

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

≡ Análisis espacial de enfermedades relacionadas con la mala calidad del aire en el centro de México 1998-2022

ID **Jesús Guerrero Morales**

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México, guerrero_m_jesus@outlook.com; ORCID: 0000-0001-5444-0632

ID **Juan Campos Alanís**

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México, jcamposa@uaemex.mx; ORCID: 0000-0002-5391-2447

ID **Raquel Hinojosa Reyes**

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México, rhinojosar@uaemex.mx; ORCID: 0000-0002-6511-0759

ID **Edel Cadena Vargas**

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México, ecadenav@uaemex.mx; ORCID: 0000-0002-3131-9597

ID **Brisa Violeta Carrasco Gallegos**

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México, bvcarrascog@uaemex.mx; ORCID: 0000-0003-4676-6215

Doi: 10.36677/qret.v27i2.26076

Resumen: Se presenta un estudio ecológico retrospectivo para analizar la mortalidad general, por cáncer, enfermedades cardiovasculares y respiratorias en relación con indicadores espaciales de mala calidad del aire (MCA). El análisis se centra en la Ciudad de México y sus entidades colindantes: Hidalgo, Estado de México, entre 1998 y 2022, utilizando productos satelitales. Las tasas de mortalidad de los cuatro grupos de enfermedades exhiben un alto coeficiente de determinación ($R^2 > 0.75$). Para explorarlo, se modeló el primer componente principal espacial (92%) de estas. A partir de este análisis, se identificaron zonas con altas tasas de mortalidad y, simultáneamente, MCA ($R^2 = 0.5-0.71$) en seis municipios al norte de la CDMX, ($PM_{2.5} > 20 \mu g/m^3$, superficie urbana y carreteras $> 70\%$ del municipio). En contraste, en las colindancias de las zonas norte, noroeste y sur, donde los indicadores atmosféricos son muy bajos pero las tasas de mortalidad superan la media nacional, se identificó una notable actividad minera. Se concluye que las tasas de mortalidad en el norte de la CDMX responden claramente a la MCA. Sin embargo, en Hidalgo y el Estado de México, la actividad minera se asocia con un número comparable de muertes, incluso en áreas con baja presencia de industrias y poca superficie urbana.

Palabras clave: partículas ultrafinas, tasas de mortalidad, mala calidad del aire, industrias, urbanización.

Recepción: 24 de marzo, 2025

Aceptación: 13 de mayo, 2025



RESEARCH SCIENTIFIC ARTICLES

Spatial analysis of diseases related to air quality in central Mexico 1998-2022

 **Jesús Guerrero Morales**

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México, guerrero_m_jesus@outlook.com; ORCID: 0000-0001-5444-0632

 **Juan Campos Alanís**

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México, jcamposa@uaemex.mx; ORCID: 0000-0002-5391-2447

 **Raquel Hinojosa Reyes**

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México, rhinojosar@uaemex.mx; ORCID: 0000-0002-6511-0759

 **Edel Cadena Vargas**

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México, ecadenav@uaemex.mx; ORCID: 0000-0002-3131-9597

 **Brisa Violeta Carrasco Gallegos**

Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México, bvcarrascog@uaemex.mx; ORCID: 0000-0003-4676-6215

Doi: 10.36677/qret.v27i2.26076

Abstract: This paper presents a retrospective ecological analysis of general mortality, cancer, cardiovascular, and respiratory diseases about spatial indicators of poor air quality (PAQ). The analysis examines Mexico City (CDMX) and its neighboring states—Hidalgo and Estado de México—between 1998 and 2022, using satellite data. The mortality rates for the four disease groups exhibit a high coefficient of determination ($R^2 > 0.75$). To explore this, the first spatial principal component (92%), of these rates was modelled. Based on this analysis, six municipalities north of Mexico City (CDMX) have been identified as having high mortality rates along with concurrent Physical Activity Quality (PAQ) scores ($R^2 = 0.5-0.71$). In these areas, PM_{2.5} concentrations exceed $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and more than 70% of the municipal land consists of urban surfaces or roads. In contrast, in the bordering areas to the north, northwest, and south, where atmospheric indicators are very low, but mortality rates exceed the national average, significant mining activity was identified. It's concluded that mortality rates in northern CDMX respond to PAQ. However, in Hidalgo and Estado de México, mining activity is associated with a comparable number of deaths, even in areas with a low presence of industries and limited urban surface.

Keywords: ultrafine particles, mortality rates, poor air quality, industries, urbanization.

Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera la mala calidad del aire (MCA) como la mayor amenaza ambiental para la salud, reportando 7 millones de muertes por año, que equivalen a una de cada ocho muertes en el mundo y un costo a la economía de 225 mil millones de dólares en ese mismo lapso (Martínez-Muñoz *et al.*, 2020; Pérez y Jarosinska, 2022; World Health Organization [WHO], 2023).

En las grandes ciudades es donde la MCA es mayor, Breilh (2021) identifica dentro de la geografía crítica al urbanismo salvaje, donde las concentraciones de contaminantes particulados en el aire doblan el límite sugerido por la OMS. Al duplicarse se asocian a un aumento del 8% en la mortalidad por cáncer de pulmón, incluso descartando tabaquismo y el riesgo ocupacional (Martínez-Muñoz *et al.*, 2020).

Si bien, la probable vía de contacto con los contaminantes en el aire es ocular o cutánea, la forma en que ingresa al torrente sanguíneo es por vía respiratoria durante el proceso alveolar pulmonar, posibilitando afectaciones a distintos órganos y sistemas en el cuerpo. Sin embargo, de todas las muertes atribuidas a la MCA, una tercera parte pertenece a enfermedades cardiovasculares, seguida de respiratorias y cáncer (Pérez y Jarosinska, 2022).

La Ciudad de México (CDMX), siendo en su zona metropolitana la más grande del continente americano, es el área de mayor consumo del país, presentando las características de un urbanismo salvaje aunado a zonas industriales en el norte de la ciudad. De igual manera, las entidades federativas colindantes, Estado de México (Edomex) e Hidalgo, tienen una relación de jerarquía funcional por ser proveedoras de mercancías, fuerza de trabajo y reservorio de contaminantes en agua y residuos sólidos urbanos, donde los pobladores también son afectados. Las tres entidades tienen un proceso de integración funcional y físico-espacial, además de su continuidad geográfica (Sánchez, 2023; Navarrete-Chávez *et al.*, 2023).

Se han realizado investigaciones geográficas de al menos once años de entornos contaminados que se relacionan con mortalidad general y cáncer de mama en México, incluyendo la calidad del aire (Castrezana Campos, 2017; Martínez-Muñoz *et al.*, 2020); también, se han realizado estudios de mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias vinculadas a la MCA en la

CDMX (Mamkhezri, 2020), para los casos antes mencionados, obteniendo datos deficientes de estaciones de monitoreo por la pérdida de estos y por su limitada cobertura espacial.

Es necesario continuar con estudios ecológicos retrospectivos, así denominado por la epidemiología espacial, que al menos dupliquen el tiempo anteriormente estudiado para disminuir los efectos de factores de confusión, con una robusta batería de indicadores de la calidad del aire que considere manufactura y tránsito vehicular superando las carencias de las estaciones de monitoreo.

Para lograr lo mencionado, el procesamiento de imágenes satelitales y análisis de datos de mortalidad, con sistemas de información geográfica, permiten generar relaciones espaciales cada vez más completas en la epidemiología de poblaciones.

A partir de este planteamiento, surge el cuestionamiento de si es posible identificar relaciones espaciales entre las tasas de mortalidad y los posibles factores de riesgo como son la calidad del aire, proximidad a industrias y a carreteras; así como a producción minera como factor de contraste.

El objetivo del presente artículo es realizar un análisis espacial con tasas de mortalidad a nivel estatal y municipal de los grupos de enfermedades relacionadas con la MCA a largo plazo (25 años) e identificar su relación con indicadores de contaminación atmosféricos, considerando las fuentes fijas, móviles y proximidad a minas como factores de riesgo. La investigación se enmarca en un estudio ecológico retrospectivo dentro de la epidemiología espacial y las ciencias ambientales.

