de casos COVID-19 y municipios vecinos.

Vulnerabilidad	Municipios			Número promedio de contagios
	Con contagio	Sin contagio		
		Con vecindad	Sin vecindad	
Media	46%	21%	10%	18
Alta	26%	27%	20%	3
Muy alta	18%	27%	29%	2
Crítica	10%	25%	41%	1

Fuente: cálculos propios e información del mapa de distribución de casos COVID 19 y municipios vecinos (Secretaría de Salud, 2020).

en los que ocurrieron la mayoría de los contagios ocurridos en las primeras fases de la epidemia en México, en los cuales se favoreció esta exposición por factores relacionados con el gran número de interacciones y cercanía física entre las personas en estos entornos. Cabe señalar que estos municipios son los que concentran la mayor parte de la infraestructura de salud y que el índice reflejará estas condiciones como vectores de una menor vulnerabilidad. Por otro lado, una gran parte de los municipios sin contagios tienen grados altos o muy altos de vulnerabilidad, por lo que resulta importante identificarlos y realizar todas las acciones necesarias de carácter administrativo y social para prevenir el contagio en ellos. Si bien estos municipios tienen poca infraestructura vial, y se encuentran relativamente aislados, lo que disminuye la probabilidad de propagación (debido a una menor exposición) y retrasa el tiempo en el que pudieran aparecer casos, de ninguna manera elimina el riesgo.

Por otro lado, si se calcula el promedio de casos confirmados en municipios de acuerdo con su grado de vulnerabilidad, encontramos que los municipios con los mayores números de casos son aquellos de vulnerabilidad media, y que, en cambio, existen pocos casos en los municipios de grado alto, muy alto y crítico de vulnerabilidad (Cuadro 4).

Aunque por el momento los datos indican que la epidemia en México se concentra en municipios urbanos con menor vulnerabilidad, la propagación del virus en los municipios con grados más altos podría generar condiciones inmanejables tanto de atención médica, como en la afectación económica de sus comunidades. Un aspecto importante por considerar es que el modelo de vigilancia epidemiológica asumido por la Secretaría de Salud de México, el modelo Centinela, tiene como base el muestreo de casos sospechosos contabilizados en unidades de salud, el cual no tiene representatividad espacial; por lo cual, no es posible determinar la espacialidad de los casos estimados a través de ese modelo. Por ello, a pesar de que no se registran casos confirmados procedentes de municipios con grado de vulnerabilidad alta, muy alta y crítica, no existe certeza de que dichos municipios no presenten casos de contagio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Todos somos vulnerables ante el COVID-19; sin embargo, la distribución y combinación de varios factores demográficos, de salud y socioeconómicos en el territorio nacional demuestran que los niveles de vulnerabilidad de la población que habita en los municipios de México difieren considerablemente. El diseño y cálculo de un índice de vulnerabilidad como el que se presenta en este trabajo ayuda a identificar los contrastes existentes entre los diferentes municipios, y los factores (en tres diferentes dimensiones) que inciden en este comportamiento espacialmente diferenciado.

Del total de población considerada en el análisis, misma que asciende a 119 530 753 habitantes, 75.5 millones (63.20%) habitan en municipios con un grado de vulnerabilidad media; 21 millones

en municipios de vulnerabilidad alta (17.60%), mientras que 13.9 millones de habitantes (11.70%) se encuentran en municipios con un grado de vulnerabilidad muy alta, y 8.9 millones en municipios de vulnerabilidad crítica (7.50%). Este análisis es indicativo de las medidas urgentes que deben realizarse a nivel territorial con la finalidad de mitigar el potencial impacto del COVID-19 en la sociedad mexicana.

Es importante señalar que las variables utilizadas se integraron con los datos más actualizados disponibles hasta el día de hoy. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la vulnerabilidad de la población es dinámica y que ésta también está fuertemente influenciada por factores cambiantes que aumentan la exposición al virus SARS-CoV-2. De manera adicional a las características demográficas, de salud y socioeconómicas, la movilidad poblacional, así como los tipos de interacción cercana, relacionados con actividades económicas particulares como el comercio, los servicios y la movilidad por motivos de trabajo, se convierten en factores significativos de potencial contagio.

Uno de los aspectos más evidentes del estudio, es que la mayor cantidad de vectores que suman a la vulnerabilidad ante los efectos de la epidemia de COVID-19 se encuentra en los municipios más marginados del país, los cuales suman y acumulan factores como mayor precariedad en la vivienda, una mayor proporción de población indígena, menor cantidad de bienes en el hogar, mayores tasas de hacinamiento, deficiencias en la infraestructura de salud, actividades económicas mayormente informales y menor producción económica global. Es la suma de estos factores lo que convierte a estos municipios en lugares con problemas potencialmente críticos, aunque los indicadores relacionados con su exposición muestren valores menores, el resto de los vectores de vulnerabilidad muestran valores altos, muy altos y críticos. Aunque en general, en este grupo de municipios aún no hay contagios confirmados, la epidemia, debido a la contingencia puede tener fuertes efectos negativos en sus economías locales.

