



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE GEOGRAFÍA

LICENCIATURA EN GEOGRAFÍA

**“Análisis espacial de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica
(EPOC) en las alcaldías de la Ciudad de México para los años
2005 y 2015”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN
GEOGRAFÍA**

PRESENTA

LUIS ÁNGEL GONZÁLEZ MENDOZA

2018-2023

Asesora:

DRA. GIOVANNA SANTANA CASTAÑEDA



Contenido

Introducción.....	1
Antecedentes internacionales	4
Antecedentes en México.....	7
Objetivo General	9
Objetivos específicos	12
Importancia del problema.....	11
Planteamiento del problema.....	9
Capítulo 1. Marco teórico conceptual.....	13
Geografía.....	14
Geografía de la Salud	17
Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	20
Partículas Contaminantes	24
Partículas PM ₁₀	24
Partículas PM _{2.5}	25
Teoría de la exposición	26
Evaluación de la exposición.....	29
Teoría del estrés oxidativo	30
Vientos.....	32
La efectividad de políticas de salud pública 2005 y 2015	33
Capítulo 2. Marco metodológico.....	36
Área de estudio.....	37
Escala de análisis	40
Tipo de Investigación	42



Esquema metodológico y fuentes de información.....	42
Fase 1 Fuentes de Información	42
Fase 2 Importancia de métodos y técnicas empleadas	43
Métodos y procesos	45
Diagrama de dispersión	52
Capítulo 3. Resultados	54
Discusión y recomendaciones	65
Referencias bibliográficas	75



Índice de Figuras

Figura 3. 1 Gráfica de Spearman.....	57
Figura 3. 2 Monitoreo atmosférico de las partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros en la Ciudad de México, 2015.....	59
Figura 3. 3 Datos de morbilidad y mortalidad de la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) en la Ciudad de México en los años 2005 y 2015.....	60
Figura 3. 4 Defunciones por la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) en la Ciudad de México en los años de 2005 y 2015.	63
Figura 3. 5 Mapa de partículas contaminantes PM10 de la Ciudad de México del año 2005.	69
Figura 3. 6 Mapa de partículas contaminantes PM2.5 de la Ciudad de México del año 2005	70
Figura 3. 7 Mapa de partículas contaminantes PM2.5 de la Ciudad de México del año 2015	71
Figura 3. 8 Mapa de partículas contaminantes PM10 de la Ciudad de México del año 2015	72
Figura 3. 9 Mapa de tasa de morbilidad de la Ciudad de México, años 2005 y 2015.....	73
Figura 3. 10 Mapa de tasa de morbilidad de los años 2005 y 2015 en la Ciudad de México	74



Introducción

En México, la población ha vivido diversas problemáticas sociales de salud, por ejemplo, las enfermedades respiratorias que se relacionan con el medio ambiente y que constituyen un importante reto para la salud, ya que diversas dependencias gubernamentales están dedicando esfuerzos para poder minimizar dicha problemática. Se presentan la adopción de estilos de vida que no son favorables y que a su vez ocasionan daños a la misma, y, de la misma manera, se añaden retos que corresponden a las enfermedades transmisibles que impactan en los servicios de salud del país.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) menciona que las enfermedades que afectan el sistema respiratorio son un ejemplo claro de ello, dentro de la diversa información que nos proporciona la OMS (2014), destaca que “las enfermedades respiratorias de tipo crónicas no transmisibles como el asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), alergias e hipertensión pulmonar, entre otras y estos padecimientos tienen como factores de riesgo para desarrollarse, el tabaquismo, la contaminación del aire, alérgenos y exposición a polvos y productos químicos”.

La OMS (2007) plantea que “las enfermedades respiratorias agudas (ERA) transmisibles son afecciones del tracto respiratorio superior o inferior, generalmente de etiología infecciosa, pueden producir un espectro de enfermedades que van desde infecciones asintomáticas o leves hasta enfermedades graves y fatales, dependiendo del patógeno causante, de factores ambientales y del huésped”.

Martínez M. et al. (2020) mencionan que “la EPOC es una enfermedad crónico-degenerativa que se presenta regularmente en adultos mayores de 45 años y representó una de las principales causas de morbilidad y mortalidad”.

Mientras que la Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) expresa que “Clínicamente se caracteriza por enfisema y bronquitis crónica que



conducen al desarrollo de la obstrucción de las vías respiratorias. La limitación crónica del flujo (característica de la EPOC) es producida por una combinación de enfermedad de vías aéreas pequeñas y destrucción de parénquima, que varían de un individuo a otro” (GOLD, 2018).

El Foro de las Sociedades Respiratorias Internacionales (2017) menciona que la EPOC “afecta a más de 200 millones de personas en el mundo, de los cuales 65 millones tienen enfermedad de vía aérea moderada o grave, y que la mayoría de los estudios demuestran que entre el 72% y el 93% de los que la sufren no están diagnosticados”...“el costo directo de la EPOC es del 6% del gasto sanitario total (38.600 millones de euros anuales) en la Unión Europea y representa el 56% del costo total del tratamiento de las enfermedades respiratorias”.

Hernández et al. (2016) mencionan que “con relación al material particulado (PM), la literatura señala una amplia evidencia epidemiológica y experimental entre las concentraciones de material particulado y las tasas de morbilidad y mortalidad. Los efectos en la salud del material particulado dependen del tamaño de partícula y su concentración, además, varían según las fluctuaciones diarias de $PM_{2.5}$ y PM_{10} . Los efectos en salud incluyen el incremento en la mortalidad diaria, el aumento en las tasas de hospitalización por exacerbación de enfermedades respiratorias, fluctuaciones en la prevalencia de uso del broncodilatador, tos y reducción de la función pulmonar (por ejemplo, reducción del flujo pico)”.