Metodología

El diseño teórico-metodológico se basó en Lawson (2018) que, enfocado en contaminantes, considera cuatro aspectos importantes: fuente; contaminante; ruta de dispersión; vía de contacto y resultado en la salud. Para este estudio se define: minas, industria y automotores; NO_2 , $\text{PM}_{2.5}$, partículas ultrafinas (UFP); dispersión por aire; contacto por inhalación principalmente y tasas de mortalidad. A partir de lo antes mencionado, i) se realiza un contexto por entidad federativa; ii) se calculan tasas de mortalidad por entidad y por municipio; y iii) se evalúa la relación espacial entre los grupos de enfermedades y cada factor de riesgo con el coeficiente de determinación en las tres entidades y por separado, marcando con 1 una relación absoluta, 0 relación nula y -1 como un comportamiento inverso. Finalmente, se propone el primer componente principal de los cuatro grupos de enfermedades debido a la convergencia espacial observada y se interpretan los resultados.

- **Zona de estudio.** Para el análisis se han seleccionado tres entidades federativas del centro del país: CDMX, Edomex e Hidalgo, por la fuerte interrelación funcional de intercambio de fuerza de trabajo, bienes y servicios que existe entre ellas. Mientras la CDMX, al ser el centro administrativo del país, concentra mayoritariamente centros de negocios, servicios y zonas residenciales. El Edomex proporciona agua, materias primas y fuerza de trabajo para la CDMX. Al norte del Edomex se ubica Hidalgo, que funge como el principal reservorio de aguas residuales y de residuos sólidos urbanos en sus dos vertientes disposición final e incineración para la CDMX. Además, Hidalgo cuenta con seis cementeras y una refinería, que suministran insumos para el centro del país. La interrelación que existe entre las tres entidades y los procesos contaminantes que en ellas tienen lugar, les confiere interés para analizar la mortalidad de su población vinculada a esas causas, incluyendo la posibilidad de personas que viven en Edomex o Hidalgo y trabajan en CDMX.
- **Contexto espacial por entidad federativa.** Se identificaron factores de riesgo a nivel estatal para obtener un contexto espacial de salud, partiendo de lo general a lo particular, con el fin de tejer o descartar relaciones espaciales, como es el número de autos en circulación que son los principales emisores de contaminantes a la atmósfera (INEGI, 2025). Se consideró el tabaquismo y la obesidad (CONADIC, 2017; INEGI, 2018) como factores conductuales de riesgo relacionados a enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Factores sociales a través de índices de marginación que consideran acceso a atención hospitalaria y aspectos culturales de cuidado (CONAPO, 2020). Además, para tener un punto de referencia comparativo de lo que sucede en esas tres entidades, se calcularon las tasas de mortalidad de cuatro grupos de enfermedades de las 32 entidades federativas para los últimos 25 años, para posteriormente calcular la Razón de Tasa de Mortalidad (RTM) y poner en evidencia la cantidad que superan las tasas de mortalidad con respecto a la media nacional los municipios de la zona de estudio.
- **Estimación de tasas de mortalidad.** Se obtuvieron las bases de datos de mortalidad de 25 años de la Secretaría de Salud de 1998 a 2022 (Dirección General de Información en Salud [DGIS], 2022). Posteriormente, se filtraron por entidad federativa y municipio de residencia, año de ocurrencia para las 25 bases, se contaron las muertes totales y los tres grupos de enfermedades cardiovasculares (I00-I99), respiratorias (J00-J99) y cáncer (C00-C97). Para obtener la población estimada empleada en el cálculo de las tasas de

mortalidad por año se tomaron los censos y conteos de Población de 1995 a 2020 (INEGI, 2024) y se realizó una interpolación por el método geométrico y se obtuvieron las tasas por la ecuación 1:

Ecuación 1. Tasa de mortalidad

$$Tasa\ de\ mortalidad = \left(\frac{\sum_{1998}^{2020} Causa\ de\ muerte\ en\ el\ periodo}{Total\ de\ población\ en\ el\ periodo} \right) \cdot 1000$$

De igual manera se calculó la RTM que permite observar si las tasas de mortalidad de cada municipio sobrepasan la media nacional de cada grupo de enfermedades y en qué proporción.

- **Indicadores de la MCA como factores de riesgo.** Se tomaron los indicadores con mayor relación respecto a la MCA: el tráfico, el uso de suelo e industria. Los estudios de monitoreo más frecuente son NO_x y las PM 2.5, 10 y partículas ultrafinas (UFP) (Eeftens et al., 2016). Georgiades *et al.* (2024) recomiendan el uso de imágenes georreferenciadas, en ese sentido, se utilizaron datos de alta resolución, con validación a partir de la superficie terrestre y escala temporal con más de 15 años para evaluar a largo plazo de la MCA.
 - i. El dióxido de nitrógeno NO₂ se utiliza para monitorear la mala calidad por su relación con emisiones con motores a combustión y por ser precursor de O₃. En altas concentraciones se relaciona con mortalidad general, enfermedades respiratorias y cáncer. Se utilizaron los productos ráster de Cooper, *et al.* (2022) de NO₂ de 2005 a 2019, obtenidas del instrumento satelital TRPOPOMI con el modelo de transporte químico GEOS-Chem.
 - ii. Las partículas de diámetro aerodinámico de 2.5 micras (PM 2.5) contienen material suspendido procedente de la combustión y de la extracción en minas y partículas emitidas por la industria. Las imágenes ráster fueron obtenidas del trabajo de Van Donkelaar, *et al.* (2021) quienes también utilizaron GEOS-Chem, de la combinación de productos satelitales de MODIS, MISR y SeaWiFS.
 - iii. Las partículas ultrafinas (UFP) han cobrado relevancia por la posibilidad de penetrar con más facilidad; a diferencia de las PM 2.5-10 que se alojan en los pulmones, y pasando al torrente sanguíneo, generando inflamación y estrés oxidativo debido a que su diámetro es menor a

- los 10 nm. Las UFP se relacionan con emisiones por combustión de carbón, petróleo, tráfico vehicular y emisiones industriales. Los datos se obtuvieron de Georgiades *et al.* (2024) de 2010 a 2019 y a partir de un modelo de aprendizaje automatizado. Estas imágenes fueron seleccionadas debido a los contaminantes no previstos en los dos productos antes mencionados.
- iv. Las imágenes se descargaron, traspusieron y se definieron límites máximos y mínimos en latitud y longitud, recortándose a la zona de estudio. Se obtuvieron los promedios y se calcularon los coeficientes de determinación para las tasas de los tres grupos de enfermedades y mortalidad general.
- **Representación espacial de fuentes móviles y edificaciones.** Se calculó fracción de la superficie edificada o urbana de cada municipio (km^2 de área urbano/ km^2 del municipio) basada en imágenes de Sentinel 2 (Esri, 2024). Se obtuvieron los km lineales de las carreteras de cada municipio y se dividió entre la extensión de cada uno (km de carreteras/ km^2 del municipio) (García-Pérez *et al.*, 2015; Eeftens *et al.*, 2016; INEGI, 2022).
 - **Representación espacial de fuentes fijas.** Son aquellas que se distinguen por la transformación de las materias primas y requieren energía para obtener productos terminados. Se consideraron industrias de manufactura con dos variables: número total y aquellas con más de 50 trabajadores. Se obtuvo la densidad de industrias ($\#$ de industrias/ km^2 del municipio) para diferenciar fuentes fijas y móviles (INEGI, s. f.).
 - **Proximidad a actividades mineras.** Las actividades mineras incluyendo zonas de residuos mineros (jales) representan un riesgo a la mortalidad general y cáncer, esto considerando proximidad y riesgo ocupacional (Ghosh y Cebula, 2021), por tal motivo fue necesario considerar esta actividad para identificar convergencias y divergencias con la MCA. Se contemplan las concesiones mineras y depósitos de residuos mineros (SENER, 2015; IDEA, 2024). A partir de estos productos se creó un ráster de proximidad.
 - **Cartografía.** Toda la cartografía mostrada se agrupó por el método de *Jenks natural breaks*, para maximizar las diferencias entre clases debido a que algunas variables no tienen las mismas unidades ni escalas.

Resultados

Contexto espacial entidades federativas

La media nacional de obesidad es 15.44%, superando el promedio de las tres entidades estudiadas (10.30%, Hidalgo; 12.30%, CDMX; 12.40%, Edomex) ($P < 0.05$). Este factor está relacionado con enfermedades cardiovasculares, independientemente de la situación económica, por su vínculo con la presión arterial y el colesterol. Según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (INEGI, 2018), el consumo de tabaco en personas de 20 años o más es de 11.38% a nivel nacional (CDMX y Edomex ligeramente por encima del promedio, mientras que Hidalgo está por debajo).

