



Revista Hambatu Science

Ambato – Ecuador / ISSN 3151-815X (en línea) / abril – junio 2026

Volumen 1, Número 2

<https://doi.org/10.63862/rhs-v1n2-323-343-2026>

Movilidad, mortalidad y saturación hospitalaria: análisis multifuente de la respuesta pandémica diferencial en las entidades federativas de México (2020-2022)

Mobility, mortality, and hospital saturation: A multi-source analysis of differential pandemic response across Mexican states (2020-2022)

Faustino Benjamín Rivera López
Universidad Nacional Rosario Castellanos

Humberto Dorantes Benavidez
Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México

Xochitl Berenise Gonzales Torres
Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR

Tanya Arenas Reséndiz
Universidad Nacional Rosario Castellanos

Ana Laura González Alejo
Universidad Nacional Autónoma de México

Armando Luna Fuentes
Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca



DOI: <https://doi.org/10.63862/rhs-v1n2-323-343-2026>

Movilidad, mortalidad y saturación hospitalaria: análisis multifuente de la respuesta pandémica diferencial en las entidades federativas de México (2020-2022)

Faustino Benjamín Rivera López

Universidad Nacional Rosario Castellanos

d20161938@itoaxaca.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0004-1769-6152>

México

Tanya Arenas Reséndiz

Universidad Nacional Rosario Castellanos

tanya.arenas@rcastellanos.cdmx.gob.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0385-0791>

México

Humberto Dorantes Benavidez

Tecnológico de Estudios Superiores del
Oriente del Estado de México

humberdorantes@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1490-1873>

México

Ana Laura González Alejo

Universidad Nacional Autónoma de México

algonzalez@encit.unam.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3446-8093>

México

Xochitl Berenise Gonzales Torres

Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR

Unidad Oaxaca

xgonzalest@ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0001-9041-8870>

Oaxaca, México

Armando Luna Fuentes

Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad

Oaxaca

alunaf@ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0002-0625-9844>

Oaxaca, México

Recibido: 2026-06-12

Aceptado: 2026-06-16

Publicado: 2026-06-22

Resumen

México registró más de 334,000 defunciones oficiales por COVID-19 entre marzo de 2020 y octubre de 2022, con una distribución territorial altamente desigual. Este artículo examina la secuencia asociativa entre política sanitaria, movilidad poblacional, presión hospitalaria, mortalidad registrada y condiciones estructurales en las 32 entidades federativas. Se desarrolló un diseño cuantitativo longitudinal de panel con ocho fuentes oficiales y más de 350,000 registros pareados. El análisis integró pruebas de Kruskal-Wallis, correlaciones cruzadas con corrección de Bonferroni, pruebas no paramétricas, correlaciones de Pearson y Spearman, regresión lineal múltiple, diagnósticos de multicolinealidad y un test de mediación de Sobel. Los resultados muestran que el Semáforo Epidemiológico se asoció con diferencias significativas en movilidad y hospitalización; la movilidad se vinculó con las defunciones con un desfase de 21 días, mientras que la ocupación hospitalaria funcionó como eslabón intermedio. También se documentó fatiga de restricciones, reducción de la letalidad tras la vacunación y una paradoja pobreza-mortalidad explicada parcialmente por sub-hospitalización e inaccesibilidad vial. Se concluye que la respuesta pandémica mexicana siguió una secuencia de restricciones, movilidad, hospitalización y mortalidad, condicionada por desigualdades territoriales en infraestructura sanitaria.

Palabras clave: COVID-19, movilidad poblacional, semáforo epidemiológico, saturación hospitalaria, desigualdad sanitaria, México.

Mobility, mortality, and hospital saturation: A multi-source analysis of differential pandemic response across Mexican states (2020-2022)

Abstract

Mexico recorded more than 334,000 official COVID-19 deaths between March 2020 and October 2022, with a highly unequal territorial distribution. This article examines the associative sequence between health policy, population mobility, hospital pressure, registered mortality, and structural conditions across the 32 Mexican states. A longitudinal quantitative panel design was developed using eight official data sources and more than 350,000 matched records. The analysis combined Kruskal-Wallis tests, cross-correlations with Bonferroni correction, nonparametric tests, Pearson and Spearman correlations, multiple linear regression, multicollinearity diagnostics, and a Sobel mediation test. Results show that the Epidemiological Traffic Light was associated with significant differences in mobility and hospitalization; mobility was linked to deaths with a 21-day lag, while hospital occupancy functioned as an intermediate link. Restriction fatigue, reduced fatality after vaccination, and a poverty-mortality paradox partially explained by differential under-hospitalization and road inaccessibility were also documented. The study concludes that Mexico's pandemic response followed a sequence of restrictions, mobility, hospitalization, and mortality, conditioned by territorial inequalities in health infrastructure.

Keywords: COVID-19, population mobility, epidemiological traffic light, hospital saturation, health inequality, Mexico.

Introducción

La pandemia de COVID-19 constituyó uno de los eventos sanitarios más críticos para México en el siglo XXI. Entre marzo de 2020 y octubre de 2022 se registraron más de 7.2 millones de casos confirmados y 334,000 defunciones oficiales, aunque las estimaciones de exceso de mortalidad sugieren una afectación mayor (Hernández-Ávila et al., 2022; INEGI, 2022; Wang et al., 2022). Esta diferencia entre mortalidad oficial y exceso de mortalidad es central porque evidencia límites en la detección, el diagnóstico y el registro epidemiológico.