Esta investigación es relevante porque se analiza la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, con la finalidad de identificar patrones en la distribución de estas enfermedades y su relación con la distribución de las partículas contaminantes atmosféricas de tamaño menor a $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las alcaldías de la Ciudad de México.

Por lo tanto, el propósito de esta investigación es realizar un análisis comparativo entre el año 2005 y 2015 de la distribución espacial de la EPOC y, por otro lado,



identificar relaciones espaciales entre esta enfermedad y los contaminantes $PM_{2.5}$ y PM_{10} .

Las técnicas que se emplean para lograr los objetivos se encuentran enmarcados en el análisis geográfico cuantitativo, con el apoyo de técnicas de análisis multivariado para analizar la relación entre la EPOC, como variable dependiente y los contaminantes $PM_{2.5}$ y PM_{10} como variables independientes, acompañadas de un análisis bivariado para analizar el cambio en la distribución de la enfermedad para 2005 y 2015. Estas técnicas apoyaron la descripción de la magnitud, extensión e intensidad de los hechos geográficos que se analizaron, así como el análisis de su representación cartográfica.



Antecedentes internacionales

En este apartado se citan autores nacionales y latinoamericanos que han desarrollado investigaciones sociales relacionadas con el medio geográfico para la salud, en específico aquellas enfermedades de tipo respiratorio.

Moreno (2013) desarrolló una investigación que se titula “Población y polución atmosférica interurbana por dióxido de nitrógeno en Madrid: análisis desde la justicia ambiental basado en Sistemas de Información Geográfica”. Esta investigación desarrolla una relación entre los sistemas de información geográfica y técnicas estadísticas para la representación espacio temporal del dióxido de nitrógeno en España, en este estudio se mide qué grupos sociodemográficos sufren una exposición potencial a la polución atmosférica en la ciudad de Madrid mediante los SIG, de esta manera se determinan las amenazas e inquietudes ambientales que han dado origen a este problema de salud (Moreno, 2013).

Moreno (2013) señala que en “Madrid los patrones espaciales de todos los grupos sociodemográficos analíticamente considerados, dan lugar a diferencias significativas respecto a la población total en cuanto a su exposición al ambiente por el contaminante del dióxido de nitrógeno”. La importancia de esta investigación radica en la consideración de las variables de demografía, contaminación urbana, medio ambiente y población y la relación entre las unas con otras para llevar a cabo la situación actual en la ciudad de Madrid, y, de esta manera implementar diversas tomas de decisiones para contrarrestar el problema de la contaminación.

De Pietri y otros autores (2012) publicaron un artículo titulado “Territorio, salud ambiental y desigualdades en sitios contaminados. Estratificación epidemiológica y expresiones territoriales de los riesgos”, en donde mencionan que en “la aplicación de modelos geográficos para la evaluación de la salud de comunidades expuestas a contaminantes químicos” (De Pietri et al., 2012), es importante valorar el riesgo de la salud de los pobladores de este lugar ya que los niveles de mortalidad,



morbilidad, así como los factores ambientales están siendo muy recurrentes en los últimos años.

De Pietri et al. (2012) destacan que “la metodología que utilizó facilita dimensionar espacial los eventos a través de un proceso de agregación y desagregación de áreas a evaluar mediante las variables mencionadas para los territorios, así como también zonificar el territorio con relación a la estratificación epidemiológica de riesgo el cual sirve para una descripción situacional para la toma de decisiones y origen a estrategias de intervención sanitaria”.

De Pietri et al. (2011) abordan la “Evaluación multicriterio de la exposición al riesgo ambiental mediante un sistema de información geográfica en Argentina”. Señalan que “a partir de un modelo espacial que integra los factores ambientales que constituyen una amenaza para la salud en Argentina en especial en la Cuenca del río Matanza Riachuelo” (De Pietri et al., 2011), considerando variables ambientales, el método de evaluación multicriterio, habitabilidad de viviendas y fuentes de contaminación. Esta investigación contiene una metodología que mide el grado de aptitud del territorio mediante la evaluación multicriterio, ya que este método facilita el establecimiento de grados, adecuación y ponderación diferencial de criterios de las enfermedades respiratorias.

Con esta metodología, se llega a determinar y analizar la problemática del lugar, la cual extrae un diagnóstico para la toma de decisiones, que dentro de la cuenca se permitió establecer el único protocolo para medir la magnitud del riesgo de forma integral de los pobladores, así como también establecer sus prioridades de estos.

Por otro lado, Gaviria et al. (2011) en su investigación “Contaminación por material particulado por enfermedades respiratorias en Medellín Colombia”, presentó la evidencia estadística de la relación entre la contaminación por material particulado de 2.5 a 10 micrómetros, y las consultas médicas, debido a las enfermedades respiratorias como asma, bronquitis, infecciones y rinitis, de las cuales se emplearon modelos sobre el registro diario de las partículas de contaminación y se estimaron



variables estadísticas para determinar el número de morbilidad de las mismas como principal resultado. Dichos autores confirman la existencia de una correlación alta entre contaminación por material particulado y consultas por enfermedades respiratorias en la zona de estudio. Los resultados muestran que la población en el estado de Medellín es vulnerable respecto al material particulado, el cual genera altos índices de morbilidad como principal problemática, ya que los índices de mortalidad aún no se encuentran en aumento.