El índice de marginación muestra que la CDMX y el Edomex están encima de la media; Hidalgo, debajo. En cuanto a vehículos en circulación, el Edomex tiene el 17.1% a nivel nacional, muy por encima de CDMX y Hidalgo (INEGI, 2025). Se concluye que la obesidad, el tabaquismo y la marginación no son significativos entre las entidades, siendo el problema principal la cantidad de autos en CDMX y Edomex.

Tasas de mortalidad

Al obtener la *tasa de mortalidad general* por entidad federativa (1998-2022), el promedio de este intervalo es de 5.25 fallecimientos por cada mil habitantes a nivel nacional. Ese valor se encuentra sobrepasado en la CDMX que tiene una tasa de 6.54 y está en el grupo de estados con mayor mortalidad a nivel nacional y con tendencia al alza. En el caso del Edomex e Hidalgo sus tasas son de 4.88 y 5.03, respectivamente. Para el primero, si bien, sus valores de tasa son menores al promedio, con relación a todo el país, su tendencia va al alza. Respecto a Hidalgo, sus valores de tasa de mortalidad general rondan el promedio y su tendencia no son altas en comparación con el resto del país.

En referencia a las *enfermedades cardiovasculares*, la causa que más se relaciona con la MCA, la tasa nacional es de 1.26. La CDMX es de las dos entidades con el promedio de tasa más alto y con tendencia a aumentar, con una tasa de 1.75 (posiblemente relacionado con automotores). Para el caso de Hidalgo (1.04) y Edomex (1.30) tanto el promedio como su tendencia son próximos al promedio.

La *tasa de mortalidad de cáncer* es de 0.62 a nivel nacional. La CDMX aparece con el valor más alto del promedio de las tasas de 1998 a 2022, con 0.83 y la tendencia lineal más alta del todo el país, no importando que cuenta con suficientes condiciones económicas para afrontar enfermedades relacionadas con cáncer. El Edomex con el promedio de tasa de 0.51 y razón de cambio en

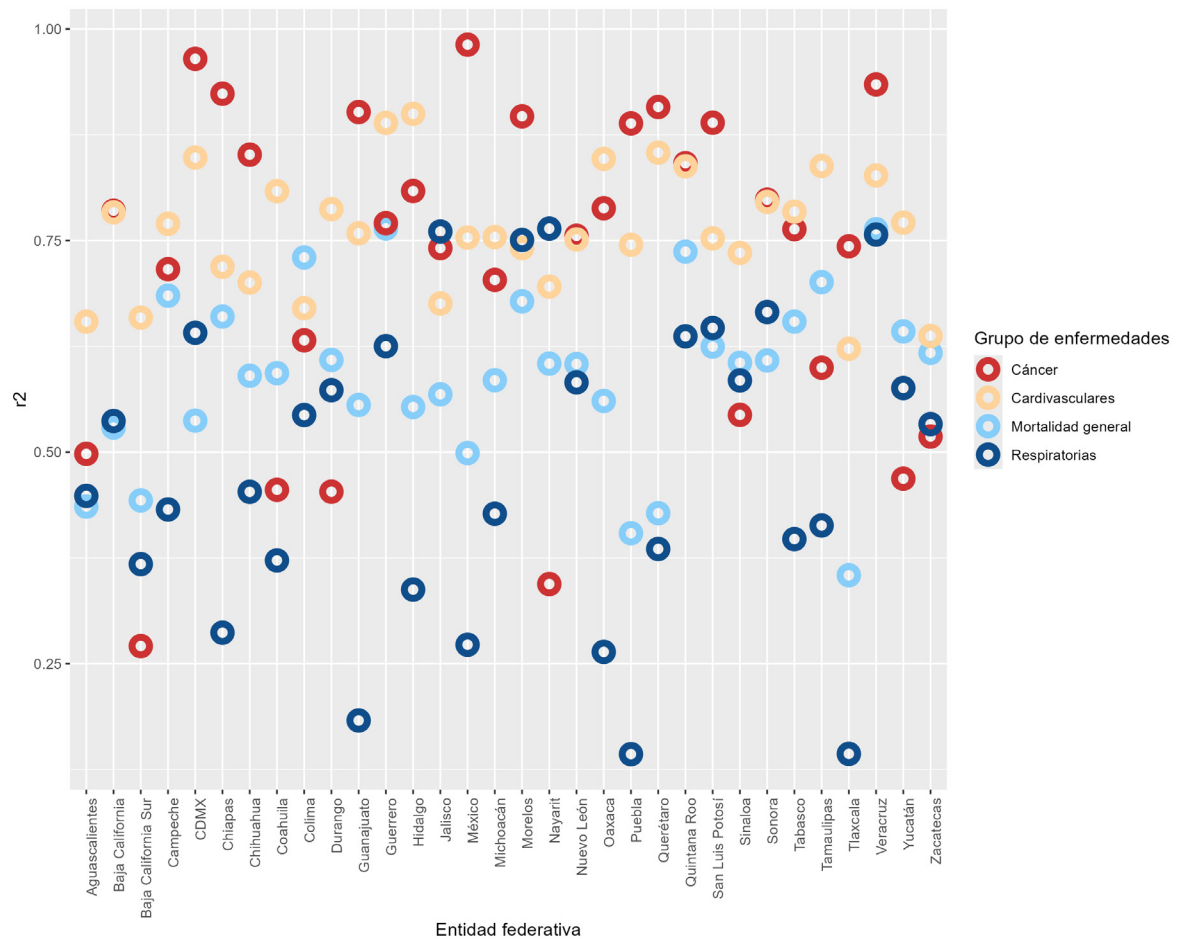
segundo lugar de 0.0098; Hidalgo con 0.58, se encuentran debajo de la media nacional, con tendencia lineal de 0.0076.

Para las *enfermedades respiratorias*, que pueden ser claramente relacionadas con automóviles y tabaquismo, la CDMX se encuentra entre las entidades más afectadas con una tasa de 0.58, muy por encima de la tasa nacional (0.44). Para este grupo de afecciones no son sobresalientes el Edomex (0.44) ni Hidalgo (0.40).

Para las tasas de mortalidad general y los tres grupos, la CDMX es el primero en mortalidad y en tendencia. En el Edomex se tendría que poner mayor atención a enfermedades respiratorias a causa de las altas concentraciones de población y automóviles en circulación. En relación con Hidalgo, para la mortalidad general y los tres grupos de enfermedades rondan el promedio nacional y sus tendencias lineales no son de las diez más altas.

En la figura 1 se observa el coeficiente de determinación de las 32 entidades federativas para todas las enfermedades. Con valores superiores en cáncer e inferiores al grupo de molestias respiratorias, pero la mayoría supera el 0.4, es decir, los grupos de enfermedades aumentan con el tiempo en todo el país, pero el cáncer en general tiene mayor relación con el tiempo.

Figura 1. Coeficiente de determinación para todas las enfermedades por entidad federativa