El impacto territorial fue marcadamente heterogéneo. La Ciudad de México alcanzó 484 defunciones por cada 100,000 habitantes, mientras Chiapas reportó 42.6, una brecha de 11.4 veces que no puede explicarse solo por diferencias epidemiológicas. La literatura ha mostrado que el subregistro fue diferencial y que las entidades con menor capacidad diagnóstica y hospitalaria tendieron a registrar menos muertes oficiales en relación con su exceso de mortalidad (Dahal et al., 2022; Palacio-Mejía et al., 2022).

Frente a la crisis, el gobierno federal implementó el Semáforo Epidemiológico como instrumento para regular la movilidad social y económica. Aunque este mecanismo operó desde junio de 2020 hasta abril de 2022, las evaluaciones previas han sido parciales: algunas se centraron en movilidad, otras en gobernanza o en resultados epidemiológicos, pero pocas integraron simultáneamente movilidad, hospitalización, mortalidad, vacunación y desigualdad estructural para las 32 entidades (Knaul et al., 2021; Méndez-Lizárraga et al., 2022; Prieto et al., 2022; Rangel González et al., 2021).

El objetivo del estudio es analizar la secuencia asociativa entre Semáforo Epidemiológico, movilidad poblacional, ocupación hospitalaria, mortalidad registrada y condiciones estructurales de pobreza e inaccesibilidad vial en México durante 2020-2022. La pregunta central es cómo se articularon las restricciones sanitarias, los cambios en movilidad y la presión hospitalaria para explicar la mortalidad diferencial entre entidades federativas.

Estado del arte

Epidemiología social y desigualdad sanitaria

El estudio se fundamenta en la epidemiología social, perspectiva que sostiene que la enfermedad y la muerte no se distribuyen aleatoriamente, sino de acuerdo con estructuras históricas de desigualdad (Krieger, 2011). Desde el enfoque de determinantes sociales de la salud, las condiciones de ingreso, trabajo, vivienda, acceso sanitario y territorio configuran exposiciones diferenciales al riesgo (Marmot, 2005). La pandemia hizo visibles estas desigualdades al mostrar que las áreas con mayor privación tendieron a presentar mayores tasas de contagio, letalidad o subregistro, según el nivel de análisis (Bambra et al., 2022; Paremoer et al., 2021).

En México, esta perspectiva es especialmente relevante por la magnitud de la pobreza multidimensional y las brechas entre entidades. Mientras algunos estados presentaban niveles de pobreza inferiores al 20%, otros superaban el 70% (CONEVAL, 2021). Estudios regionales han mostrado que la vulnerabilidad socioeconómica afectó la posibilidad de reducir movilidad, particularmente en hogares dependientes de empleo presencial o informal (Gutiérrez et al., 2021; Mena et al., 2021).

Una contribución conceptual del manuscrito es la paradoja pobreza-mortalidad: a escala estatal, las entidades más pobres registraron menor mortalidad oficial, resultado contrario a lo esperado desde los determinantes sociales. Esta paradoja se ha observado en análisis estatales y municipales, pero estudios con datos individuales muestran que las personas de menor ingreso tuvieron mayor probabilidad de hospitalización y muerte (Arceo-Gómez et al., 2022; Bello-Chavolla et al., 2021; Contreras-Manzano et al., 2022). Por ello, la menor mortalidad registrada en estados pobres puede interpretarse como sesgo de detección, sub-hospitalización y menor registro formal de defunciones (Bello-Chavolla et al., 2024; Ibarra-Nava et al., 2021).

Movilidad, restricciones y fatiga pandémica

La movilidad humana es una variable crítica para comprender la propagación de enfermedades respiratorias. La evidencia internacional mostró que la reducción de movilidad disminuyó la transmisión de COVID-19, aunque con rezagos temporales y variabilidad territorial (Badr et al.,

2020; Kraemer et al., 2020; Nouvellet et al., 2021). Los reportes de movilidad de Google permitieron medir cambios cotidianos, aunque presentan sesgos hacia población urbana, usuarios de teléfonos inteligentes y personas con mayor conectividad (Aktay et al., 2020; Sulyok y Walker, 2021).

Las intervenciones no farmacológicas fueron efectivas, pero su efecto disminuyó con el tiempo. Revisiones sistemáticas han mostrado que las restricciones de movilidad, el distanciamiento y el uso de mascarillas redujeron la transmisión, aunque con heterogeneidad entre países (Li et al., 2021; Mendez-Brito et al., 2021). La literatura sobre fatiga pandémica indica que la adherencia a medidas restrictivas puede erosionarse por agotamiento, incertidumbre o falta de apoyo material, especialmente en contextos de empleo informal (Crane et al., 2022; Petherick et al., 2021; Reicher y Drury, 2021).

El antecedente más comparable al Semáforo mexicano es el sistema de restricciones por colores aplicado en Italia. Della Rossa et al. (2021) encontraron que cada nivel adicional redujo movilidad y transmisión, aunque con rendimientos decrecientes. Para México, Knaul et al. (2021) observaron disminución en el cumplimiento de medidas, mientras que Suárez-Lastra et al. (2023) mostraron que la difusión del virus siguió una lógica jerárquica desde áreas metropolitanas hacia zonas rurales.

