

# **ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA MORTALIDAD MATERNA EN MÉXICO: PATRONES GEOGRÁFICOS Y TENDENCIAS 2002-2022**

Estudiante:

Olimpia de los Angeles Moctezuma Juan

Investigador Responsable:

Dr. Miguel Felix Mata Rivera

Institución Anfitriona:

Instituto Politécnico Nacional

Programa:

Programa Interinstitucional para el Fortalecimiento de  
la Investigación y el Posgrado del Pacífico 2025

Fecha:

Julio 2025

## Contenido

### **ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA MORTALIDAD MATERNA EN MÉXICO: PATRONES GEOGRÁFICOS Y TENDENCIAS 2002-2022 ... 1**

Resumen ejecutivo.....	3
Introducción .....	4
Metodología.....	5
Resultados .....	7
Discusión .....	14
Conclusiones .....	15
Trabajo futuro.....	16
Referencias .....	17

## Resumen ejecutivo

La mortalidad materna constituye un indicador crítico de la calidad de los sistemas de salud y el desarrollo social. Este estudio analiza los patrones espacio-temporales de la mortalidad materna en México durante el período 2002-2022, utilizando datos oficiales de la Secretaría de Salud que comprenden 23,133 defunciones maternas.

**Metodología:** Se implementó un enfoque multidisciplinario combinando análisis estadístico descriptivo, técnicas de clustering espacial con K-means, análisis de series temporales y cartografía temática mediante QGIS. Los datos fueron procesados utilizando Python para análisis exploratorio y modelado estadístico, identificando patrones geográficos y tendencias temporales.

**Resultados principales:** El análisis reveló una reducción significativa del 32.8% en la mortalidad materna entre 2002-2019, interrumpida por un incremento del 39.7% durante la pandemia COVID-19 (2020-2021). Se identificaron cuatro clusters epidemiológicos distintos: Estados del Norte/Noreste con mejor acceso a servicios de salud (24.4% sin derechohabiencia), Estados del Centro-Occidente con mortalidad media, Estados con características mixtas, y Estados grandes/poblados con situación crítica (42.1% sin derechohabiencia, 1,881 casos promedio). El análisis geoespacial confirmó un patrón Norte-Sur de desigualdad en el acceso a servicios de salud materna.

**Conclusiones:** Los hallazgos evidencian disparidades geográficas sistemáticas en la mortalidad materna, con estados del sur presentando mayor vulnerabilidad. La pandemia COVID-19 exacerbó las desigualdades preexistentes, particularmente en estados con menor cobertura de servicios de salud. Los resultados proporcionan evidencia científica para orientar políticas públicas de salud materna diferenciadas territorialmente.

**Palabras clave:** mortalidad materna, análisis espacial, clustering, COVID-19, México, desigualdades en salud.

# Introducción

## Contexto y antecedentes del tema

La mortalidad materna representa uno de los indicadores más sensibles del desarrollo socioeconómico y la calidad de los sistemas de salud a nivel mundial. Según la Organización Mundial de la Salud, cada día mueren aproximadamente 810 mujeres por causas prevenibles relacionadas con el embarazo y el parto, siendo el 94% de estas muertes en países de ingresos bajos y medios-bajos. En México, la mortalidad materna constituye un problema de salud pública persistente que refleja desigualdades estructurales en el acceso a servicios de salud de calidad.

Durante las últimas dos décadas, México ha implementado diversas estrategias para reducir la mortalidad materna, incluyendo el fortalecimiento del Seguro Popular, programas de atención prenatal y la profesionalización de la atención obstétrica. Sin embargo, la pandemia de COVID-19 ha planteado nuevos desafíos, interrumpiendo servicios esenciales de salud materna y exacerbando vulnerabilidades preexistentes.

## Justificación del estudio

El análisis espacio-temporal de la mortalidad materna es fundamental para comprender los patrones geográficos de desigualdad y diseñar intervenciones focalizadas. Los estudios previos han documentado variaciones significativas entre entidades federativas, pero existe una necesidad de análisis más sofisticados que integren técnicas de clustering espacial y series temporales para identificar perfiles epidemiológicos específicos.

La disponibilidad de datos oficiales de la Secretaría de Salud (2002-2022) que comprenden 23,133 defunciones maternas ofrece una oportunidad única para realizar un análisis comprehensivo que abarque tanto el período de progreso pre-pandémico como el impacto de la crisis sanitaria global.

## Objetivo general

Analizar los patrones espacio-temporales de la mortalidad materna en México durante el período 2002-2022, identificando clusters geográficos y tendencias temporales para generar evidencia científica que oriente políticas públicas de salud materna.

## Objetivos específicos

1. Caracterizar la distribución geográfica de la mortalidad materna por entidad federativa mediante análisis cartográfico y técnicas de clustering espacial.