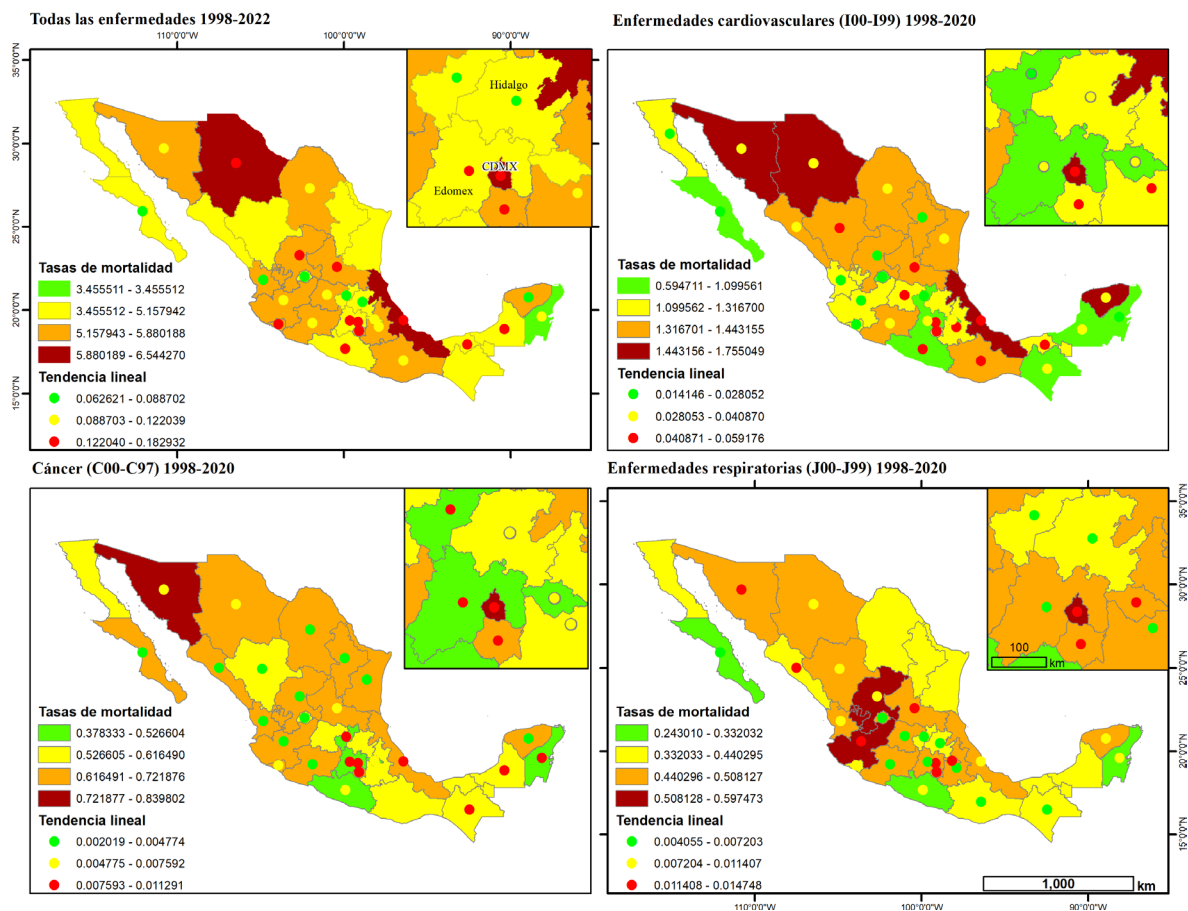
Fuente: Elaboración propia.

A nivel nacional, al observar las causas generales y las enfermedades cardiovasculares, representan una cuarta parte de la mortalidad (5.22 tasas generales y 1.3 de cardiovasculares a nivel estatal), es decir, este grupo de enfermedades es generalizado para todo el país. Además, el valor de tasa de cáncer se va a la mitad comparando con las enfermedades cardiovasculares.

El valor más alto de las tasas generales de mortalidad fue en 2021 en la entidad federativa de Morelos y el más bajo, Quintana Roo en el año 1998. El año con valor de tasa más alto de cáncer fue 2020 en CDMX; el más bajo, 1998 en Quintana Roo. El más alto de cardiovasculares, Veracruz, 2021; el de menor impacto fue 1998 en Quintana Roo. El valor más alto del grupo de enfermedades respiratorias fue en Tlaxcala en el año 2020; el menor, Quintana Roo, 2002.

En las tasas crudas de mortalidad general, enfermedades cardiovasculares y cáncer tienen el mismo comportamiento: la CDMX tiene los valores más altos, Hidalgo está por debajo del promedio y el Edomex está por debajo del primer cuartil. En enfermedades respiratorias CDMX queda en segundo lugar solo después de Jalisco; Hidalgo queda por debajo del primer cuartil y el Edomex dentro del promedio (ver figura 2).

Figura 2. Promedio de tasas de mortalidad y sus tendencias lineales de 1998-2022



Fuente: elaboración propia.

Mortalidad por municipio en las tres entidades de la zona de estudio

En el cuadro 1 se observan el promedio y el rango de las tasas de los grupos de enfermedades antes mencionadas y los posibles factores de riesgo.

Cuadro 1. Factores de riesgo, tasas de mortalidad y tendencias lineales de CDMX, Edomex e Hidalgo en 1998-2022

Factores de riesgo y tasas de mortalidad	CDMX	Edomex	Hidalgo	$\bar{x}$ nacional	Rango
% de obesidad	12.2	12	13.2	15.4468	24.9-6.3
% autos en circulación	11.54	17.07	1.26	3.1250	17.07-067
% Consumo de tabaco	12.30	12.40	10.30	11.3843	15.30-6.30
Índice de marginación	0.85	0.77	0.66	0.7085	0.86-0.40
M. General ($\bar{x}$)	6.5442	4.8830	5.0733	5.2559	6.5442-3.4555
M. General (m)	0.1527	0.1250	0.0884	0.1122	0.1829-0.0626
E. cardiovasculares ($\bar{x}$)	1.7550	1.0465	1.3077	1.2684	1.7550-0.5947
E. cardiovasculares(m)	0.0415	0.0391	0.0396	0.0350	0.5920-0.0141
Cáncer ($\bar{x}$)	0.8398	0.5184	0.5875	0.6255	0.8398-0.3783
Cáncer (m)	0.0112	0.0098	0.0075	0.0061	0.0112-0.0020
E. respiratorias ($\bar{x}$)	0.5894	0.4461	0.4097	0.4460	0.5974-0.2430
E. respiratorias (m)	0.0139	0.0062	0.0040	0.0091	0.0147-0.0040

Nota: m: razón de cambio; $\bar{x}$: promedio.

Fuente: Elaboración propia.

A partir del cuadro 1 es importante mencionar que, en comparación con todo el país, la CDMX se encuentra entre los primeros lugares en tasas de mortalidad al observar el valor más alto en la columna de rangos; lo mismo sucede para sus tendencias al alza. Hasta aquí podría tener una tendencia preliminar con la cantidad de automóviles. Los valores de tasa del Edomex para los cuatro grupos de enfermedad no se aproximan a los extremos y están por debajo del promedio. Un comportamiento similar se observa para Hidalgo, en tasas de mortalidad solo que tiene una aproximación mayor al promedio. De los factores de riesgo es posible decir que, a nivel entidad federativa, no cobran relevancia y esto ayuda a descartar posibles causas a nivel municipal.

En los cuadros 2 y 3, al relacionar el promedio de las tasas nacionales de cada grupo de enfermedad con cada uno de los municipios en cuestión es posible identificar los valores que sobrepasan un comportamiento nacional, que se denomina Razón de Tasa de Mortalidad (RTM). Se observa el tercer cuartil, es decir, el 25 % de los valores más altos por grupo de enfermedad.

Cuadro 2. Tercer cuartil de las tasas de mortalidad general, enfermedades cardiovasculares y su razón de riesgo (tasa municipal de mortalidad del grupo de enfermedad/ tasa nacional mortalidad del grupo de enfermedad)

M. General		RTM	E. Cardiovasculares		RTM
Rango	9.8475-2.9698	NA	Rango	3.3547-0.6300	NA
Atizapán, Edomex	9.8475	1.8736	Eloxochitlán, Hgo.	3.3547	2.6449
Juárez Hidalgo, Hgo.	9.657	1.8373	Juárez Hidalgo, Hgo.	3.2189	2.5378
Eloxochitlán, Hgo.	9.0939	1.7302	Huautla, Hgo.	3.0814	2.4293
Cuauhtémoc, CDMX	8.9627	1.7052	Xochicoatlán, Hgo.	2.9691	2.3408
Pacula, Hgo.	8.6991	1.6551	Pacula, Hgo.	2.8648	2.2586
Venustiano Carranza, CDMX	8.1168	1.5443	Tlahuiltepa, Hgo.	2.7385	2.1590
Benito Juárez, CDMX	7.9572	1.5139	Benito Juárez, CDMX	2.6740	2.1082
Azcapotzalco, CDMX	7.7142	1.4677	Chapantongo, Hgo.	2.6366	2.0787
Xochicuatlán, Hgo.	7.6102	1.4479	Metztitlán, Hgo.	2.4957	1.9676
Alfayucán, Hgo.	7.5769	1.4415	San Agustín, Hgo.	2.4500	1.9316
Miguel Hidalgo, CDMX	7.5694	1.4401	Cuauhtémoc, CDMX	2.4078	1.8983
Metztitlán, Hgo.	7.5004	1.4270	Nopala de Villagrán, Hgo.	2.3171	1.8268
Iztacalco, CDMX	7.4781	1.4228	Miguel Hidalgo, CDMX	2.3050	1.8172

Fuente: Elaboración propia.