Guzmán et al. (2008) investigaron los efectos adversos sobre el sistema respiratorio, así como recomendaciones para prevenir daños por contaminación de ambientes domésticos como la quema de madera, carbón vegetal y los desechos agrícolas. Se comprobó que las relaciones de causalidad entre la exposición al humo por combustión de biomasa, la enfermedad pulmonar crónica y el cáncer del pulmón son las principales problemáticas.

Peinado et al. (2002) desarrollaron el “Uso del sistema de información geográfica para determinar la relación entre severidad de una crisis asmática en niños y la cercanía a fábricas con chimenea en un distrito en Lima Perú”. Estos autores desarrollaron una relación de la distribución de la crisis asmática en niños derivada de la cercanía de sus viviendas a las fábricas con chimenea, ya que al encontrarse a poca distancia, la contaminación era mayor en un corto periodo de tiempo, fue por ello que los niveles de morbilidad y mortalidad ascendían en estas zonas, así mismo, señalan algunas variables importantes que se complementan con la investigación como lo es la mortalidad, morbilidad, población combustión vehicular entre otras (Peinado et al., 2002). Se muestra que con los sistemas de información geográfica se determinaron zonas con mayor riesgo a este tipo de enfermedades (asmáticas) los cuales permiten analizar de manera detallada la problemática y llegar a proponer elementos para la toma de decisiones.



Antecedentes en México

Santana et al. (2021) determinan los estados mexicanos con mayor riesgo ante el COVID-19 mediante el uso de diversas variables, por ejemplo, el índice de vulnerabilidad, densidad de población, recursos de salud y servicios de vivienda. Se aplicó un método de análisis multivariado para sintetizar las dimensiones expuestas y de esta manera obtener un valor por cada Estado que represente su vulnerabilidad. De igual modo permite interrelacionar diferentes variables, para la vulnerabilidad y que son prioridad para implementar la toma de decisiones y evitar que se propague dicha enfermedad.

La autora utilizó el método índice de Moran y el gráfico de dispersión que permiten analizar la diferencia o autocorrelación espacial desde un punto de vista global, es decir, que esta técnica permite localizar valores significativos con algunos indicadores cómo puede ser el de población, morbilidad y mortalidad con los cuales se logró representar la dinámica espacio temporal de la pandemia generada por el SAR COVID19 (nuevo tipo de coronavirus que puede afectar a las personas) en México.

Es importante recalcar que existen variables estadísticas que ayudan a contextualizar, determinar y analizar diferentes problemáticas que se están viviendo en la actualidad, esto contribuyó para determinar algunos parámetros de las presentes enfermedades respiratorias, las cuales ayudaron a comprender el entorno en el que se relacionan los seres humanos, y, de esta manera determinar cómo estas problemáticas pueden mejorar o empeorar en un futuro.

Santana et al. (2021) analizan los conglomerados espacios temporales de la neumonía en población vulnerable del Estado de México, mediante las variables de población, mortalidad, morbilidad, conglomerados y demografía para la población menor a 5 años y mayor a 65, de esta manera se identifican las zonas que requieren



mayor atención, apoyándose de técnicas geoespaciales con el fin de reducir la carga de morbilidad y mortalidad.

Ruiz L. (2019) analizó la distribución espacial de enfermedades respiratorias y su relación con los contaminantes en los municipios de Toluca, Metepec y San Mateo Atenco para los años 2011 y 2015, consideró como base los parámetros de: densidad de población, morbilidad y mortalidad para llevar a cabo un análisis descriptivo y comprobar la hipótesis de la distribución espacial de enfermedades del aparato respiratorio que se presentan por las partículas suspendidas de contaminación en dichos municipios. La importancia de esta investigación radica en cómo se relacionan los índices de contaminación de las enfermedades de tipo respiratorio, debido a que en la actualidad el cambio climático está obteniendo un papel fundamental en la calidad de vida de los habitantes en el Estado de México.

Balderas (2018) analiza “los patrones de distribución de enfermedades respiratorias, así como su relación con las temperaturas mínimas en el Estado de México”. Considera variables como: densidad de población, tasa de mortalidad, tasa de morbilidad, tasa de migración y temperatura (máxima y mínima) para determinar cuáles son las regiones en el Estado de México que presentan temperaturas más bajas y relacionarlas con los grupos más vulnerables en los años de 0 a 9 y adultos mayores de 70 años y más.

En la actualidad se presentan diversas problemáticas ambientales que inciden en la salud, de ahí la importancia de generar soluciones territoriales que puedan ayudar a mejorar el entorno físico y social. Una vez focalizado el problema es importante proponer alternativas de intervención para reducir dichas problemáticas.

La revisión de la literatura referente a tema de investigación es fundamental dado que influye en las diversas ideas e investigaciones de nuestro país y su comprensión referente a cómo es que se llevan a cabo para expandir e implementar los resultados de esta investigación.



Planteamiento del problema

En el año 2013, McDonald señala que “La Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica actualmente ocupa el cuarto lugar entre las principales causas de morbilidad y mortalidad en el mundo. Su prevalencia depende del país, la edad y el sexo, pero se aproxima a 10% en personas mayores de 40 años. En 2012 fallecieron más de 3 millones de personas por esta causa y se prevé que para el año 2030 sea la tercera causa de muerte debido a la exposición continua a los factores de riesgo y al envejecimiento de la población”. (McDonald, 2013).