2. Evaluar las tendencias temporales de la mortalidad materna, con énfasis en el impacto de la pandemia COVID-19.
3. Identificar perfiles epidemiológicos de las entidades federativas basados en indicadores de mortalidad materna y acceso a servicios de salud.
4. Analizar los factores asociados con la mortalidad materna, incluyendo edad, escolaridad y derechohabiencia.
5. Generar recomendaciones de política pública basadas en evidencia para la reducción de la mortalidad materna.

## Metodología

### Enfoque de investigación

Se implementó un enfoque cuantitativo de investigación observacional retrospectiva, utilizando métodos de análisis espacial, clustering estadístico y series temporales para caracterizar los patrones de mortalidad materna en México.

### Fuente de datos

Los datos fueron obtenidos de la base de datos oficial de defunciones de la Secretaría de Salud de México, correspondientes al período 2002-2022. La base de datos original contenía 23,270 registros de defunciones maternas, de los cuales se conservaron 23,133 casos (99.4%) después del proceso de limpieza de datos, excluyendo únicamente registros con información faltante crítica.

### Variables de estudio

Las variables analizadas incluyeron:

- Variables geográficas: entidad federativa de ocurrencia
- Variables temporales: año y mes de defunción
- Variables demográficas: edad al momento de la defunción
- Variables socioeconómicas: escolaridad, derechohabiencia
- Variables de atención: lugar de ocurrencia de la defunción

### Herramientas y software

- **Python 3.9:** Análisis estadístico y procesamiento de datos (pandas, numpy, matplotlib, seaborn)
- **Scikit-learn:** Implementación de algoritmos de clustering (K-means)
- **QGIS 3.28:** Análisis geoespacial y cartografía temática
- **Jupyter Lab:** Entorno de desarrollo y documentación reproducible

## Arquitectura del sistema

El flujo de trabajo se estructuró en cinco etapas principales:

1. **Adquisición y limpieza de datos:** Importación, validación y normalización de la base de datos oficial
2. **Análisis exploratorio:** Estadística descriptiva, identificación de patrones y outliers
3. **Análisis geoespacial:** Creación de mapas temáticos y visualización de patrones espaciales
4. **Clustering espacial:** Aplicación del algoritmo K-means para identificar grupos de entidades con características similares
5. **Análisis temporal:** Evaluación de tendencias históricas y series temporales por cluster

## Algoritmos y técnicas implementadas

**Clustering K-means:** Se utilizó el algoritmo K-means para agrupar las 32 entidades federativas basándose en cuatro variables: total de casos, tasa anual de mortalidad, edad promedio y porcentaje de población sin derechohabiencia. Los datos fueron normalizados mediante StandardScaler para asegurar comparabilidad entre variables con diferentes escalas.

**Análisis de series temporales:** Se implementaron técnicas de agregación temporal para evaluar tendencias anuales y estacionales, incluyendo análisis comparativo pre-COVID (2002-2019) versus período COVID (2020-2022).

**Cartografía temática:** Se desarrollaron seis mapas temáticos utilizando clasificaciones graduadas con diferentes esquemas de color para visualizar: casos totales, porcentaje sin derechohabiencia, edad promedio, tasa anual, cambio histórico e impacto COVID-19.

## Experimentos realizados

1. **Determinación del número óptimo de clusters:** Aplicación del método del codo para  $K=2$  a  $K=7$
2. **Validación de la estabilidad del clustering:** Verificación de consistencia con múltiples semillas aleatorias
3. **Análisis de sensibilidad:** Evaluación del impacto de diferentes variables en la formación de clusters
4. **Análisis de correlación:** Identificación de relaciones entre variables socioeconómicas y mortalidad materna

## Resultados

### Análisis exploratorio de datos

El análisis de 23,133 defunciones maternas registradas entre 2002-2022 reveló patrones temporales y geográficos significativos. La edad promedio al momento de la defunción fue de 29.1 años ( $DE=1.2$ ), con un rango de 27.4 a 32.0 años entre entidades federativas. El 31.7% de las defunciones correspondió a mujeres sin derechohabiencia ( $DE=9.0\%$ ), evidenciando importantes brechas en el acceso a servicios de salud.