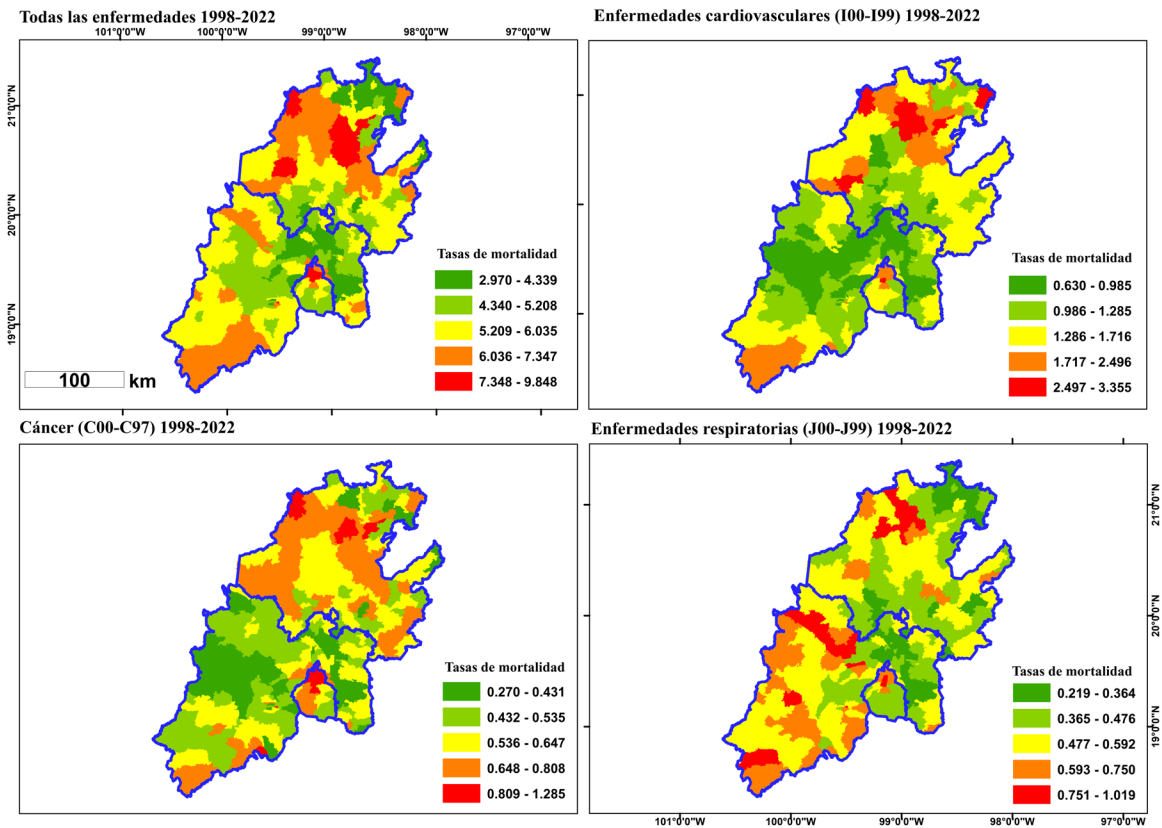
Cuadro 3. Primer cuartil de las tasas de mortalidad de enfermedades respiratorias y cáncer y su razón de riesgo (tasa municipal de mortalidad del grupo de enfermedad/ tasa nacional mortalidad del grupo de enfermedad)

E. Cáncer		RTM	E. Respiratorias		RTM
Rango	1.28-0.2702	NA	Rango	1.0194-0.2185	NA
Benito Juárez, CDMX	1.2853	2.05521	Atizapán, Edomex	1.0194	2.2856
Juárez Hidalgo, Hgo.	1.1014	1.7611	La Misión, Hgo.	0.9734	2.1825
Miguel Hidalgo, CDMX	1.0744	1.7179	Morelos, Edomex	0.9183	2.0589
Cuauhtémoc, CDMX	1.0457	1.6720	Amanalco, Edomex	0.8463	1.8975
Azcapotzalco, CDMX	1.0363	1.6570	Nicolas Flores, Hidalgo	0.8368	1.8762
Venustiano Carranza, CDMX	0.9972	1.5945	Cuauhtémoc, CDMX	0.8364	1.8753
Coyoacán, CDMX	0.9968	1.5939	Benito Juárez, CDMX	0.826	1.8520
Eloxochitlán, Hgo.	0.9896	1.5824	Juárez Hidalgo, Hgo.	0.8103	1.8168
Atizapán, Edomex	0.9770	1.5622	Isidro Fabela, Edomex	0.8008	1.7955
Xochicoatlán, Hgo.	0.9729	1.5557	Acambay, Edomex	0.7965	1.7858
Iztacalco, CDMX	0.9620	1.5382	Amatepec, Edomex	0.7933	1.7786
Gustavo A. Madero, CDMX	0.9216	1.4736	Villa del Carbón, Edomex	0.7822	1.7538
Tonatico, Edomex	0.8909	1.4246	Timilpan, Edomex	0.7732	1.7336

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3 se observa que el grupo de enfermedades cardiovasculares tiene una tercera parte del valor de las tasas de mortalidad general y el grupo de afecciones respiratorias tiene al menos la décima parte del valor de mortalidad general. Además, la distribución de padecimientos a nivel espacial es similar a los cuatro grupos (ver figura 3).

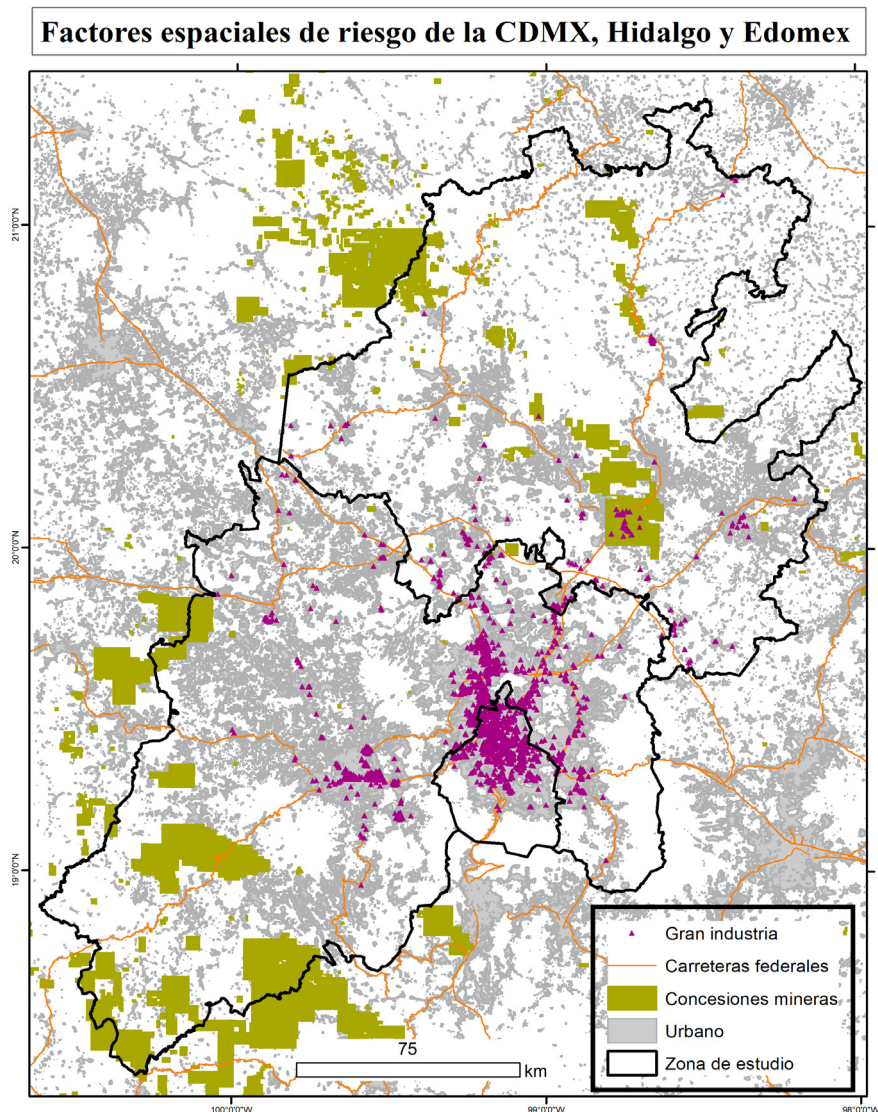
Figura 3. Promedio de las tasas de mortalidad general, enfermedades cardiovasculares, cáncer y enfermedades respiratorias de 1998 hasta 2022



Fuente: Elaboración propia.