En cambio, los municipios que cuentan con contagios al día de hoy son de vulnerabilidad media, por tratarse de grandes centros urbanos. Es importante señalar que su condición de vulnerabilidad no previene la saturación de los servicios de salud.

Finalmente, es importante señalar que este índice es un esfuerzo de aproximación a las tres dimensiones que se consideran cruciales para entender los efectos de la pandemia en México. Sin embargo, está limitado por los datos disponibles y las características espaciales de éstos, que pueden mejorarse y contrastarse en su capacidad predictiva ante escenarios específicos. La metodología empleada permite actualizar las variables en caso necesario; e incluir en el futuro otras variables que reflejen en mejor medida aspectos de la epidemia una vez que se cuente con información nacional a nivel municipal. Aspectos como la intensidad migratoria y la movilidad por motivos de trabajo, los indicadores de violencia o información de morbilidad más detallada podrán ser considerados para afinar el índice de vulnerabilidad y mejorar su aplicabilidad en la toma de decisiones.

Recomendaciones

1. Aumentar y mantener las medidas de prevención del contagio en municipios con vulnerabilidad muy alta y crítica aunque no presenten casos, dado que los efectos en estos municipios serán más graves.
2. Evaluar detenidamente el levantamiento anticipado de las medidas de mitigación del contagio en municipios con vulnerabilidad muy alta y crítica sin haber controlado la epidemia en otros municipios, específicamente aquellos con mayores vínculos socioeconómicos.
3. Generar un plan de protección económica específicamente para los municipios más vulnerables que les permita resistir la contingencia y recuperarse posteriormente.

Adicionalmente:

4. La actual coyuntura ha revelado deficiencias importantes en los datos sobre salud en México, por lo que es importante implementar plataformas con información geo-referenciada, a escala municipal e incluso de localidad o de colonia en el caso de grandes áreas urbanas.

5. El análisis muestra que las poblaciones más vulnerables tienen menor acceso a medios de comunicación, por lo que es importante asegurar una comunicación del riesgo efectiva ante COVID-19 incluyente. Es decir, que llegue a toda la población y en particular a los grupos vulnerables. Para ello es fundamental emplear técnicas impresas, visuales, auditivas, etc. tanto en español como en las diversas lenguas indígenas existentes en el país.
6. Los migrantes, internos y externos, y sus comunidades de origen, constituyen unos de los grupos más vulnerables ante COVID-19, por lo que es necesario establecer un programa social incluyente para proteger su salud y mitigar el impacto potencial del COVID-19. Para ello, se deben desarrollar y fortalecer capacidades de prueba y vigilancia de COVID-19 en zonas de mayor flujo migratorio; proporcionar a la población información acerca de los puntos en los que se realizan pruebas para la identificación de COVID-19 en el territorio nacional, incluyendo estaciones migratorias; mejorar las comunicaciones y el flujo de información para los migrantes con una perspectiva multilingüe; mejorar las instalaciones saneamiento e higiene en Centros de Transferencia Modal (CETRAM: terminales de autobuses, sitios de taxi, paraderos de transporte público) que garanticen el acceso a agua, jabón y gel desinfectante, y limitar las actividades formales e informales en los CETRAM.

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

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

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer los comentarios de tres dictaminadores anónimos.

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. En Buenos Aires: Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Autónoma de Buenos Aires. http://test6.pirna.com.ar/files/pirna/PON-Barrenechea-Gentile-Gonzalez-Natenzon-Una%20propuesta%20metodologica%20para%20el%20estudio%20de%20la%20vulnerabilidad.pdf.

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. 271-289). Tokio; Nueva York: United Nations University.

Borja-Vega, C. y de la Fuente, A. (2013). *Municipal Vulnerability to Climate Change and Climate-Related Events in Mexico*. The World Bank. DOI: 10.1596/1813-9450-6417 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. 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, 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 (ed.) *Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies* (2nd ed.). 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 metodológicias. *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.

Figueroa, 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*, 149-75.

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). 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), 135-51. DOI: 10.35197/rx.09.01.e.2013.12.th

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.

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*. CEPAL. Oficina de Montevideo. 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., & 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., Jougla, 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.

Sobrino, J. (2005). Competitividad territorial: ámbitos e indicadores de análisis. *Economía, Sociedad y Territorio*, núm. esp., 123-83.

Tate, E. (2012). Social Vulnerability Indices: A Comparative Assessment Using Uncertainty and Sensitivity Analysis. *Natural Hazards, 63*(2), 325-47. 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*. Geneva: UNISDR.

Fuentes de datos

Dirección General de Epidemiología. (2018). Anuario de Morbilidad 1984-2018. Secretaría de Salud.

Dirección General de Información en Salud. (2018). Cubos dinámicos. Secretaría de Salud.

INEGI. (2015). Encuesta Intercensal (2015). Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI. (2018). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

INEGI. (2014). Censos Económicos 2014. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

IMSS. (2020). Para disminuir la propagación del COVID-19, el IMSS promueve las medidas de sana distancia. Instituto Mexicano del Seguro Social – Gobierno de México.