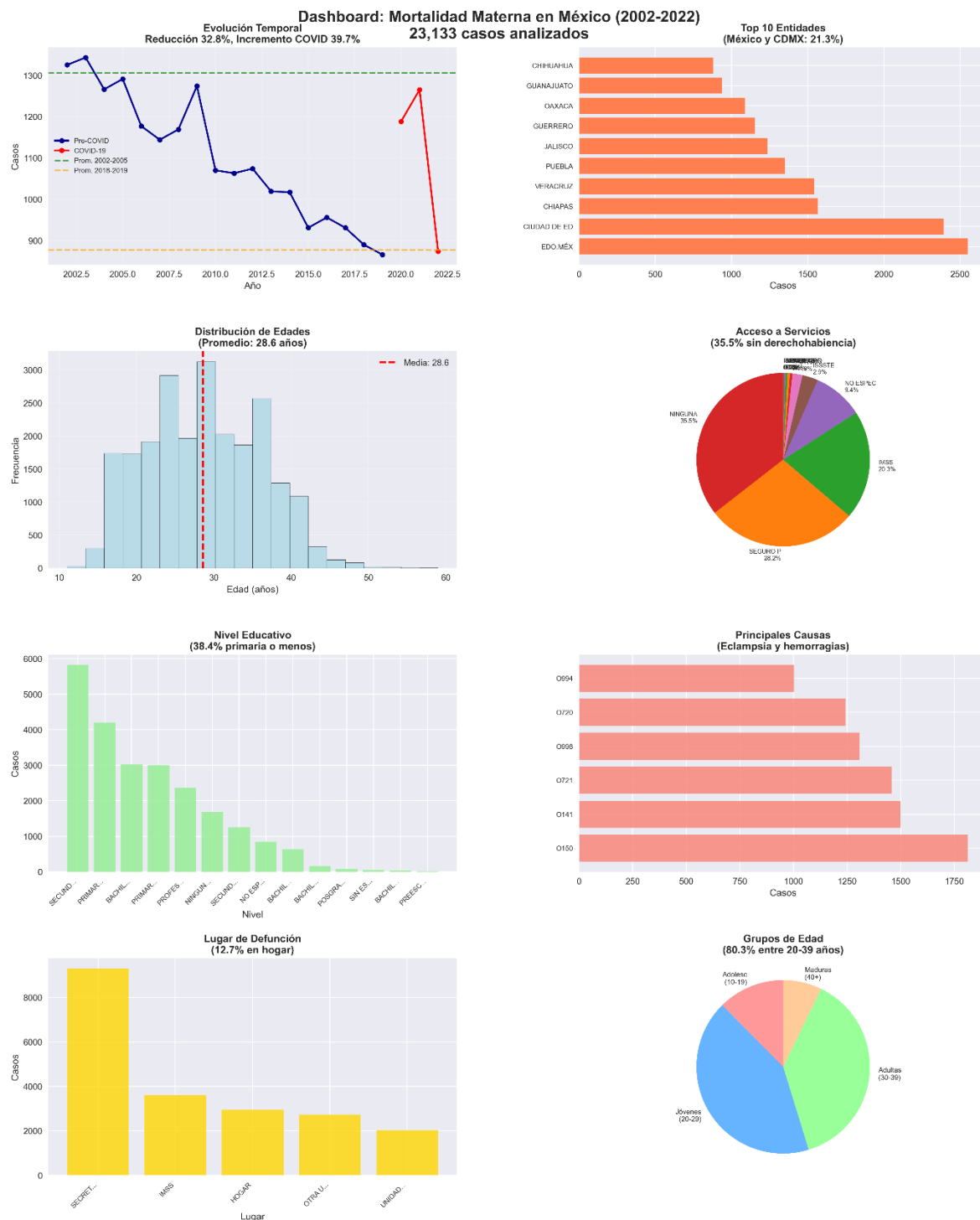