Al evaluar la distribución espacial de las enfermedades y los posibles factores de riesgo, mediante el coeficiente de determinación, encontramos que las fuentes fijas, móviles y los productos satelitales de monitoreo del aire tiene una fuerte correlación que va desde 0.71 hasta 0.92 con las partículas ultrafinas (UFP). En la figura 4 se muestra la localización espacial de los factores de riesgo.

Figura 4. Factores espaciales de riesgo de la CDMX, Hidalgo y Edomex



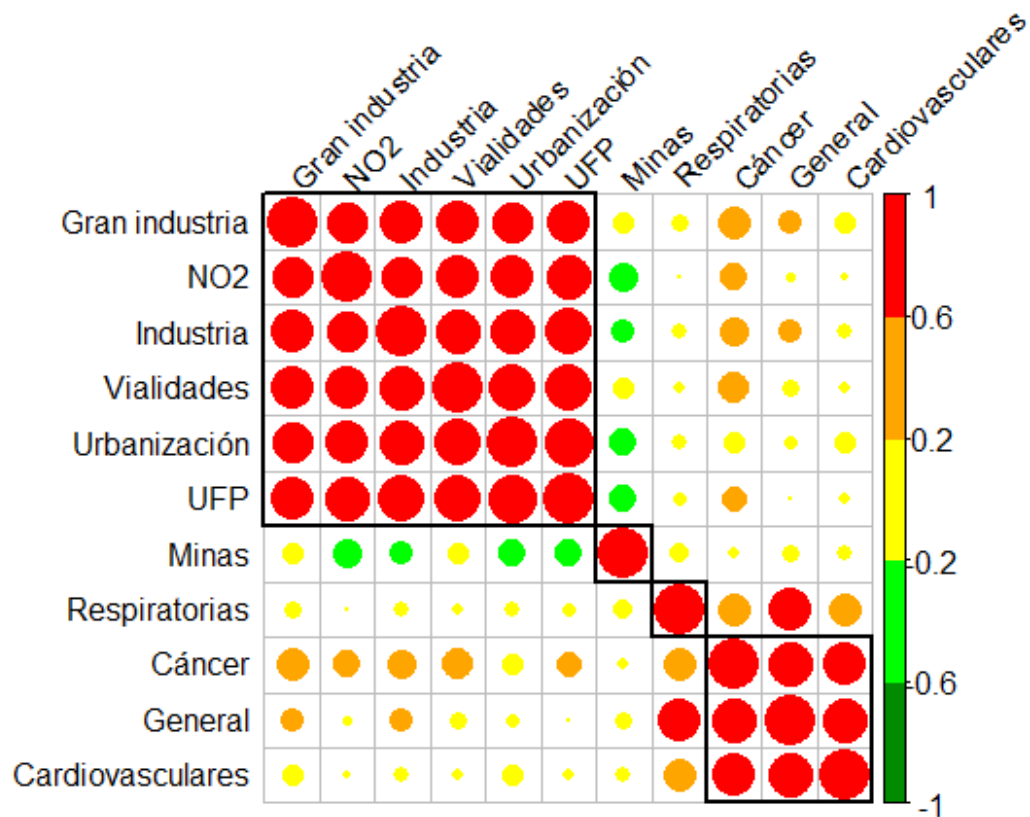
Fuente: Elaboración propia.

La mortalidad general, cáncer y enfermedades cardiovasculares se encuentran correlacionadas fuertemente; van desde el 0.75 hasta el 0.79. Las enfermedades respiratorias tienen una fuerte correlación con la mortalidad general y medianamente fuerte con cáncer y enfermedades cardiovasculares (0.46) (figura 5).

Considerando que la proximidad a actividad minera y riesgo ocupacional posibilita desarrollar cáncer (Jenkins *et al.*, 2013), se evaluó su correlación como factor de riesgo y su divergencia o convergencia con la MCA. Al identificar que las concentraciones de los contaminantes atmosféricos, carreteras y áreas urbanas

en el norte de Hidalgo son incipientes, y a la vez las tasas de mortalidad de los grupos de enfermedades relacionados con la calidad del aire, es posible que se relacione con actividades mineras y zonas de disposición de residuos de estas.

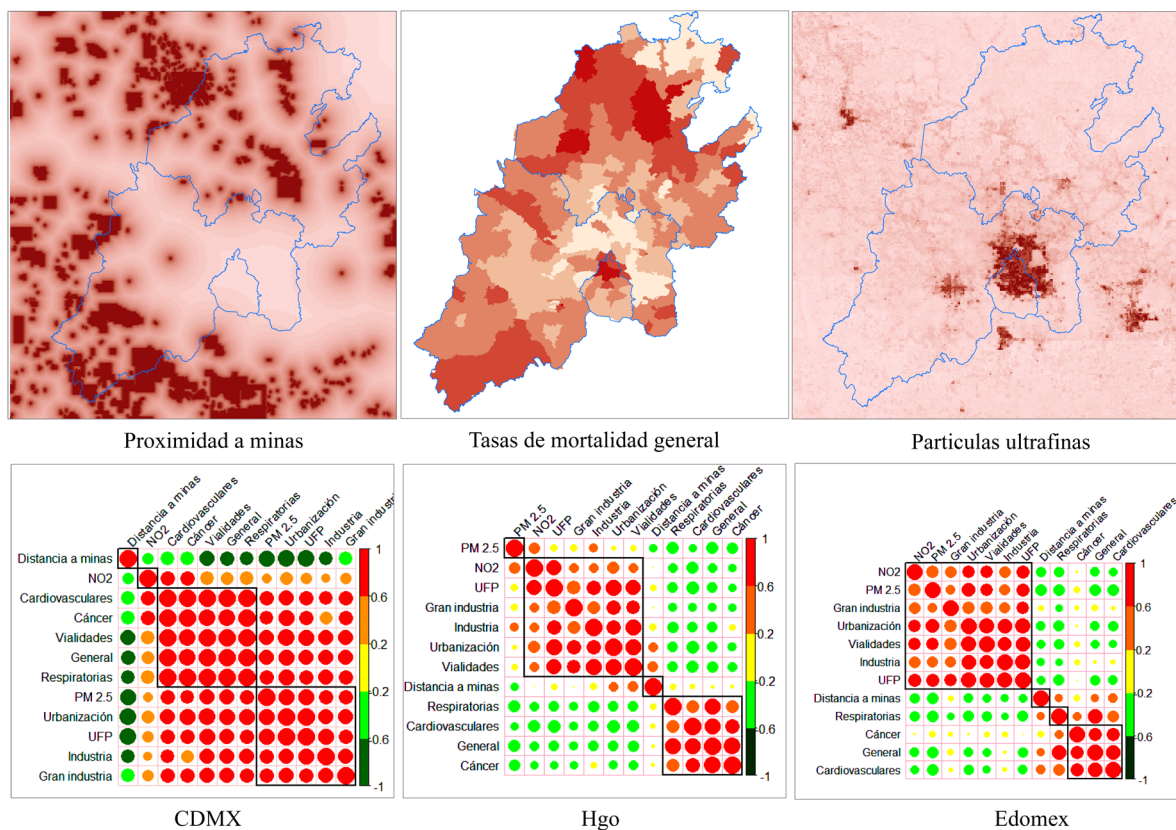
Figura 5. Coeficiente de determinación de grupos de enfermedades y posibles factores de riesgo de Hidalgo, Edomex y CDMX en su conjunto



Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados mostrados en la figura 5 es posible identificar dos factores de riesgo del grupo de enfermedades antes mencionado: i) ambiental, la MCA por fuentes fijas y móviles, que para este trabajo no es posible diferenciar espacialmente las emisiones de industrias y las de automotores, debido a su convergencia; ii) proximidad a minas, para este caso es posible que el riesgo sea tanto laboral como ambiental. En la figura 6 se observa la imagen de distancia a concesiones mineras, el primer componente principal obtenido de los cuatro grupos de causas de mortalidad, partículas ultrafinas y los coeficientes de determinación de CDMX, Hidalgo y Edomex por separado.

Figura 6. Proximidad a concesiones mineras; primer componente principal de mortalidad general, enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer; partículas ultrafinas y los coeficientes de determinación de grupo de enfermedades y factores de riesgo de CDMX, Hidalgo y Edomex



Fuente: Elaboración propia.