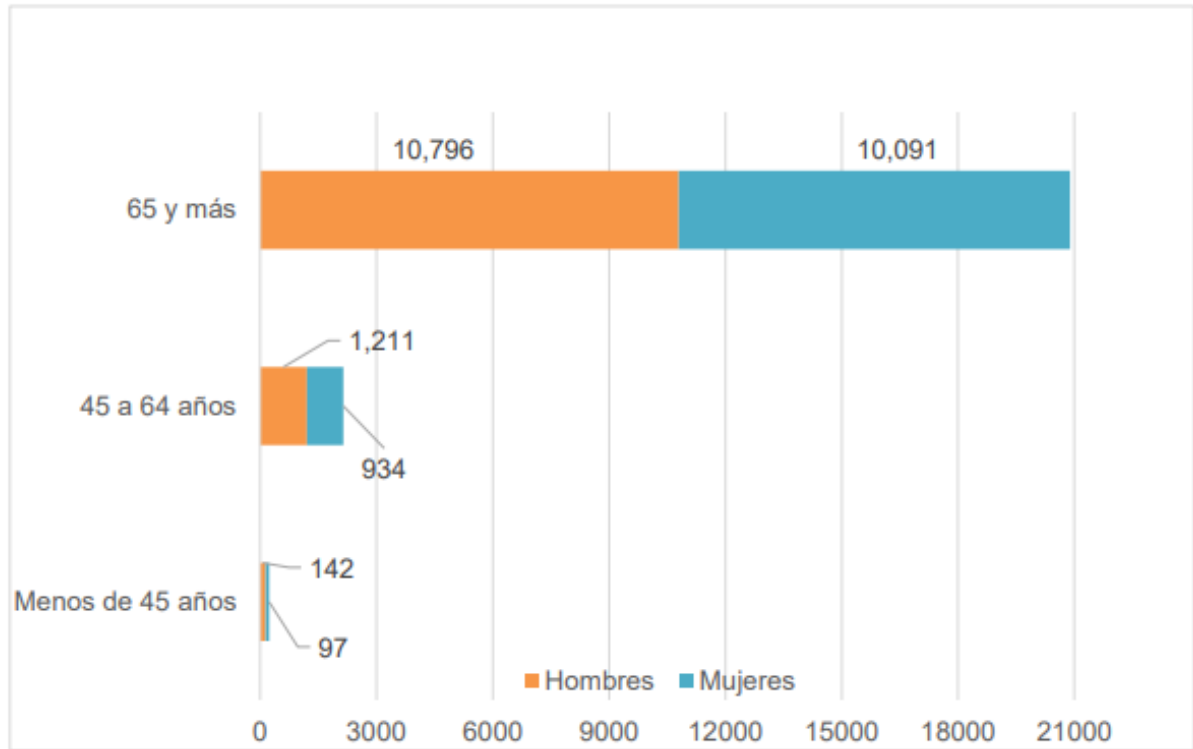
Por lo tanto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) anticipa un incremento de mortalidad en pacientes con EPOC de manera que será la tercera causa de muerte en el mundo para el año 2020. Según estimaciones recientes de la OMS, más de 210 millones de personas padecen una EPOC, de los cuales más de 80 millones la presentan de forma moderada o grave. (Clínica Barcelona, 2018).

La mortalidad por EPOC ha estado dentro de las principales diez causas de muerte en México desde 1999. La tendencia ha ido en aumento desde hace algunos años como se muestra en la siguiente gráfica. Más aún, la mortalidad por EPOC representó la octava causa de muerte en 2016. (Robles et al., 2018).

Manzanares (2011) señala que las” PM_{2.5} son las más nocivas para la salud humana, ya que pueden penetrar directamente a los alvéolos pulmonares. Afecta principalmente al sistema respiratorio y cardiovascular, incrementando el riesgo de una embolia o un infarto, o bien provocando la aceleración de la aterosclerosis (endurecimiento de las arterias) cuando hay una exposición crónica a este contaminante”.



Gráfica 1: Mortalidad por EPOC y por grupo de edad en México, 2016.



Fuente: INEGI, 2016

La contaminación atmosférica ha modificado gravemente nuestra calidad de vida a nivel mundial, derivado de ello se han originado diversas problemáticas no sólo de salud sino también económicas, sociales e incluso políticas. Por consecuencia de la contaminación atmosférica la población ha estado viviendo cambios en su salud, lo cual repercute en su estilo de vida cambiante, y que, por consecuencia, su esperanza de vida disminuya.



Importancia del problema

De acuerdo con Martínez et al. (2020) en su obra “Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)” mencionan que en el 2016 el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER) ubicó a la EPOC en el cuarto lugar en la tabla de morbi-mortalidad anual en México. Esta es una enfermedad que dificulta la expulsión del aire de los pulmones y es provocada por diferentes factores ambientales, principalmente por el humo de tabaco, por esta razón las personas de la tercera edad son las más afectadas.

Ruiz (2008) señala que “El análisis cuantitativo de variables espaciales hace de la geografía una ciencia con capacidad predictiva sobre la organización y distribución territorial. La estadística aplicada a través de índices, tasas e indicadores permite diferenciar procesos y estructuras que se reproducen espacialmente, tanto si dependen de un único factor como si intervienen múltiples factores. En ese sentido, el reconocimiento espacial a través de técnicas de análisis de datos univariados y multivariados resulta útil no solo en el diagnóstico de los lugares, zonas o regiones, sino que permite predecir la conformación de escenarios tendenciales y alternativos en la conformación del territorio”.

Debido a que la EPOC es una de las principales enfermedades que provoca morbilidad y mortalidad en México, surge la necesidad de entender cuál ha sido su dinámica en el espacio y en el tiempo, en esta investigación se consideraron los años 2005 y 2015 con el fin de tener conocimiento acerca de cuáles alcaldías son las más afectadas por esta enfermedad en la Ciudad de México y posterior a ello, identificar la relación que tiene con las partículas contaminantes atmosféricas.