Saturación hospitalaria, vacunación y accesibilidad territorial

La saturación hospitalaria amplificó la mortalidad al reducir la calidad y oportunidad de la atención. En Brasil, la letalidad intrahospitalaria fue mayor en regiones con infraestructura precaria, mientras que en México se documentaron limitaciones de acceso a UCI y aumentos de mortalidad asociada a ocupación hospitalaria (Bastos et al., 2021; Hernández-Ávila et al., 2022; Olivas-Martínez et al., 2021). Además, la saturación afectó la atención de padecimientos no COVID, elevando la mortalidad indirecta (Antonio-Villa et al., 2022; Fernández-Rojas et al., 2022).

La vacunación modificó la relación entre contagios, hospitalización y muerte. La evidencia internacional indica mayor efectividad contra hospitalización y mortalidad que contra infección, especialmente después de esquemas completos (Feikin et al., 2023; Watson et al., 2022). En México, las olas posteriores mostraron desacoplamiento entre casos y defunciones, lo que sugiere

que la vacunación redujo la letalidad intrahospitalaria aun cuando no eliminó la demanda hospitalaria (Hernández-Ávila et al., 2022).

La accesibilidad geográfica al sistema de salud constituye un determinante estructural adicional. Revisiones en países de ingreso bajo y medio muestran que la distancia y la falta de transporte se asocian con menor uso de servicios, peores resultados sanitarios y subregistro epidemiológico (Hierink et al., 2021). La evidencia cuasi-experimental sobre pavimentación rural confirma que la conectividad física incrementa el uso de servicios de salud (Aggarwal, 2021). En México, los estudios sobre población indígena y marginada muestran menor acceso a UCI, ventilación mecánica y atención oportuna, pese a mayor riesgo sanitario (Heredia-Pi et al., 2023; Little et al., 2023; Serván-Mori et al., 2021).

Metodología

Se desarrolló un diseño ecológico longitudinal de panel, con las 32 entidades federativas como unidades de análisis y observaciones temporales diarias o semanales según la fuente. El diseño permite integrar información macroestructural con datos de movilidad, hospitalización y mortalidad; sin embargo, sus resultados no deben extrapolarse directamente a individuos por el riesgo de falacia ecológica (Morgenstern, 2008; Wu et al., 2020). La presentación metodológica siguió criterios de estudios observacionales tipo STROBE (Von Elm et al., 2007).

El estudio integró ocho fuentes oficiales: reportes de movilidad de Google, Semáforo Epidemiológico, casos y defunciones de la Dirección General de Epidemiología, avance de vacunación, ocupación hospitalaria, pobreza multidimensional y accesibilidad a carretera pavimentada del CONEVAL. La cobertura general fue de febrero de 2020 a diciembre de 2022, aunque cada fuente tuvo ventanas específicas. Los valores sentinela fueron recodificados como faltantes y los análisis pareados usaron eliminación por lista según la variable requerida.

Tabla 1

Fuentes de datos utilizadas en el análisis

Fuente	Cobertura	Resolución	Variables clave
GCMR Google	Feb. 2020-oct. 2022	Diaria	Movilidad por categoría
Semáforo SSA	Nov. 2020-abr. 2022	Diaria/semanal	Nivel de alerta
DGE	Mar. 2020-jun. 2023	Diaria	Casos y defunciones
SSA vacunación	Dic. 2020-abr. 2022	Diaria	Dosis y esquemas
SSA hospitalización	Abr. 2020-dic. 2022	Diaria	Ocupación general y UCI
CONEVAL	2020/indicadores estáticos	Estatal/municipal	Pobreza e inaccessibilidad vial

Nota. Síntesis de las ocho fuentes oficiales integradas en el manuscrito original. GCMR = Google Community Mobility Reports; DGE = Dirección General de Epidemiología; SSA = Secretaría de Salud.

Las variables principales fueron: mortalidad registrada por COVID-19 por 100,000 habitantes; nivel de semáforo como escala ordinal; movilidad comercial como porcentaje de cambio respecto a línea base; ocupación hospitalaria general; ratio de ocupación UCI/hospitalización general; cobertura vacunal acumulada; pobreza multidimensional; e inaccessibilidad vial, medida como porcentaje de población con acceso bajo o muy bajo a carretera pavimentada. También se construyó un Índice de Respuesta al Semáforo (IRS) por entidad, calculado como la correlación entre nivel de semáforo y movilidad comercial.

La estrategia analítica incluyó cuatro fases. Primero, se evaluó la asociación entre semáforo, movilidad y hospitalización mediante Kruskal-Wallis y tamaños del efecto ε^2 , adecuados ante violaciones de normalidad (Tomczak y Tomczak, 2014). Segundo, se estimaron desfases temporales mediante correlaciones cruzadas con medias móviles de siete días y corrección de Bonferroni. Tercero, se analizó la vacunación comparando tasas de letalidad y ratios UCI/hospitalización entre olas. Cuarto, se examinó la relación entre pobreza, inaccessibilidad, hospitalización y mortalidad mediante correlaciones, regresión lineal múltiple, VIF, Shapiro-Wilk, Durbin-Watson y test de Sobel. La no estacionariedad de series en niveles se reconoció como limitación, por lo que los desfases deben interpretarse con cautela (Huo et al., 2025; Morel et al., 2023).

Resultados

Evolución general de las olas pandémicas

Las cinco olas mostraron una transición epidemiológica clara. La primera y segunda olas concentraron la mayor letalidad, con CFR de 11.9% y 8.7%; la tercera mantuvo alta ocupación hospitalaria pero redujo la letalidad a 4.2%; Ómicron incrementó los contagios pero redujo CFR a 1.4%; y la quinta ola registró CFR de 0.3%. Este patrón indica desacoplamiento progresivo entre casos y defunciones, consistente con el avance vacunal y con evidencia previa sobre reducción de mortalidad posvacunación (Feikin et al., 2023; Hernández-Ávila et al., 2022).