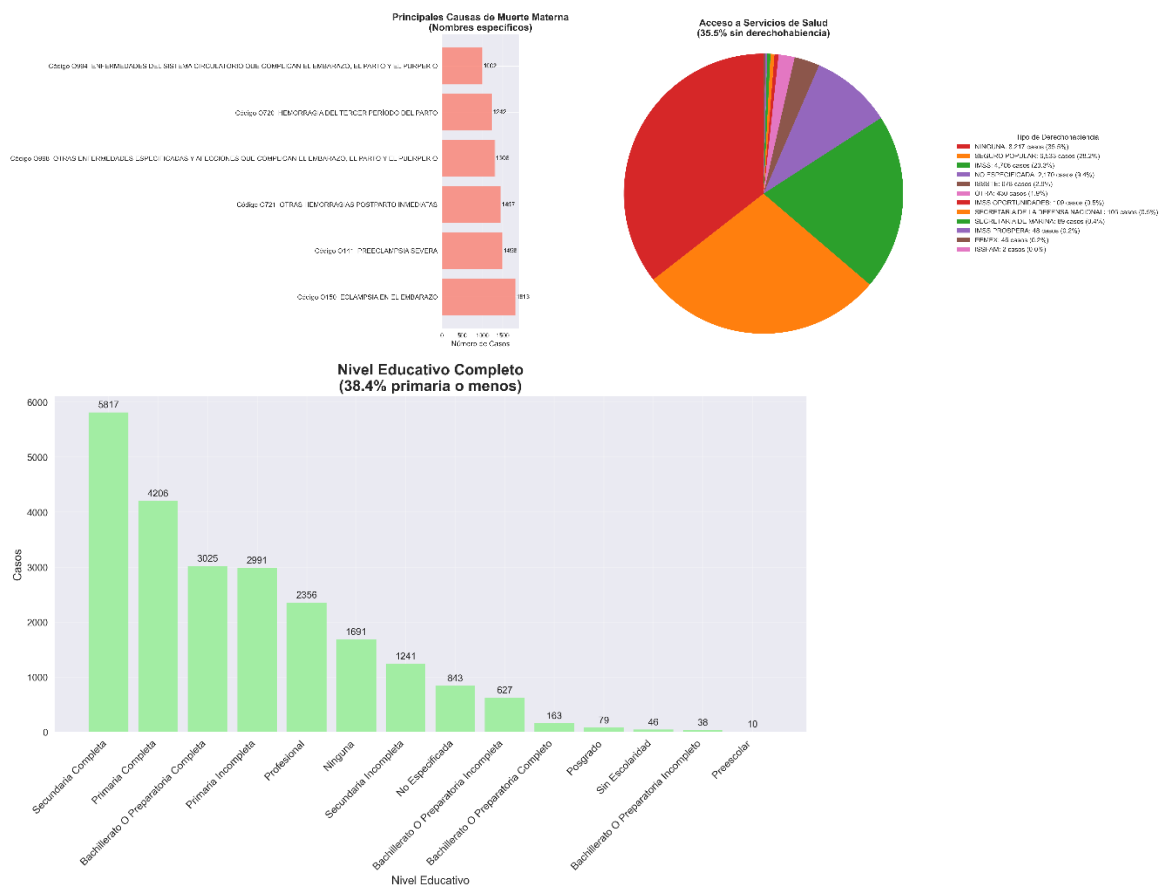