Por lo que, esta investigación tiene como propósito aportar conocimiento territorial como base para que los habitantes implementen estrategias locales y a nivel de la vivienda para transformas los distintos espacios en zonas mayormente saludables, además de mejorar la calidad de vida; así también, la mejora de las condiciones



atmosféricas, que por actividades humanas se ve afectada la calidad del aire. Otro propósito importante es informar a los tomadores de decisiones de dicha problemática y motivar a que se desarrollen estrategias o programas de control pertinente y con esto se puedan mejorar aún más las condiciones atmosféricas, así como disminuir los resultados de morbilidad y mortalidad por esta causa en específico, en la Ciudad de México.

Objetivo General

Analizar la dinámica espaciotemporal de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) en la Ciudad de México en los años 2005 y 2015, y la relación entre esta enfermedad con la distribución geográfica de partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} .

Objetivos específicos

1. Analizar la distribución de los contaminantes atmosféricos $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las alcaldías de la Ciudad de México, para los años 2005 y 2015.
2. Comparar la distribución espacial de la EPOC en las alcaldías de la Ciudad de México para los años 2005 y 2015.
3. Analizar la relación entre la EPOC y las partículas contaminantes atmosféricas $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las alcaldías de la Ciudad de México, para el año 2015.



Capítulo 1. Marco teórico conceptual



Geografía

La geografía se encarga de estudiar la superficie terrestre y los variados procesos que la modelan. A lo largo de su desarrollo, esta disciplina ha dado lugar a diversas corrientes que se enfocan en diferentes aspectos del espacio y sus características. Esta investigación muestra la definición de la geografía, sus principales corrientes y la importancia de esta ciencia en la comprensión de la interacción entre los seres humanos y su entorno.

La palabra "geografía" proviene del griego "geo" (tierra) y "graphos" (escritura), y se refiere a la descripción, análisis y comprensión de los fenómenos y hechos físicos y humanos en la superficie terrestre. Esta disciplina se interesa tanto por la distribución espacial de los elementos naturales y culturales, así como por las relaciones entre estos elementos y los procesos que los configuran (Cloke y Watson, 2004).

La geografía se divide tradicionalmente en dos grandes ramas: la geografía física y la geografía humana. La primera se ocupa del estudio de los elementos naturales como el clima, los suelos, los cuerpos de agua y la formación del relieve. La segunda, en cambio, se centra en las actividades humanas y su influencia en el medio ambiente, abarcando temas como la urbanización, la demografía, la economía y la cultura.

Entre las principales corrientes de la geografía se destacan varias que han marcado el desarrollo de esta disciplina. La geografía regional se enfoca en el estudio de áreas específicas de la Tierra, analizando sus características particulares y comparándolas con otras regiones para entender sus singularidades y similitudes.

La geografía cuantitativa surgió a mediados del siglo XX y emplea métodos estadísticos y matemáticos para analizar datos espaciales. Esta corriente se apoya en herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permiten



modelar y simular patrones y procesos geográficos con gran precisión (Johnston et al., 2000).

En las décadas de 1970 y 1980, la geografía crítica se desarrolló para enfocarse en la dimensión política y social del espacio. Esta corriente crítica las estructuras de poder que influyen en la organización del espacio y busca entender cómo estas estructuras perpetúan desigualdades (Livingstone, 1992).

La geografía cultural estudia las prácticas, símbolos y significados culturales y cómo estos se expresan y configuran en el espacio. Esta corriente examina la relación entre identidad cultural y lugar, así como los paisajes culturales resultantes de estas interacciones.

En la década de 1980, la geografía feminista comenzó a analizar cómo el género influye en la organización del espacio y cómo las experiencias espaciales varían según el género. Esta corriente busca visibilizar las contribuciones de las mujeres en la configuración del espacio y cuestionar las estructuras patriarcales que lo moldean.

En el mundo contemporáneo, la geografía juega un papel crucial en la comprensión de numerosos fenómenos. Desde el cambio climático y la gestión de recursos naturales hasta la urbanización y los movimientos migratorios, la geografía proporciona herramientas esenciales para analizar y abordar estos desafíos.

Por lo tanto, la Geografía es la ciencia que abarca aspectos sociales y que se enfoca en los modos en que está se manifiesta en el espacio geográfico y la relación entre los seres humanos y la naturaleza. Esta ciencia se ayuda de ciencias auxiliares para poder tener una mayor perspectiva y características peculiares en ella, así como también ramas auxiliares que la ayuden a complementar y relacionar tanto aspectos sociales como físicos y llegar a un objetivo.

Bassols y Ruiz (2008) expresan que “Existen diferentes y a veces contrastantes definiciones sobre la geografía como ciencia. En el sentido etimológico, la geografía es la ciencia que estudia a la Tierra (geo= Tierra; graphos= descripción), aunque



dicha definición hoy resulta vaga. Una más precisa es aquélla que refiere a la geografía como el estudio de la localización de objetos y procesos sobre la superficie de la Tierra, la explicación de por qué éstos se localizan en tal o cual lugar, cómo estos lugares difieren entre sí y cómo la sociedad interactúa con su ambiente”.

Por otro lado, Pierre (1970) señala que la Geografía Social, es una rama de la Geografía, “aborda el estudio de las agrupaciones humanas en los diversos medios físicos, étnicos, históricos y económicos del globo. Se trata de un estudio del hombre no como productor y consumidor de cosechas y productos fabricados, que es el objeto de la Geografía Económica, sino en tanto que miembros de colectividades vivientes, teniendo una organización propia, un estilo de vida particular y ocupando un lugar determinado en la jerarquía de las civilizaciones; es de la Geografía Humana” (Pierre, 1970).