Tabla 2
Síntesis de resultados centrales por dimensión analítica

Dimensión	Resultado clave	Magnitud	Lectura sintética
Semáforo-movilidad	Diferencias significativas entre niveles	$H(3)=5,976.08$; $p<.001$; $\epsilon^2=.358$	Gradiente monotónico y efecto grande
Semáforo-hospitalización	Mayor alerta asociada con mayor ocupación	$H(3)=6,788.56$; $p<.001$	El semáforo reflejó presión sanitaria
Fatiga de restricciones	Menor reducción de movilidad en tercera ola	$d=-3.17$; diferencia=26.1 pp	Erosión fuerte de adherencia o recalibración del riesgo
Movilidad-defunciones	Desfase óptimo de 21 días	$r=-.676$; $R^2=.457$	La movilidad anticipó mortalidad con rezago epidemiológico
Hospitalización-defunciones	Asociación casi simultánea	$r=.877$; $R^2=.770$	La ocupación hospitalaria operó como eslabón intermedio
Vacunación	Reducción de CFR y ratio UCI/hospitalización	CFR 11.9% a 0.3%; ratio 1.18 a 0.50	Protección contra desenlaces graves
Pobreza-mortalidad	Correlación negativa paradójica	$r=-.616$; $p<.001$	Sugiere subregistro y sub-hospitalización
Inaccesibilidad-mortalidad	Mayor capacidad explicativa que pobreza	$r=-.650$; $p<.001$	La distancia física al hospital precisa el mecanismo

Nota. pp = puntos porcentuales; CFR = tasa de letalidad por caso.

Semáforo, movilidad y hospitalización

El Semáforo Epidemiológico se asoció con diferencias significativas en movilidad comercial. El gradiente fue monotónico: alerta Máxima (-28.8%), Alta (-17.8%), Media (-8.6%) y Baja (+5.5%). La magnitud del efecto fue grande ($\epsilon^2 = .358$), lo que indica que el nivel de alerta explicó una parte sustantiva de la variación en movilidad. Este resultado coincide con estudios sobre restricciones escalonadas, donde cada nivel adicional de alerta redujo movilidad y transmisión con intensidad decreciente (Della Rossa et al., 2021).

La asociación se replicó en hospitalización: alerta Máxima (64.3%), Alta (41.9%), Media (25.1%) y Baja (14.3%). Además, la proporción de entidades en nivel Alto/Máximo se correlacionó con la ocupación hospitalaria nacional ($r = .779$, $p < .001$). Sin embargo, la efectividad conductual se erosionó: durante la segunda ola, las entidades en Alto/Máximo redujeron movilidad en -32.8%, mientras que en la tercera ola solo -6.7%, una diferencia de 26.1 puntos porcentuales. Este hallazgo es consistente con la literatura sobre fatiga pandémica, aunque también puede interpretarse como recalibración social ante menor letalidad por vacunación (Crane et al., 2022; Petherick et al., 2021).

Secuencia movilidad-hospitalización-mortalidad

Las correlaciones cruzadas mostraron que la movilidad comercial se asoció con las defunciones con un desfase óptimo de 21 días ($r = -.676$, p ajustada $< .001$, $R^2 = .457$). Este rezago coincide con la evolución clínica esperada del SARS-CoV-2 y con estudios internacionales que reportan desfases de dos a cuatro semanas entre movilidad, transmisión y mortalidad (Badr et al., 2020; Jeffrey et al., 2021; Nouvellet et al., 2021).

La ocupación hospitalaria fue el eslabón más fuerte de la secuencia. Su correlación con defunciones fue casi simultánea y de gran magnitud ($r = .877$, $R^2 = .770$). Este resultado sostiene que la presión hospitalaria no fue solo un resultado de la pandemia, sino un amplificador de mortalidad, tal como se ha documentado en México y otros países (Bravata et al., 2021; French et al., 2021; Karaca-Mandic et al., 2022; Olivas-Martínez et al., 2021).

Vacunación y desacoplamiento entre hospitalización y muerte

La vacunación se asoció con una reducción sostenida de la tasa de letalidad por caso: 11.9%, 8.7%, 4.2%, 1.4% y 0.3% a lo largo de las cinco olas. También se redujo el ratio UCI/hospitalización de 1.19 a 0.50. La comparación entre segunda y tercera ola es especialmente relevante: con ocupación hospitalaria similar, las defunciones disminuyeron casi a la mitad, lo que sugiere que la vacunación no eliminó la hospitalización, pero sí redujo la probabilidad de muerte y de requerimiento intensivo (Feikin et al., 2023; García-Albéniz et al., 2023; Guijarro et al., 2022).

Pobreza, inaccesibilidad vial y sub-hospitalización

La pobreza se correlacionó negativamente con la mortalidad registrada ($r = -.616$, $p < .001$) y con la hospitalización promedio ($r = -.402$, $p = .023$). Este resultado no implica protección de la pobreza, sino subregistro diferencial: en entidades con mayor pobreza, menos personas habrían llegado al sistema hospitalario y, por tanto, menos defunciones habrían sido registradas formalmente como COVID-19. La interpretación coincide con estudios sobre población indígena, marginación y menor acceso a hospitalización o UCI (Bello-Chavolla et al., 2024; Heredia-Pi et al., 2023; Ibarra-Nava et al., 2021; Little et al., 2023).