Figura 1





Como se observa en la **Figura 1. Dashboard General de Mortalidad Materna**, el análisis exploratorio identificó que el Estado de México y la Ciudad de México concentran el 21.3% del total de casos. La distribución por edad muestra una concentración del 80.3% de las defunciones entre los 20-39 años, con un promedio de 28.6 años. El 38.4% de las mujeres tenía educación primaria o menor, y el 12.7% de las defunciones ocurrieron en el hogar.

## Tendencias temporales generales

El análisis de series temporales mostró dos períodos claramente diferenciados (Figura 1):

**Período de progreso (2002-2019):** Se observó una reducción sostenida del 32.8% en la mortalidad materna, pasando de aproximadamente 1,350 casos anuales en 2002-2005 a 870 casos en 2019. Esta tendencia descendente fue consistente en la mayoría de las entidades federativas.

**Período de crisis (2020-2022):** La pandemia COVID-19 interrumpió abruptamente el progreso histórico, registrándose un incremento del 39.7% en 2020-2021 comparado

con el promedio 2015-2019. El año 2021 presentó el pico más alto con 1,268 defunciones maternas, seguido de una disminución parcial en 2022.

## Análisis geoespacial

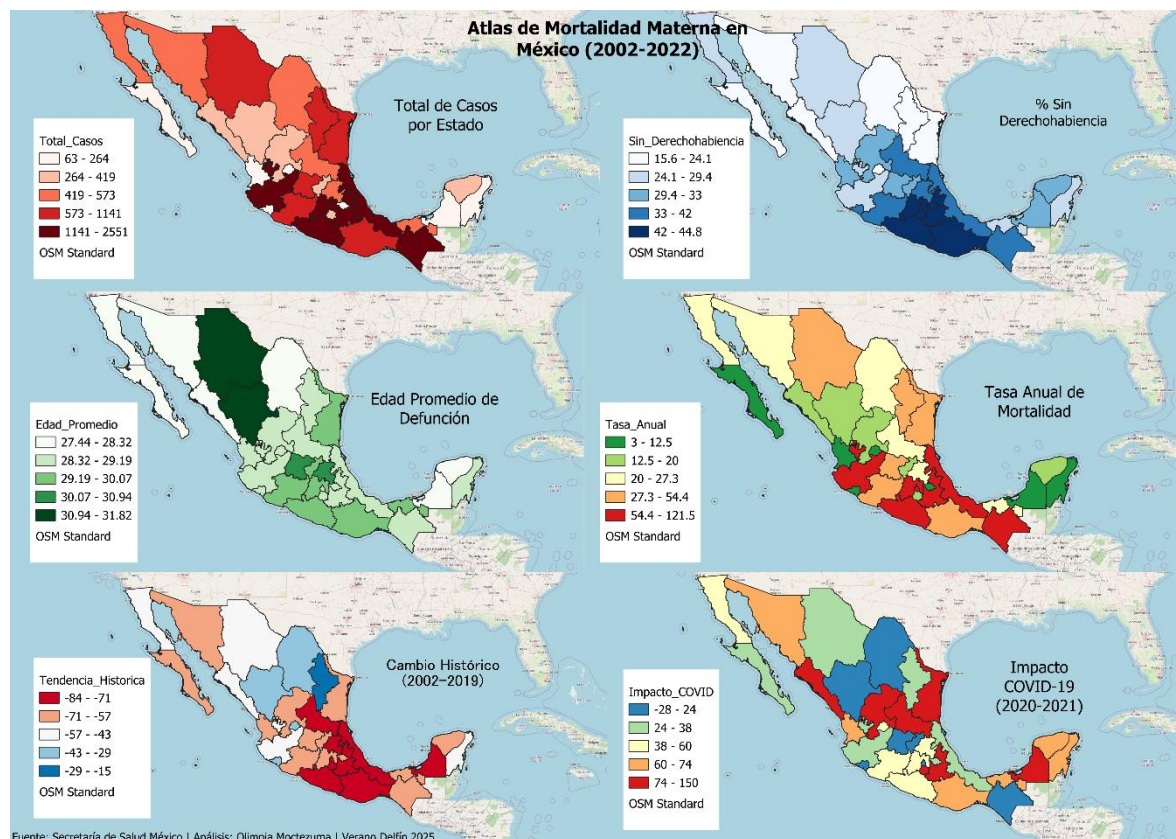


Figura 2

La **Figura 2. Atlas Cartográfico de Mortalidad Materna en México (2002-2022)** evidenció patrones geográficos consistentes de desigualdad Norte-Sur a través de seis dimensiones analíticas:

*Distribución de casos totales:* Los estados del sur (Chiapas, Oaxaca, Veracruz) y las entidades más pobladas (Estado de México, Ciudad de México, Puebla) concentraron las mayores frecuencias absolutas, representadas en tonos rojos intensos.

*Acceso a servicios de salud:* El mapa de porcentaje sin derechohabencia reveló una clara división geográfica, con estados del norte (Baja California, Sonora, Nuevo León) mostrando mejor cobertura (15.6-25.3%) en tonos azules claros, mientras que estados del sur presentaron mayores carencias (35.0-44.8%) en azules intensos.

*Edad promedio de defunción:* Los estados fronterizos del norte registraron edades promedio menores (27.4-28.5 años) representadas en verdes claros, mientras que

estados como Durango y Tamaulipas presentaron edades más avanzadas (30.5-32.0 años) en verdes oscuros.

*Tasa anual de mortalidad:* El mapa normalizado por tiempo reveló patrones diferentes a los casos absolutos, con algunos estados del centro mostrando tasas elevadas a pesar de poblaciones menores.

*Cambio histórico (2002-2019):* El análisis de tendencias pre-COVID mostró que varios estados del norte lograron reducciones significativas (azules), mientras que estados del sur mantuvieron o incrementaron sus tasas (rojos).

*Impacto COVID-19 (2020-2021):* El mapa de impacto pandémico reveló afectaciones heterogéneas, con algunos estados experimentando incrementos severos mientras otros mantuvieron relativa estabilidad.