La Geografía de la salud es la rama de la Geografía, la cual estudia la relación de la salud humana y su relación con el medio, con campos de acción en la ordenación territorial, planificación integral y en la gestión integrada del territorio, en las etapas de la prevención de enfermedades y promoción de la salud.

Desde la Geografía de la salud se identifican patrones de distribución, se determinan factores de riesgo y se aporta conocimiento territorial para las propuestas de estrategias de intervención que puedan mejorar la salud pública. A continuación, se muestra cómo la geografía apoya este análisis desde una perspectiva científica.

Uno de los principales aportes de la geografía al estudio de la EPOC es la distribución espacial de la enfermedad. Utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), los investigadores pueden mapear la prevalencia de la EPOC en diferentes regiones de México. Estos mapas permiten visualizar áreas con altas tasas de incidencia y mortalidad, lo que es fundamental para focalizar esfuerzos de salud pública y recursos médicos, para mejorar la situación de la salud.



Por ejemplo, y como lo veremos al final de la investigación, los estudios pueden mostrar que la EPOC es más prevalente en zonas urbanas altamente contaminadas o en regiones rurales donde la biomasa se utiliza como combustible doméstico. Esta información espacial ayuda a comprender cómo los factores ambientales y socioeconómicos influyen en la distribución de la enfermedad y que alternativas diferenciadas se pueden proponer tanto en ámbitos urbanos como rurales.

La geografía también permite la identificación de factores de riesgo asociados con la EPOC. Al superponer datos ambientales, como niveles de contaminación del aire y exposición al humo de biomasa, con datos socioeconómicos, demográficos y de salud, los investigadores pueden determinar correlaciones significativas.

El potencial de la geografía para integrar y analizar estos datos complejos es esencial para identificar y cuantificar estos riesgos.

Geografía de la Salud

Barcellos et al. (2018) mencionan que “El libro de Leonhard Ludwig Finke, *Versuch einer allgemeinen medicinisch-praktischen Geographie*, publicado en 1792, es la primera obra en la que se define el campo de estudio denominado geografía médica y que, bajo el paradigma del determinismo, realiza un análisis de la distribución de las enfermedades. En este libro está considerado el inicio de esta rama geográfica”.

Garzón (2021) por su parte realiza la siguiente reflexión en donde “La Geografía de la Salud es una área científica que integra temas de la Geografía Física (ejemplo Climatología Regional y Local) y de la Geografía Humana o social (ejemplo Urbanización, Demografía y Ordenación del Territorio), por lo que, se constituye como una área del saber de comprensión global, preocupada con los problemas actuales y a diferentes escalas, útil tanto para los profesores de enseñanza media



y superior como para los que integrarán equipos multidisciplinares en las áreas de ambiente, planeación y ordenación del territorio”.

Este mismo autor señala que “esta ciencia ocupa una posición nodal, en un espacio donde convergen o se cruzan fenómenos naturales, socioeconómicos, culturales y comportamentales, de gran relevancia en la explicación de los patrones de salud y enfermedad. Inicialmente, aprovechando las fructíferas relaciones y yuxtaposiciones entre la Geografía y la medicina (materializadas en las topografías médicas, en el siglo XIX, de la responsabilidad de los médicos), más tarde se extiende a un vasto conjunto de fronteras disciplinarias (ejemplo economía, sociología, planeación)” (Garzón, 2021).

Y a su vez que “la propia designación expresa mejor la riqueza metodológica y de objetivos ya que de hecho se direcciona más a cuestiones de salud que de cuestiones meramente médicas. Las preocupaciones se enfocan en el área de la vulnerabilidad a los efectos de las alteraciones climáticas, principalmente en los grupos de adultos mayores, en el aumento de los tiempos de desplazamiento casa/trabajo de las poblaciones, en cambios de comportamientos y estilos de vida, tanto como del consumo de bienes y servicios donde se incluye la demanda de servicios de salud” (Garzón J, 2021).

Barcellos et al. (2018) destacan que “con motivo de la epidemia de cólera de 1854, en el centro de Londres, que provocó 14.600 muertes, John Snow realizó un estudio cartográfico que se considera un trabajo clásico de la epidemiología con un alto componente de la que sería denominada geografía aplicada. La superposición de mapas mostraba una incidencia del brote de cólera (distribución espacial y cantidad de casos) con epicentro en la bomba de agua de Broad Street. Sus observaciones apoyadas en la correspondencia espacial llevarían a retirar la bomba y que la epidemia disminuye rápidamente hasta su desaparición, este es un claro ejemplo de los mapas como herramienta para salvar vidas”.



Tambellini (1996) argumenta que “una de las teorías más importantes que nos ayudará a poder resolver esta problemática es la teoría ecosocial mencionada en la obra de Hernández L., et al. (2016), titulada: “Enfoques conceptuales de la relación ambiente y salud”, la cual incorpora constructos teóricos relativos a la ecología política, los ecosistemas, las escalas y niveles espacio temporales, los mecanismos biológicos de la enfermedad y la producción social del conocimiento científico; también critica el marco prevalente entre determinantes proximales y distales; y por último propone construcciones teóricas alternativas para guiar la elaboración de hipótesis, diseño de estudios e interpretación de datos en salud ambiental”.

A su vez, Krieger (2001) establece que “la teoría ecosocial invita a considerar cómo la salud de las poblaciones es generada por las condiciones sociales que necesariamente involucran procesos biológicos a distintas escalas espacio temporales, de lo subcelular a lo global y desde los nanosegundos a los milenios”.