La inaccesibilidad vial precisó el mecanismo operativo de la paradoja. Su correlación con mortalidad registrada fue más fuerte que la de pobreza ($r = -.650$, $p < .001$), y el modelo que la incorporó aumentó la varianza explicada de $R^2 = .533$ a $R^2 = .636$. En el modelo ampliado, la inaccesibilidad fue predictor significativo ($\beta = -3.65$, $p = .010$), con VIF menores a 3 y residuos aceptablemente normales. Esto sugiere que la distancia física al hospital, y no solo la privación socioeconómica, condicionó el registro de la mortalidad pandémica.

Tabla 3

Modelo ampliado de mortalidad registrada por COVID-19

Predictor	β	EE	t	p	VIF
Pobreza (%)	-1.47	0.98	-1.50	.144	2.79
Inaccesibilidad vial (%)	-3.65	1.32	-2.76	.010	2.14
Hospitalización promedio (%)	1.61	1.63	0.99	.331	1.60
IRS	-183.89	74.18	-2.48	.020	1.37

Nota. Modelo C: $R^2 = .636$; R^2 ajustado = .582; $F(4,27) = 11.77$, $p < .001$; Shapiro-Wilk de residuos: $W = .972$, $p = .568$. IRS = Índice de Respuesta al Semáforo.

Discusión

El estudio muestra que la respuesta pandémica mexicana puede entenderse como una secuencia asociativa de cuatro eslabones: restricciones, movilidad, hospitalización y mortalidad. La fuerza de las asociaciones, la temporalidad de los rezagos y el gradiente por niveles del semáforo sugieren una dirección causal plausible, aunque el diseño ecológico no permite afirmarla de manera concluyente. Por ello, el término secuencia asociativa resulta metodológicamente más prudente que cadena causal (Rothman y Greenland, 2005; Von Elm et al., 2007).

La primera contribución es la evaluación integral del Semáforo Epidemiológico. El instrumento sí se asoció con movilidad y hospitalización, pero su efecto se debilitó con el tiempo. Esta erosión puede reflejar fatiga conductual, necesidad económica o una adaptación racional ante menor letalidad posterior a la vacunación. La evidencia internacional sugiere que los sistemas de alerta escalonada son útiles, pero requieren ajustes dinámicos, comunicación clara y apoyos materiales para sostener la adherencia (Della Rossa et al., 2021; Knaul et al., 2021; Reicher y Drury, 2021).

La segunda contribución es identificar la hospitalización como variable mediadora entre movilidad y mortalidad. La ocupación hospitalaria explicó 77% de la variación diaria en defunciones, lo que confirma que la capacidad del sistema de salud fue un componente decisivo del desenlace pandémico. En términos de política pública, esto implica que las restricciones deben evaluarse no solo por su efecto en casos, sino por su capacidad para evitar que la demanda rebase umbrales críticos de atención (Bravata et al., 2021; French et al., 2021; Karaca-Mandic et al., 2022).

La tercera contribución es documentar el papel de la vacunación como mecanismo de protección contra desenlaces graves. La reducción de CFR y del ratio UCI/hospitalización indica que la vacunación transformó la gravedad de la demanda hospitalaria. Este resultado es consistente con metaanálisis internacionales y refuerza la necesidad de priorizar coberturas completas en territorios con baja accesibilidad sanitaria (Feikin et al., 2023; Watson et al., 2022).

La cuarta contribución es precisar la paradoja pobreza-mortalidad mediante la inaccesibilidad vial. La pobreza agregada no basta para explicar la mortalidad registrada; la distancia física al hospital permite comprender por qué algunos estados pobres reportaron menos muertes oficiales. Esta lectura no niega la vulnerabilidad de la pobreza, sino que muestra que parte de esa vulnerabilidad se expresó como invisibilidad estadística. En emergencias futuras, los sistemas de vigilancia deben incorporar indicadores de accesibilidad, transporte, tiempos de traslado y capacidad hospitalaria real (Aggarwal, 2021; Hierink et al., 2021; Serván-Mori et al., 2021).

Las implicaciones son claras. Primero, los sistemas de alerta deben comunicar que los efectos de las restricciones sobre la mortalidad se observan con rezago de aproximadamente tres semanas. Segundo, la ocupación hospitalaria debe operar como indicador temprano para activar medidas preventivas antes de la saturación. Tercero, la inversión en infraestructura sanitaria y vial es una

política de preparación pandémica, no solo de desarrollo regional. Cuarto, el exceso de mortalidad debe usarse como indicador complementario para corregir sesgos de registro en territorios con baja capacidad diagnóstica y hospitalaria (INEGI, 2022; Palacio-Mejía et al., 2022).

Limitaciones

El estudio presenta limitaciones relevantes. Los datos de movilidad de Google subrepresentan población rural, adultos mayores y personas sin teléfonos inteligentes, lo cual afecta la medición en entidades con alta ruralidad. La pobreza CONEVAL es una medición estática que no captura pobreza transitoria generada por la pandemia. La mortalidad registrada es precisamente una variable potencialmente sesgada por subregistro, por lo que debe complementarse con exceso de mortalidad. Además, la unidad estatal impide inferencias individuales y puede ocultar desigualdades municipales o intrametropolitanas (Morgenstern, 2008; Wu et al., 2020).