## Clustering espacial

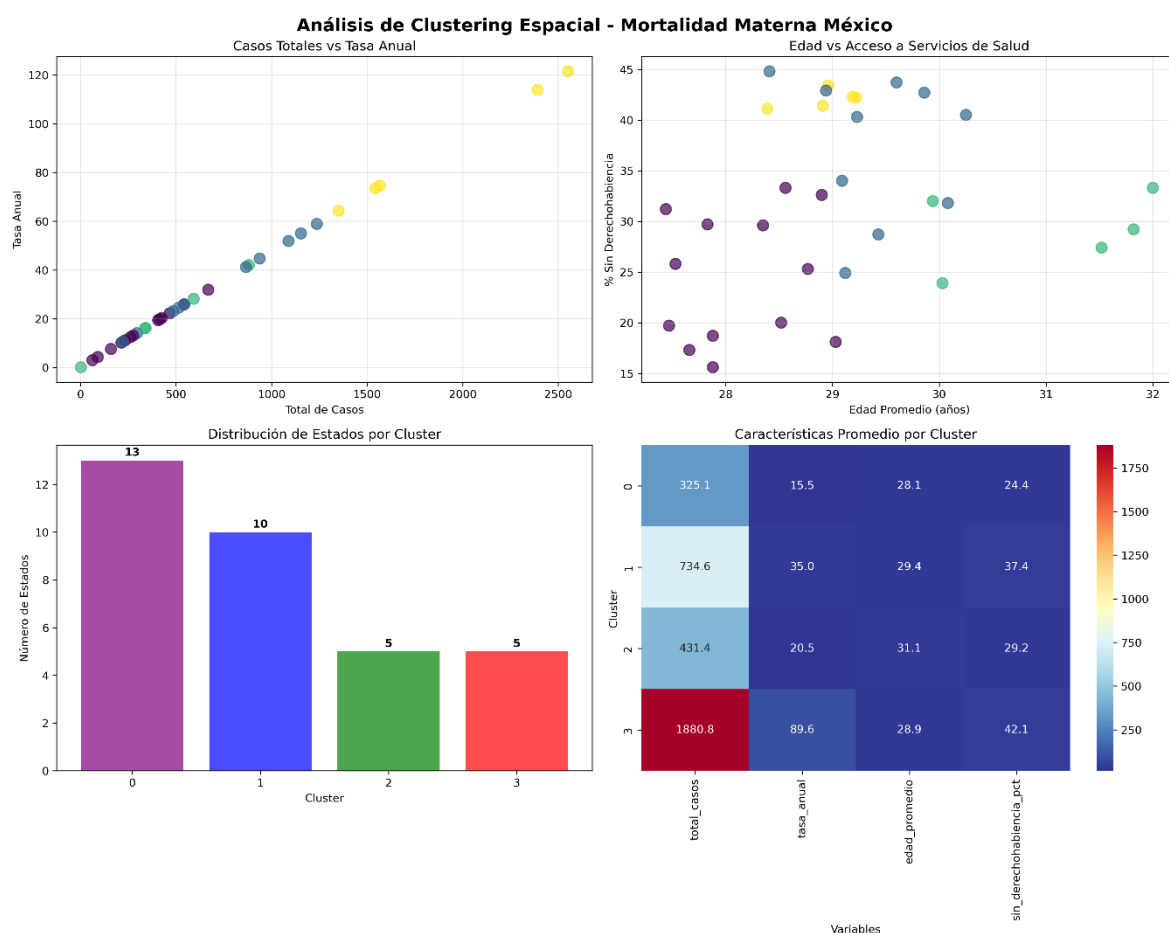


Figura 3

El **Figura 3. Análisis de Clustering Espacial de Estados Mexicanos** identificó cuatro perfiles epidemiológicos distintos mediante la aplicación del algoritmo K-means:

*Cluster 0 - Estados del Norte/Noreste (13 entidades, color morado):* Caracterizado por baja mortalidad (325.1 casos promedio), mejor acceso a servicios de salud (24.4% sin derechohabiencia) y población más joven (28.1 años). El scatter plot casos totales vs. tasa anual ubica este cluster en la zona inferior izquierda, confirmando su perfil de menor riesgo. Incluye: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Campeche, Coahuila, Colima, Nayarit, Nuevo León, Quintana Roo, Sinaloa, Sonora, Yucatán y Zacatecas.

*Cluster 1 - Estados del Centro-Occidente (10 entidades, color azul):* Perfil intermedio con mortalidad media (734.6 casos), acceso limitado a servicios (37.4% sin derechohabiencia) y edad promedio de 29.4 años. Se posiciona en la zona media del gráfico de dispersión. Comprende: Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca, San Luis Potosí, Tabasco y Tlaxcala.

*Cluster 2 - Estados Fronterizos/Diversos (5 entidades, color verde):* Características mixtas con mortalidad baja-media (431.4 casos), población de mayor edad (31.1 años) y acceso moderado a servicios (29.2% sin derechohabiencia). Incluye: Chihuahua, Durango, Querétaro, Tamaulipas y el registro de Estados Unidos.

*Cluster 3 - Estados Grandes/Poblados (5 entidades, color rojo):* Situación crítica con alta mortalidad absoluta (1,880.8 casos promedio), mayor proporción sin derechohabiencia (42.1%) y tasa anual elevada (89.6 casos/año). Se ubica en la zona superior derecha del scatter plot, indicando el mayor riesgo. El heatmap de características muestra valores máximos en todas las variables de riesgo. Comprende: Chiapas, Ciudad de México, Estado de México, Puebla y Veracruz.