Tambellini (1996) también destaca que “en el marco de esta nueva salud ambiental, y de la tríada producción-ambiente-salud, la salud colectiva entiende el nivel de salud de una colectividad como dependiente en términos ambientales y sociales de las relaciones de producción que afectan de manera diferente a individuos y colectividades, en términos de exposición a agentes y otros riesgos. Y es en el ambiente donde ocurren las relaciones entre la producción y la salud, las cuales actúan inicialmente en un ambiente natural donde las fuerzas de producción, al servicio de un interés económico y social específico, dan paso a un ambiente social, proceso en el cual la salud individual y colectiva resulta afectada”.

De tal manera que, la geografía de la salud despliega una relevancia fundamental al explorar el análisis espacial de la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) en las alcaldías de la Ciudad de México durante los años 2005 y 2015. Este enfoque amalgama la geografía con la epidemiología y otras disciplinas de la salud para discernir patrones geoespaciales de la enfermedad y sus determinantes. Esta complementariedad multidisciplinaria viabiliza la visualización de la distribución



geográfica de la EPOC en distintas zonas de la ciudad, permitiendo identificar áreas de alta incidencia, posibles agrupamientos de casos y el probable impacto de factores locales.

En este contexto, la geografía de la salud analiza territorialmente variables ambientales como la calidad del aire, la exposición a contaminantes atmosféricos (como partículas finas, ozono, dióxido de nitrógeno), la presencia de fuentes de emisión (industrias, tráfico vehicular) y aspectos geológicos locales que podrían estar correlacionados con la aparición y agravamiento de la EPOC. Asimismo, se examinan factores socioeconómicos como el nivel socioeconómico, la densidad poblacional, el acceso a servicios de salud y la calidad de la vivienda, arrojando luz sobre los determinantes sociales que influyen en la prevalencia y manejo de la EPOC en diferentes áreas de la ciudad.

La temporalidad también es clave en estos análisis, al permitir comparar la distribución espacial de la enfermedad en dos momentos temporales distintos. Esta comparativa entre 2005 y 2015 facilita el estudio de cambios en la incidencia de la EPOC a lo largo del tiempo, el análisis de las tendencias.

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

En términos generales, un Sistema de Información (SI) se define como la integración de datos en formato digital junto con software informático para su evaluación con objetivos específicos dentro de una entidad organizativa (como una empresa o administración).

Dentro de esta categoría se encuentra el SIG, que se distingue por la inclusión de datos georreferenciados, es decir, información con coordenadas espaciales basadas en una proyección cartográfica estándar, comúnmente el sistema UTM.



Si pensamos en el Sistema de Información Geográfico (SIG) de una región este contendrá información ambiental y socioeconómica de manera que podamos consultar las características de un determinado espacio o cuales son las áreas que cumplen con el conjunto de criterios recomendables para, por ejemplo, instalar un parque eólico. De este modo un SIG se convierte en una herramienta fundamental para llevar a cabo estudios de Ordenación del Territorio o Evaluación de Impacto Ambiental (Alonso, 2006).

Por lo que un SIG es un marco de trabajo diseñado para la recopilación, gestión y análisis de datos espaciales y se basa en la ciencia geográfica para integrar información diversa, por lo que, mediante la organización de capas de información, el SIG permite el análisis de la ubicación geográfica de los datos y su visualización en forma de mapas bidimensionales o escenas tridimensionales (Aeroterra, sf).

Quinche (2010) señala que “Las soluciones para muchos problemas frecuentemente requieren acceso a varios tipos de información que sólo pueden ser relacionadas por geografía o distribución espacial. Sólo la tecnología SIG permite almacenar y manipular información usando geografía, analizar patrones, relaciones, y tendencias en la información, todo con el interés de contribuir a la toma de mejores decisiones”.

Cuestiones a las que responde un SIG

- Localización ¿Qué hay en?
- Condición ¿Dónde sucede que?
- Tendencias ¿Qué ha cambiado?
- Rutas ¿Cuál es el camino optimo?
- Pautas ¿Qué pautas existen?
- Modelos ¿Qué ocurriría sí?



IIRBAVH (2006) señala que “Estas cuestiones son de interés primordial en actividades relacionadas con la planificación. Para instituciones de investigación como el Instituto Humboldt, Los SIG ayudan en el estudio de la distribución y monitoreo de recursos, tanto naturales como humanos, así como en la evaluación del impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente natural. De esta forma contribuimos en la planificación de actividades destinadas a la preservación de los recursos naturales. Toda la generación de nueva información que puede proveer un SIG depende significativamente de la información que poseen las bases de datos disponibles. La calidad de esta base de datos y sus contenidos determinan la cantidad y calidad de los resultados obtenidos del SIG”.

Los SIG en su configuración actual se caracterizan por ser sistemas de alta complejidad que incorporan una variedad de componentes interconectados, el análisis detallado de cada uno de estos componentes constituye la base para la comprensión integral de los SIG, revelando las particularidades inherentes a cada concepto y permitiendo así entender las interacciones entre ellos (Olaya, 2014).

Un SIG se compone esencialmente de varios elementos interdependientes que colaboran para la adquisición, gestión y análisis de datos geográficos. En primer lugar, los datos geoespaciales constituyen la materia prima del SIG, incluyendo información georreferenciada como bases de datos, mapas digitales, imágenes satelitales y datos GPS que poseen coordenadas espaciales asociadas.

Estos datos son procesados y manipulados mediante el uso de software SIG, programas especializados diseñados para la captura, almacenamiento, análisis y visualización de información geográfica. Para ejecutar eficazmente el software y gestionar grandes volúmenes de datos, se requiere una infraestructura de hardware adecuada que incluya computadoras, servidores, dispositivos móviles y equipos de posicionamiento global (GPS).