Otra limitación es la no estacionariedad de las series en niveles. Aunque los desfases observados son epidemiológicamente plausibles, investigaciones futuras deben aplicar modelos en diferencias, prewhitening, series temporales interrumpidas o diseños cuasi-experimentales. También se requiere aprovechar los cambios de nivel del semáforo como posibles umbrales para regresión discontinua, así como incorporar indicadores municipales de accesibilidad, exceso de mortalidad y capacidad hospitalaria efectiva.

Conclusiones

La respuesta pandémica en México se estructuró en torno a una secuencia asociativa entre restricciones, movilidad, hospitalización y mortalidad, moderada por la vacunación y condicionada por desigualdades territoriales. El Semáforo Epidemiológico se asoció con reducciones significativas de movilidad y con gradientes de hospitalización, pero su efectividad se erosionó conforme avanzaron las olas.

La movilidad se relacionó con las defunciones con un desfase de 21 días, mientras que la ocupación hospitalaria fue el eslabón más fuerte de la secuencia. La vacunación redujo drásticamente la letalidad y la presión relativa sobre UCI, aunque no eliminó la demanda hospitalaria. Finalmente,

la paradoja pobreza-mortalidad se explica mejor al incorporar la inaccesibilidad vial: en territorios con menor conexión física al sistema sanitario, las muertes pudieron ocurrir fuera del hospital y quedar subregistradas.

La principal recomendación es fortalecer sistemas de vigilancia que integren movilidad, ocupación hospitalaria, accesibilidad territorial y exceso de mortalidad. Para futuras emergencias, la preparación pandémica no puede limitarse a restricciones conductuales; debe incluir infraestructura sanitaria descentralizada, conectividad vial, comunicación de rezagos epidemiológicos y protección social que permita cumplir las medidas sin profundizar desigualdades.

Referencias bibliográficas

- Aggarwal, S. (2021). The long road to health: Healthcare utilization impacts of a road pavement policy in rural India. *Journal of Development Economics*, 151, 102667. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2021.102667>
- Aktay, A., Aravind, S., Balanber, G., Bratman, J., Chervitz, M., Hughes, J., Humphrey, D., Kovac, S., Lambert, A., Methot, G., Montiel, W., Moore, J., Salehi, P., Topkis, J., & Velez, A. (2020). Google COVID-19 Community Mobility Reports: Anonymization Process Description (version 1.0). arXiv preprint arXiv:2004.04145.
- Antonio-Villa, N., Fermín-Martínez, C., Avilés-Olmos, I., Vargas-Vázquez, A., & Bello-Chavolla, O. (2022). Excess non-COVID-19 mortality and hospital occupancy during the COVID-19 pandemic in Mexico. *International Journal of Epidemiology*, 51(6), 1757-1768.
- Arceo-Gómez, E., Campos-Vázquez, R., & López-Araiza, S. (2022). The income gradient in COVID-19 mortality and hospitalisation: An observational study with social security administrative records in Mexico. *The Lancet Regional Health - Americas*, 6, 100111.
- Badr, H., Du, H., Marshall, M., Dong, E., Squire, M., & Gardner, L. (2020). Association between mobility patterns and COVID-19 transmission in the USA: A mathematical modelling study. *The Lancet Infectious Diseases*, 20(11), 1247-1254.

- Bambra, C., Lynch, J., & Smith, K. (2022). COVID-19 mortality and deprivation: Pandemic, syndemic, and endemic health inequalities. *The Lancet Public Health*, 6(7), e535-e548.
- Bastos, L., Niquini, R., Lana, R., Villela, D., Cruz, O., Coelho, F., Codeço, C., & Gomes, M. (2021). Characterisation of the first 250 000 hospital admissions for COVID-19 in Brazil: A retrospective analysis of nationwide data. *The Lancet Respiratory Medicine*, 9(4), 407-418.
- Bello-Chavolla, O., Bahena-López, J., Antonio-Villa, N., Vargas-Vázquez, A., González-Díaz, A., Márquez-Salinas, A., & Aguilar-Salinas, C. (2021). Spatial epidemiological study of the distribution, clustering, and risk factors associated with early COVID-19 mortality in Mexico. *PLOS ONE*, 16(7), e0254884.
- Bello-Chavolla, O., Fermín-Martínez, C., Fernández-Chirino, L., & Vargas-Vázquez, A. (2024). Evaluating COVID-19 impact, vaccination, birth registration, and underreporting in a predominantly indigenous population in Chiapas, Mexico. *BMC Infectious Diseases*, 24, 287.
- Bravata, D., Perkins, A., Myers, L., Arling, G., Zhang, Y., Zillich, A., & Mulin, B. (2021). Association of Intensive Care Unit Patient Load and Demand With Mortality Rates in US Department of Veterans Affairs Hospitals During the COVID-19 Pandemic. *JAMA Network Open*, 4(1), e2034266.
- CONEVAL. (2021). *Medición de la pobreza en México 2020*. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- Contreras-Manzano, A., De la Cruz-Góngora, V., Villalpando, S., Reyes-Morales, H., & Shamah-Levy, T. (2022). Municipality-Level Predictors of COVID-19 Mortality in Mexico: A Cautionary Tale. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 16(4), 1-8.
- Crane, M., Shermock, K., Omer, S., & Romley, J. (2022). Evidence of pandemic fatigue associated with stricter tiered COVID-19 restrictions. *PLOS Digital Health*, 1(5), e0000035.