Al relacionar espacialmente a los cuatro grupos de enfermedades mediante componentes principales, en la figura 6 se observa el primer componente con el 92 %, las zonas con valores más altos se muestran de manera más clara.

De lo antes observado, se identifican seis zonas: 1) norte de la CDMX en colindancia con Edomex; 2) norte de Hidalgo; 3) noroeste de Hidalgo; 4) noreste de Edomex; 5) sur del Edomex; 6) el municipio de Atizapán, al oeste de Edomex, que tienen las tasas más altas para todos los grupos de enfermedades que se confirma al observar con anterioridad la figura 3. A continuación construimos el contexto general de cada zona.

Zona 1. CDMX: Esta entidad no muestra datos importantes de obesidad, tabaquismo ni carencia material a escala de entidad federativa, pero es el segundo lugar en proporción de vehículos teniendo poco más del 10% de los automó-

viles del país. Las alcaldías de la CDMX con mayores tasas de mortalidad son Cuauhtémoc, Benito Juárez, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza, Azcapotzalco e Iztacalco. Se identifica un factor de afectación por su densidad y superficie urbanas mayor al 74 % de los municipios y mayor a 0.67 (km de carretera/km² de los municipios) de carreteras e instalaciones industriales. Lo anterior causa las altas concentraciones de contaminantes atmosféricos (de entre los 15000-24000 UFP, $\bar{x}$ = 5610, SD = 5428). Estos municipios superan la media nacional que va desde el 0.4-2.6 para la razón de riesgo, con las mayores tasas de mortalidad para enfermedades cardiovasculares. Es importante resaltar que al calcular las tasas de mortalidad y sus tendencias a nivel entidad de la CDMX se encuentra en los primeros lugares y sus tendencias desde 1998 hasta 2022 son de las más altas.

Al evaluar los grupos de enfermedades con los posibles factores de riesgo, concentración de contaminantes en el aire, urbanización e industria, en la figura 5 se observa para la CDMX una fuerte correlación ($R^2=0.51-0.71$), dilucidando que las posibles causas de mortalidad general y los grupos de enfermedades antes mencionados se deben a la MCA de fuentes fijas y móviles y se focalizan en el norte de la CDMX.

Zonas 2 y 3. Hidalgo: Esta entidad tiene un registro menor de automóviles en circulación, la proporción de fumadores y obesidad está por debajo del promedio, sin embargo, en carencias materiales está por encima de la media nacional. La concentración de cementeras y caleras (entidad federativa con mayor índice de esas industrias), la existencia de la refinería que provee gasolina para la región centro, y el hecho de que a este lugar llegan el 70 % de las aguas residuales de la CDMX, la convierten en una de las zonas más contaminadas del país. Para las enfermedades relacionadas con la MCA las tasas de mortalidad rondan el promedio y sus tendencias de aumento no son de las más altas a nivel nacional. Sin embargo, los municipios de Alfayucan, Eloxochitlán, Juárez Hidalgo, Metztitlán, Pacula y Xochicuatlán tiene tasas de mortalidad general más altas que van desde los 7.3 a los 9.8.

Estos municipios (sin considerar a Alfayucan que tiene el 40 % de superficie urbana) no tienen industrias de manufactura mayor a 50 trabajadores. La superficie urbana es menor al 20 % del municipio, es decir, son claramente rurales por ende las concentraciones de UFP (menores a los 2300 cm³-1; $\bar{x}$ = 5611, SD=5428) y NO₂ (menor a los 1.3 bbp; $\bar{x}$ =13.1, SD=17.2) son menores al promedio en relación con los 222 municipios analizados. Estos municipios (excluyendo Pacula y Alfayucan) tiene proximidad a 85 concesiones mineras de Ag, Pb, Cu, Fe y Mn principalmente; ocho terrenos para jales o residuos de minería con mayor presencia en Xochicuatlán de la Empresa Autlán, unidad Nonoalco,

que opera desde 1964 para obtener MnO_2 (AUTLAN, 2024). En relación con Pacula se encuentra Mina la Negra donde se obtiene P_2O_5 con una producción de 6,000 ton anuales (Jiménez, 2014).

Zonas 4 y 5. Edomex: A nivel entidad se encuentra por debajo del promedio en porcentaje de obesidad y marginación; en consumo de tabaco, en el promedio. Es la principal entidad con autos en circulación con el 17 % de todo el país. Con relación al grupo de enfermedades a nivel nacional, encontramos tasas de mortalidad por enfermedades respiratorias mayor al promedio, en los demás grupos tiene tendencias altas, pero tasas en el promedio o menores. Los municipios con mayores tasas de mortalidad general y enfermedades respiratorias son: Acambay, Timilpan y Morelos, en la parte noroeste del Edomex. En estos municipios no hay concesiones mineras registradas, Acambay tiene el 90 % de superficie urbana, los dos restantes rondan el promedio de superficie urbana, sin embargo, la calidad del aire de los tres municipios está por debajo del promedio (UFP menores a los $3000\text{ cm}^3\text{-1}$; $\bar{x} = 5611$, $SD = 5428$), por tal motivo no es posible atribuir como riesgo preponderante ni las fuentes fijas, móviles, ni minas, debido a que estos municipios superan la media nacional para todos los grupos de enfermedades. En la parte sur del Edomex (zona v) se encuentran Amatepec, Tlatlaya y Sultepec; tienen proximidad más de 40 concesiones mineras donde destaca Minera Águila Plateada, S.A. DE C.V por su extensión territorial.

Zona 6. Municipio de Atizapán, Edomex: Tiene la tasa más alta en mortalidad del grupo de enfermedades observado en el cuadro 2. Este municipio apenas alcanza el 3 % de superficie urbana, no cuenta con gran industria, es decir, es un municipio rural donde no hay concesiones mineras. Es importante mencionar que en el Edomex se encuentra Atizapán de Zaragoza, con 66 % de superficie urbana, que cuenta con gran industria, duplica las concentraciones de UFP al municipio antes mencionado y se encuentra al norte de la CDMX. Para este caso no es posible identificar un factor de riesgo por actividades antropogénicas importante, pero si la posibilidad de errores de registro por la similitud del nombre.

Discusión

Es importante mencionar que, lo expresado por Pérez y Jarosinska (2022) es convergente con este estudio debido a que una tercera parte de la mortalidad general pertenece a enfermedades cardiovasculares en zonas con MCA. En relación con lo mencionado por la OMS al cáncer de pulmón y las $PM_{2.5}$, para este estudio se encontró un aumento del 8.7 % en la tasa de mortalidad por cáncer

por cada μg de partículas que aumentan. Además, se corrobora que la CDMX duplica las PM 2.5 indicadas por la OMS. Por último, es importante mencionar que el intervalo de tiempo empleado duplica los trabajos consultados, posibilitando reducir los factores de confusión. En términos de espacio, las imágenes satelitales fueron creadas para tal fin eliminando la incertidumbre de ausencia de datos.

Conclusiones

La pertinencia de esta investigación se debe a la tendencia del aumento de progreso industrial en países en vías de desarrollo a diferencia de países industrializados con un comportamiento distinto. Los factores de riesgo a nivel entidad federativa de obesidad, tabaquismo, marginación y automotores en circulación, correlacionados con los grupos de enfermedades relacionados con la calidad del aire, mostraron que a esa escala el único factor que influye son los automóviles en CDMX y Edomex. Esto posibilita generar la hipótesis de su conectividad por medios de transporte de esas dos entidades, debido a su fuerte interacción funcional. A esa misma escala la CDMX se encuentra en los primeros lugares de tasas de mortalidad y sus tendencias expresan que irá al alza.

El análisis de las tasas de mortalidad de los grupos de enfermedades relacionados con la MCA a nivel entidad federativa y municipal, sirvieron para comparar las tasas de mortalidad y estimar la razón de riesgo de los municipios del centro del país.

Los indicadores espaciales de la MCA propuestos tienen una relación convergente, entre ellos productos satelitales de última generación, industria manufacturera, superficie urbana y carreteras, además, con la distribución de las tasas de mortalidad general, enfermedades cardiovasculares respiratorias y cáncer en la CDMX, donde las concesiones mineras son escasas. Para Edomex e Hidalgo la presencia de concesiones mineras es mayor y este factor de riesgo converge con algunos municipios que expresan altas tasas de mortalidad de los cuatro grupos de enfermedad analizados, pero no es posible identificar una relación cuantitativa al respecto. Específicamente, Pacula y Xochicuatlán y sus municipios colindantes muestran una producción minera que, por sus características temporales, de dimensión y por contar con zonas de desechos, dan evidencia junto con la convergencia de altas tasas de mortalidad general y cáncer de ser un posible factor de riesgo. En Edomex la situación es similar con el municipio de Amatepec y sus colindancias al sur de la entidad donde hay presencia minera y los indicadores de la MCA son menores a la media del centro del país.