Análisis de series temporales por cluster

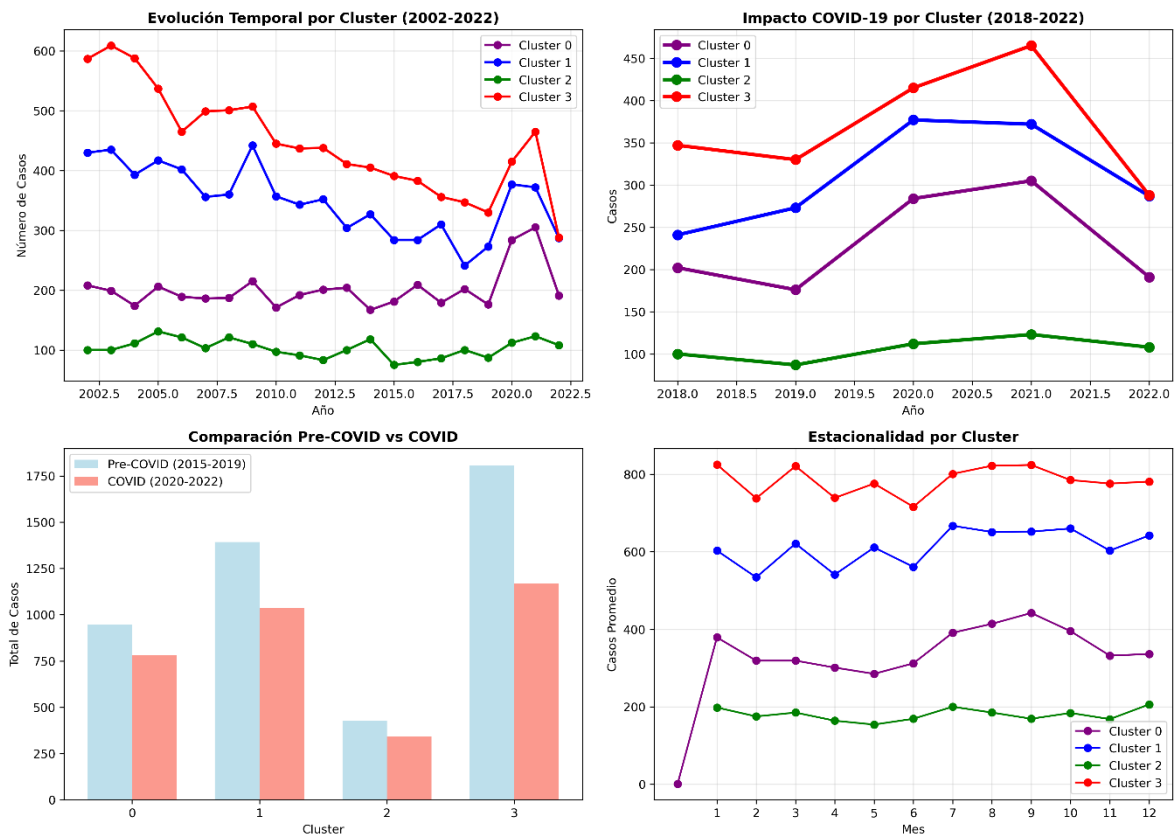


Figura 4

La **Figura 4. Evolución Temporal y Análisis por Clusters** reveló patrones diferenciados en la evolución temporal:

*Evolución general (2002-2022):* El Cluster 3 (rojo) mostró la mayor volatilidad histórica, iniciando con más de 600 casos anuales en 2003, descendiendo gradualmente hasta 330 casos en 2019, y experimentando un repunte dramático a 460 casos en 2021. El Cluster 1 (azul) presentó una trayectoria más estable, con reducciones consistentes de 430 a 240 casos entre 2002-2018.

*Impacto COVID-19 (2018-2022):* El análisis focalizado en el período pandémico mostró que el Cluster 3 experimentó el mayor incremento absoluto, pasando de 330 casos en 2019 a 460 en 2021 (+39%). El Cluster 0 (morado) demostró mayor resiliencia, con incrementos moderados de 200 a 300 casos.

*Comparación pre-COVID vs COVID:* El gráfico de barras confirmó que el Cluster 3 sufrió el mayor impacto relativo, mientras que el Cluster 2 (verde) mostró la mayor estabilidad con cambios mínimos entre períodos.

*Análisis estacional:* El patrón mensual reveló que el Cluster 3 presenta mayor variabilidad estacional (750-820 casos por mes), con picos en enero y julio-agosto. El

Cluster 2 mostró el comportamiento más estable a lo largo del año (160-200 casos por mes).

## Discusión

### Implicaciones de los hallazgos

Los resultados revelan un panorama complejo de la mortalidad materna en México, caracterizado por avances significativos (reducción 32.8% en 2002-2019) interrumpidos por la crisis COVID-19 y marcadas desigualdades territoriales que reflejan "dos Méxicos" en términos de salud materna.

### **Desigualdades geográficas sistemáticas**

La identificación de cuatro clusters epidemiológicos confirma patrones de inequidad estructural. El Cluster 0 (Norte/Noreste) presenta indicadores comparables a países desarrollados, mientras que el Cluster 3 (Estados grandes/poblados) exhibe características similares a regiones de menor desarrollo. Esta polarización refleja desigualdades socioeconómicas más amplias: los estados del norte, beneficiados por industrialización y proximidad fronteriza, han desarrollado sistemas de salud más robustos, mientras que los estados del sur enfrentan barreras sistémicas históricas.

### **Crisis COVID-19 como amplificador de vulnerabilidades**

El incremento del 39.7% durante 2020-2021 no solo interrumpió el progreso histórico, sino que amplificó desigualdades preexistentes. El impacto diferencial por clusters (Cluster 3: +35% vs. Cluster 2: +15%) demuestra que las crisis sanitarias afectan desproporcionalmente a los sistemas más vulnerables, consistente con la literatura internacional sobre inequidades en emergencias sanitarias.

### **Determinantes sociales críticos**

El hallazgo de 35.5% de mujeres sin derechohabencia, con variaciones del 24.4% al 42.1% entre clusters, evidencia limitaciones en la cobertura universal de salud. La correlación entre menor escolaridad (38.4% con educación primaria), limitado acceso a servicios y mayor mortalidad materna confirma la importancia de abordar los determinantes sociales de la salud.

### Dificultades encontradas

**Limitaciones de datos:** Aunque se conservó el 99.4% de registros, se identificaron inconsistencias en codificación y heterogeneidad en sistemas de registro estatales que pueden introducir sesgos comparativos.

**Limitaciones metodológicas:** El algoritmo K-means asume clusters esféricos, que puede no reflejar completamente la complejidad geográfica real. El diseño observacional limita la capacidad de establecer relaciones causales definitivas.