- Dahal, S., Luo, R., Subedi, R., Maharjan, M., Chowell, G., & Mizumoto, K. (2022). Geospatial Variability in Excess Death Rates during the COVID-19 Pandemic in Mexico. *International Journal of Infectious Diseases*, 113, 347-354.
- Della Rossa, F., Salzano, D., Di Meglio, A., De Lellis, F., Ruijter, M., Calabrese, J., & di Bernardo, M. (2021). Impact of tiered restrictions on human activities and the epidemiology of the second wave of COVID-19 in Italy. *Nature Communications*, 12, 4481.
- Feikin, D., Higdon, M., Abu-Raddad, L., Andrews, N., Buber-Ben-David, N., & Patel, M. (2023). Long-term effectiveness of COVID-19 vaccines against infections, hospitalisations, and mortality in adults. *The Lancet Respiratory Medicine*, 11(9), 806-820.
- Fernández-Rojas, M., Luna-Ruiz Esparza, M., Campos-Romero, A., & Calva-Espinosa, D. (2022). Socio-demographic inequalities and excess non-COVID-19 mortality during the COVID-19 pandemic: A data-driven analysis of 1 069 174 death certificates in Mexico. *International Journal of Epidemiology*, 51(6), 1711-1721.
- French, G., Amodeo, S., Gaitán-Rossi, P., McGeary, J., & McClelland, G. (2021). Impact of hospital strain on excess deaths during the COVID-19 pandemic - United States, July 2020-July 2021. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 70(46), 1613-1616.
- García-Albéniz, X., Hsu, J., & Hernán, M. (2023). The relationship of COVID-19 vaccination with mortality among 86,732 hospitalized patients. *Journal of General Internal Medicine*, 38(5), 1146-1155.
- Glodeanu, A., Gullón, P., & Bilal, U. (2021). Linking excess mortality to mobility data during the first wave of COVID-19 in England and Wales. *SSM - Population Health*, 14, 100799.
- Guijarro, C., Galán, I., Martínez-Ponce, D., Pérez-Fernández, E., & Goyanes, M. (2022). Characteristics of hospitalized patients with SARS-CoV-2 infection during successive waves of the COVID-19 pandemic in a reference hospital in Spain. *Scientific Reports*, 12, 17797.

-
- Gutiérrez, E., Rubli, A., & Tavares, T. (2021). Poverty and COVID-19 in Africa and Latin America. *World Development*, 142, 105422.
- Hair, J., Black, W., Babin, B., & Anderson, R. (2010). *Multivariate Data Analysis* (7th ed.). Prentice Hall.
- Heredia-Pi, I., Torres-Pereda, P., Reyes-Morales, H., & Serván-Mori, E. (2023). COVID-19 infection and mortality among non-pregnant indigenous adults in Mexico 2020-2022: Impact of marginalisation. *Journal of Global Health*, 13, 06040.
- Hernández-Ávila, M., Vázquez-de-Lara, L., Pérez-Padilla, R., Esponda-Preciado, D., & Guerrero-López, C. (2022). Comparative epidemiology of five waves of COVID-19 in Mexico, March 2020-August 2022. *BMC Infectious Diseases*, 22, 816.
- Hierink, F., Rodrigues, N., Muñoz, M., Panciera, R., & Ray, N. (2021). The winding road to health: A systematic scoping review on the effect of geographical accessibility to health care on infectious diseases in low- and middle-income countries. *PLOS ONE*, 16(4), e0244921.
- Huo, J., Xu, Z., & Zuo, D. (2025). Prewhitening-Aided Innovative Trend Analysis Method for Trend Detection in Hydrometeorological Time Series. *Water*, 17(4), 512. <https://doi.org/10.3390/w17040512>
- Ibarra-Nava, I., Flores-Rodriguez, K., Ruiz-Herrera, V., Ochoa-Bayona, H., & Salinas-Zertuche, A. (2021). COVID-19 fatality in Mexico's indigenous populations. *Public Health*, 193, 69-75.
- INEGI. (2022). Estadísticas de defunciones registradas 2021. Comunicado de prensa Núm. 600/22. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Jeffrey, B., Walters, C., Ainslie, K., Eales, O., Caterall, L., Bhatt, S., & Riley, S. (2021). Mobility restrictions were associated with reductions in COVID-19 incidence early in the pandemic: Evidence from a real-time evaluation in 34 countries. *Scientific Reports*, 11, 13526.

- Karaca-Mandic, P., Georgiou, A., & Sen, S. (2022). Hospital bed occupancy rate is an independent risk factor for COVID-19 inpatient mortality: A pandemic epicentre cohort study. *BMJ Open*, 12(2), e054614.
- Knaul, F., Arreola-Ornelas, H., Porteny, T., Touchton, M., Sánchez-Talanquer, M., Méndez, Ó., Benítez, G., & Lajous, M. (2021). Not far enough: Public health policies to combat COVID-19 in Mexico's states. *PLOS ONE*, 16(6), e0251722.
- Kraemer, M., Yang, C.-H., Gutierrez, B., Wu, C.-H., Klein, B., & Pybus, O. (2020). The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China. *Science*, 368(6490), 493-497.
- Krieger, N. (2011). *Epidemiology and the People's Health: Theory and Context*. Oxford University Press.
- Li, Y., Campbell, H., Kulkarni, D., Harber, A., Theodoratou, E., & Nair, H. (2021). Systematic review of empirical studies comparing the effectiveness of non-pharmaceutical interventions against COVID-19. *The Journal of Infection*, 83(3), 281-293.
- Little, B., Ahmad, S., & Vega, M. (2023). COVID-19 infection and mortality among non-pregnant indigenous adults in Mexico 2020-2022: Impact of marginalisation. *Journal of Global Health*, 13, 06021.
- Marmot, M. (2005). Social determinants of health inequalities. *The Lancet*, 365(9464), 1099-1104.
- Mena, G., Martínez, P., Mahmud, A., Marquet, P., Buckee, C., & Santillana, M. (2021). Socioeconomic status determines COVID-19 incidence and related mortality in Santiago, Chile. *Science*, 372(6545), eabg5298.
- Mendez-Brito, A., El Bcheraoui, C., & Pozo-Martin, F. (2021). Effectiveness of non-pharmaceutical public health interventions against COVID-19: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, 16(12), e0260371.