A partir del presente estudio se demostró con el coeficiente de determinación que, espacialmente no es fácil diferenciar las emisiones de las fuentes fijas y de las móviles, así sea de todas las industrias y las grandes. Por el contrario, es muy clara la diferenciación espacial de fuentes fijas y móviles de la actividad minera.

La presente investigación pretende proporcionar pistas etiológicas sobre los grupos de enfermedades antes mencionados y contribuir a la generación de políticas públicas focalizadas. Por actividad antropogénica diferenciada del sector primario y secundario. En relación con las entidades federativas estudiadas no resulta fácil definir una entidad geográfica con población definida como no expuesta/expuesta para obtener medidas convencionales de epidemiología y este es un reto que irá en aumento, es decir, los factores de confusión se intersecan. Por otra parte, sería importante que se adicionaran reactivos relacionados con entornos contaminados o proximidad a industrias, minas, etcétera, en la ENSA-NUT (INEGI, 2018).

Referencias

- AUTLAN. (2024). *Unidad Nonoalco*. Autlán Magnesio. <https://www.autlan.com.mx/negocios/autlan-manganeso/unidad-nonoalco/>
- Breilh, J. (2021). *Epidemiología crítica y la salud de los pueblos, Ciencia ética y valiente en una civilización malsana*. Universidad Andina Simón Bolívar; Universidad Nacional Autónoma de México. <http://hdl.handle.net/10644/9720>
- Cooper M. J., Martin R. V., Hammer M. S., Levelt PF, Veeffkind P, Lamsal L. N., Krotkov N. A., Brook J. R. y McLinden C. A. (2022). Global fine-scale changes in ambient NO₂ during COVID-19 lockdowns. *Nature*, 601, 380-390. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04229-0>
- Castrezana Campos, M. del R. (2017). Geografía del cáncer de mama en México. *Investigaciones Geográficas*, (93), 2448-7279. <https://doi.org/10.14350/rig.56879>
- Comisión Nacional contra las Adicciones [CONADIC]. (2017). *Encuesta Nacional de Consumo de Drogas, Alcohol y Tabaco 2016-2017*. Gobierno de México. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/base-de-datos-encodat-2016-2017>
- Consejo Nacional de Población [CONAPO]. (2020). *Índices de marginación 2010-2024*. CONAPO. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>
- Dirección General de Información en Salud [DGIS]. (2022). *Defunciones*. Secretaría de Salud. http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/da_defunciones_gobmx.html
- Eeftens, M., Meier, R., Schindler, C., Aguilera, I., Phuleira, H. Ineichen, A. Davey, M., Ducret-Stich, R., Keidel, D. Probst-Hensch, N., Künzli, N. y Tsai, M. (2016). Development of land use regression models for nitrogen dioxide, ultrafine particles, lung deposited surface area, and four other markers of particulate matter pollution in the Swiss Sapaldia regions. *Environ Health* 15(53). <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0137-9>

- Esri. (2024). *Esri Sentinel-2 land cover explore*. E. U. <https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/#mapCenter=147.74397%2C-37.18990%2C11&mode=step&timeExtent=2017%2C2023&year=2023>
- García-Pérez, J., López-Abente, G., Gómez-Barroso, D., Morales-Piga, A., Pardo Romaguera, E., Tamayo, I., Fernández-Navarro, P. y Ramis, R. (2015). Childhood leukemia and residential proximity to industrial and urban sites. *Environmental Research*, 140, 542-553. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.05.014>
- Georgiades, P., Kohl, M., Nicolaou, M. A., Christoudias, T., Pozzer, A., Dovrolis, C. y Lelieveld, J. High-resolution global ultrafine particle concentrations through a machine learning model and Earth observations. *Earth System Science Data*. [preprint], <https://doi.org/10.5194/essd-2024-314>
- Ghosh, S. y Cebula, R. J. (2021). Proximity to coal mines and mortality rates in the Appalachian Region of the United States: a spatial econometric analysis. *Regional Studies*, 8(1), 130-142. <https://doi.org/10.1080/21681376.2021.1906311>
- Infraestructura de Datos Espaciales Abiertos [IDEA]. (2024). *Descarga de datos*. Instituto de Geografía, UNAM. <https://www.gits.igg.unam.mx/idea/descarga>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (s. f.). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. [DENUE]. <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2018). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2018*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ensanut/2018/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2022). *Red Nacional de Caminos [RNC] (2022)*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463770558>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2024). *Principales resultados por localidad (ITER). Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/ficha.html?tit=326108&ag=0&f=csv>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2025). *Vehículos de Motor Registrados en Circulación (VMRC)*. <https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculosmotor/>
- Jenkins, W. D., Christian, W. J., Mueller, G. y Robbins, K. T. (2013). Population Cancer Risks Associated with Coal Mining: A Systematic Review. *PLOS ONE* 8(8): e71312. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071312>

- Jiménez, F. (2014). *Análisis del sistema de explotación de la mina de fosforita “La Negra” ubicada en Pacula, Hgo., y propuesta para la sistematización y control de las operaciones*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México] Repositorio Facultad de Ingeniería. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/5425>
- Lawson, A. B. (2018). *Bayesian Disease Mapping Hierarchical Modeling in Spatial Epidemiology*. Reutledge Taylor & Francis.
- Mamkhezri, J., Bohara, A. K. e Islas, I. C. (2020). Air pollution and daily mortality in the Mexico City Metropolitan Area. *Atmósfera* 33(3), 249-267. <https://doi.org/10.20937/ATM.52557>
- Martínez-Muñoz, A., Hurtado-Díaz, M., Cruz, J. C. y Riojas-Rodríguez, H. (2020). Mortalidad aguda asociada con partículas suspendidas finas y gruesas en habitantes de la Zona Metropolitana de Monterrey. *Salud Pública de México*, 62(5), 468-476. <https://doi.org/10.21149/11184>
- Navarrete Chávez, M. R., Escorza Castillo, H. y Pérez Corona, J. (2023). Estudio sobre la concentración urbana en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, año 2000-2015. En J. E. Isaac Egurrola. (Coord.). *Nuevas territorialidades-economía sectorial y reconfiguración territorial* (pp. 127-142). UNAM; AMECIDER. <https://ru.iiec.unam.mx/6072/>
- Pérez, R. V y Jarosinka, D. (2020). Update of the WHO global air quality guidelines: Systematic reviews – An introduction. *Environment International*, 170, 107556. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107556>
- Sánchez, A. (2023). Dinámica del empleo en las regiones de México. En R. Cordera Campos, A. Sánchez Vargas y E. Provencio. (Coords.). *El mundo del trabajo y el ingreso* (pp. 353-385). UNAM; Instituto de Investigaciones Económicas; Programa Universitario de Estudios del Desarrollo. http://pued.unam.mx/publicaciones/57/El_mundo.pdf
- Secretaría de Energía de México [SENER]. (2015). *Concesiones mineras en el territorio nacional*. Gobierno de México. <https://historico.datos.gob.mx/busca/dataset/cartografia-minera-de-se>
- Shairsingh, K., Ruggeri, G., Krzyzanowski, M., Mudu, P., Malkawi, M., Castillo, J., Soares da Silva, A., Saluja, M., Martínez, K. C., Mothe, J. y Gummy, S. (2023). WHO air quality database: relevance, history and future developments. *Bulletin of the World Health Organization*, 101(12), 800–807. <https://doi.org/10.2471/BLT.23.290188>

- Van Donkelaar, A., Hammer, M. S., Bindle, L., Brauer, M., Brook, J. R., Garay, M. J., Hsu, N., Kalashnikova, O., Hahn, R., Lee, C., Levy, R., Lyapustin, A., Sayer, A. y Randall, M. (2021). Monthly Global Estimates of Fine Particulate Matter and Their Uncertainty. *Environ Sci Technol*, 55(22), 15287-15300. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.1c05309>
- World Health Organization [WHO], (2023). *WHO Ambient Air Quality Database (Update 2023)*. [https://www.who.int/publications/m/item/who-ambient-air-quality-database-\(update-2023\)](https://www.who.int/publications/m/item/who-ambient-air-quality-database-(update-2023))