**Factores no observados:** El análisis se limitó a variables disponibles en registros oficiales, excluyendo factores potencialmente relevantes como distancia a servicios, calidad de atención y factores socioeconómicos individuales.

**Impacto pandémico:** El período COVID-19 representa una perturbación externa que alteró temporalmente patrones históricos, requiriendo interpretación cautelosa de estos resultados.

## Conclusiones

### Principales hallazgos

Este estudio proporciona evidencia robusta sobre los patrones espacio-temporales de la mortalidad materna en México, revelando hallazgos significativos que orientan el diseño de políticas públicas basadas en evidencia.

**Progreso histórico documentado:** El análisis de 23,133 defunciones maternas confirma una reducción sostenida del 32.8% entre 2002-2019, demostrando avances tangibles que sitúan a México en línea con los compromisos internacionales de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

**Segmentación epidemiológica territorial:** La identificación de cuatro clusters geográficos distintos representa una contribución metodológica importante. Los estados del Norte/Noreste (Cluster 0) exhiben indicadores comparables a países desarrollados, mientras que los estados grandes/poblados (Cluster 3) enfrentan desafíos similares a regiones en desarrollo, revelando patrones epidemiológicos que trascienden las divisiones administrativas tradicionales.

**Impacto diferencial de COVID-19:** La pandemia interrumpió el progreso histórico (+39.7%) y amplificó desigualdades preexistentes, con impacto variable entre clusters (+15% a +35%), evidenciando que las crisis sanitarias afectan desproporcionalmente a los sistemas más vulnerables.

**Determinantes sociales críticos:** El 35.5% de defunciones en mujeres sin derechohabiencia, con variaciones del 24.4% al 42.1% entre clusters, confirma que el acceso universal a servicios de salud sigue siendo un desafío pendiente, correlacionado con menor escolaridad y mayor mortalidad materna.

### **Cumplimiento de objetivos**

El estudio cumplió exitosamente todos los objetivos planteados: caracterización geográfica mediante atlas cartográfico y clustering, evaluación de tendencias temporales incluyendo impacto COVID-19, identificación de cuatro perfiles epidemiológicos validados estadísticamente, análisis de factores asociados, y generación de recomendaciones territorialmente diferenciadas.

### Relevancia del trabajo

**Impacto en política pública:** Los resultados proporcionan evidencia específica para intervenciones territorialmente diferenciadas, permitiendo focalizar recursos según características de cada cluster y optimizar efectividad de políticas públicas.

**Relevancia internacional:** Los hallazgos contribuyen al conocimiento global sobre desigualdades en salud materna, particularmente relevante para países de ingreso medio con disparidades regionales. La metodología es aplicable en contextos latinoamericanos similares.

## Trabajo futuro

**Modelado predictivo avanzado:** Desarrollar modelos de machine learning (Random Forest, Redes Neuronales) que incorporen variables económicas, climáticas y de política pública para generar sistemas de alerta temprana y optimizar la asignación preventiva de recursos.

**Análisis de clustering dinámico:** Implementar técnicas de clustering temporal para capturar la evolución de los perfiles epidemiológicos, identificando factores que impulsan cambios en los patrones de riesgo entre estados.

**Determinantes socioeconómicos:** Incorporar datos del INEGI sobre pobreza, marginación, índice de desarrollo humano y acceso a servicios básicos para construir modelos multivariados más comprehensivos que expliquen las variaciones observadas en mortalidad materna.



**Sistema de alerta temprana:** Diseñar algoritmos que detecten incrementos anómalos en mortalidad materna y generen alertas automáticas para autoridades sanitarias.

**Análisis subnacional:** Extender el estudio al nivel municipal para identificar hotspots locales que permitan intervenciones más precisas y focalizadas.

**Integración con sistemas de vigilancia:** Incorporar los hallazgos en sistemas nacionales de vigilancia epidemiológica para mejorar la capacidad de monitoreo y respuesta rápida.

**Análisis de poblaciones específicas:** Desarrollar estudios focalizados en poblaciones indígenas, rurales y urbano-marginales para comprender las barreras específicas que enfrentan estos grupos y diseñar intervenciones culturalmente apropiadas.

**Aplicación móvil para personal de salud:** Desarrollar una aplicación que proporcione al personal de salud de primer nivel información sobre factores de riesgo locales, protocolos de referencia y contactos de emergencia basados en los perfiles epidemiológicos identificados.

## Referencias

1. Dirección General de Información en Salud. (2023). *Base de datos de muerte materna*. Secretaría de Salud, México. Recuperado de [http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/da\\_muertematerna\\_gob\\_mx.html](http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/da_muertematerna_gob_mx.html)
2. James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2021). *An introduction to statistical learning: With applications in R* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1418-1>
3. Organización Mundial de la Salud. (2019). *Trends in maternal mortality 2000 to 2017: Estimates by WHO, UNICEF, UNFPA, World Bank Group and the United Nations Population Division*. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/327595>
4. Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... & Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825-2830. <https://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html>