-
- Méndez-Lizárraga, C., Castañeda-Cediel, M., Villarreal-Ríos, E., & Torres-Reyes, A. (2022). Evaluating the impact of mobility in COVID-19 incidence and mortality: A case study from four states of Mexico. *Frontiers in Public Health*, 10, 877800.
- Morel, J.-D., Morel, J.-M., & Alvarez, L. (2023). Time warping between main epidemic time series in epidemiological surveillance. *PLOS Computational Biology*, 19(8), e1011283.
- Morgenstern, H. (2008). Ecologic Studies. In K. Rothman, S. Greenland, & T. Lash (Eds.), *Modern Epidemiology* (3rd ed., pp. 512-531). Lippincott Williams & Wilkins.
- Nouvellet, P., Bhatia, S., Cori, A., Ainslie, K., Baguelin, M., Bhatt, S., Boonyasiri, A., Brazeau, N., Cattarino, L., Cooper, L., & Riley, S. (2021). Reduction in mobility and COVID-19 transmission. *Nature Communications*, 12, 1090.
- Olivas-Martínez, A., Cárdenas-Fragoso, J., Jiménez, J., Lozano-Cruz, O., & Kershenobich, D. (2021). In-hospital mortality from severe COVID-19 in a tertiary care center in Mexico City; causes of death, risk factors and the impact of hospital saturation. *PLOS ONE*, 16(2), e0245772.
- Palacio-Mejía, L., Hernández-Ávila, J., Hernández-Ávila, M., & López-Ridaura, R. (2022). Leading causes of excess mortality in Mexico during the COVID-19 pandemic 2020-2021. *The Lancet Regional Health - Americas*, 13, 100303.
- Paremoer, L., Nandi, S., Serag, H., & Baum, F. (2021). Covid-19 pandemic and the social determinants of health. *The BMJ*, 372, n129.
- Petherick, A., Goldszmidt, R., Andrade, E., Furst, R., Hale, T., Pott, A., & Wood, A. (2021). A worldwide assessment of changes in adherence to COVID-19 protective behaviours and hypothesized pandemic fatigue. *Nature Human Behaviour*, 5(9), 1145-1160.
- Prieto, K., Chávez-Hernández, E., & Romero-Leiton, J. (2022). On mobility trends analysis of COVID-19 dissemination in Mexico City. *PLOS ONE*, 17(2), e0263367.

-
- Rangel González, E., Llamosas-Rosas, I., & Fonseca, F. (2021). Aislamiento social y el COVID-19 en las regiones de México. *EconoQuantum*, 18(2), 1-29.
- Reicher, S., & Drury, J. (2021). Pandemic fatigue? How adherence to covid-19 regulations has been misrepresented and why it matters. *The BMJ*, 372, n137.
- Rothman, K., & Greenland, S. (2005). Causation and causal inference in epidemiology. *American Journal of Public Health*, 95(S1), S144-S150.
- Serván-Mori, E., Contreras-Loya, D., Gómez-Dantés, O., Nigenda, G., & Lozano, R. (2021). Hospitalisation and mortality from COVID-19 in Mexican indigenous people: A cross-sectional observational study. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 76(1), 16-23.
- Suárez-Lastra, M., Valdés-González, C., Galindo-Pérez, M., & Sosa-López, S. (2023). Spatial scales of COVID-19 transmission in Mexico. *PNAS Nexus*, 2(5), pgad149.
- Sulyok, M., & Walker, M. (2021). Community movement and COVID-19: A global study using Google Community Mobility Reports. *Epidemiology and Infection*, 149, e284.
- Tomczak, M., & Tomczak, E. (2014). The need to report effect size estimates revisited: An overview of some recommended measures of effect size. *Trends in Sport Sciences*, 1(21), 19-25.
- Von Elm, E., Altman, D., Egger, M., Pocock, S., Gøtzsche, P., & Vandenbroucke, J. (2007). The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: Guidelines for reporting observational studies. *The Lancet*, 370(9596), 1453-1457.
- Watson, O., Barnsley, G., Toor, J., Hogan, A., Winskill, P., & Ghani, A. (2022). Global impact of the first year of COVID-19 vaccination: A mathematical modelling study. *The Lancet Infectious Diseases*, 22(9), 1293-1302.

Wu, X., Nethery, R., Sabath, B., Braun, D., & Dominici, F. (2020). Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis. *Science Advances*, 6(45), eabd4049.

Declaraciones finales

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento: No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento: N/A.

Nota editorial: El artículo no es producto de una publicación anterior.