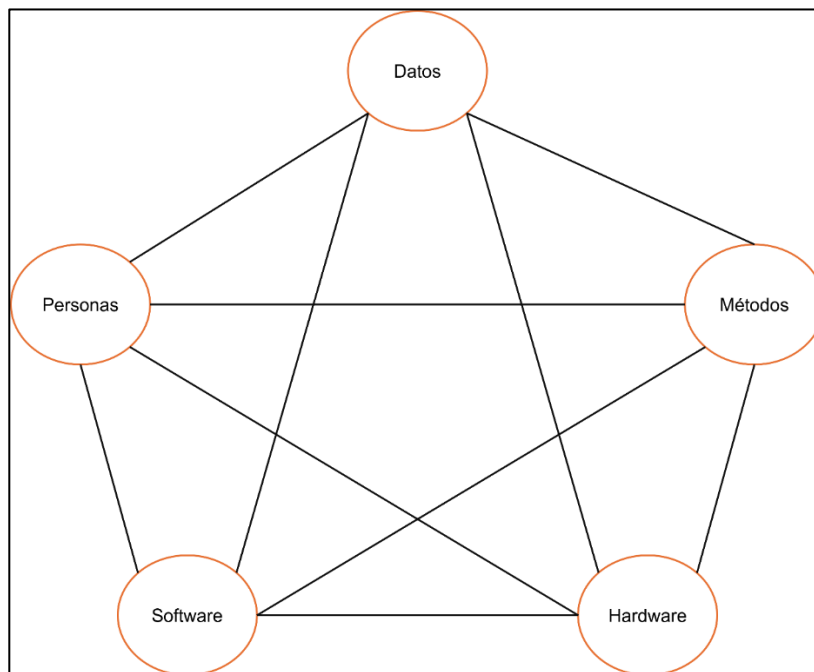
El personal que trabaja con SIG desempeña un papel crucial, ya que está conformado por expertos en geografía, geoinformática, analistas SIG, cartógrafos e



ingenieros que aplican métodos y procedimientos específicos para procesar y analizar los datos geográficos. Estos métodos y procedimientos, junto con las normativas y estándares establecidos, garantizan la calidad, precisión y coherencia de la información geoespacial utilizada en el sistema.

Por último, los usuarios y clientes del SIG son aquellos individuos u organizaciones que utilizan los resultados generados por el sistema para la toma de decisiones focalizadas en diversas áreas como la ordenación territorial, planificación urbana, gestión ambiental, agricultura de precisión y análisis de riesgos naturales. El entendimiento integral de estos componentes es fundamental para el diseño, implementación y optimización efectiva de un Sistema de Información Geográfica (IIRBAVH, 2006), (figura 1).

Figura 1. 1 Componentes de un Sistema de Información Geográfica





Partículas Contaminantes

Gallego et al. (2012) argumentan que la materia particulada (PM) “presente en la atmósfera, es un conjunto de sustancias en estado sólido y líquido, que se encuentra suspendida en el aire o bien, que se depositan en la superficie muy lentamente cuando éstas alcanzan un diámetro mayor. Algunos ejemplos de materia particulada son el hollín, los aerosoles, la arena, el polvo, etc.”

Este mismo autor señala que “Las partículas suspendidas totales presentan una distribución de tamaños que van desde 0.005 hasta 100 μm , aunque la mayoría tienen un tamaño menor a 40 micras. Desde el punto de vista epidemiológico, aquellas partículas con diámetros menores a 10 μm (PM_{10}) conforman la fracción inhalable, la cual se divide en fracción gruesa (diámetros entre 2.5 y 10 μm), fina (diámetros menores a 2.5 μm , $\text{PM}_{2.5}$) y ultrafina (diámetros menores a 1 μm)” (Gallego et al., 2012).

Partículas PM_{10}

Tzintzun et al. (2005) mencionan que “las PM_{10} o partículas gruesas ($\text{PM}_{10-2.5}$) también llamadas partículas inhalables, son las partículas menores a 10 micrómetros, pero más grandes que 2.5 micrómetros de diámetro, se consideran como contaminantes constituidos por material líquido y sólido de muy diversa composición y tamaño, que se encuentran en el aire y pueden ser generadas tanto por fuentes móviles como estacionarias, de manera natural o antropogénica”.

Por otra parte, Chow y Watson (1997) señalan que “esto incluye procesos de combustión en vehículos, principalmente aquellos que usan diésel, industrias de fundición, pinturas, cerámica y plantas de energía. Se ha establecido que las partículas se encuentran constituidas por 7 componentes químicos o especies:



material geológico, sulfatos de amonio, nitratos de amonio, material orgánico, carbón elemental, sales y elementos trazas”.

Partículas PM_{2.5}

Manzanares et al. (2011) mencionan que “con respecto a las fuentes de emisión, las partículas primarias de PM_{2.5} pueden tener su origen en fuentes naturales como las sales marinas, la erosión del suelo, incendios naturales, actividad volcánica y material biológico (fragmentos de plantas, microorganismos, polen, etc.). o bien provenir de fuentes antropogénicas, entre ellas, la quema de biomasa, combustión incompleta de combustibles fósiles, polvos fugitivos de caminos pavimentados y no pavimentados, actividades agrícolas, de construcción, procesos industriales, procesos metalúrgicos, etc.”.

Así como Hernández et al. (2016) expresan que “Hay que tomar en consideración el concepto sobre las *fuerzas motrices o propulsoras* que son factores que motivan y empujan a los procesos ambientales involucrados según el caso. Representan las cuestiones más generales que están por detrás del modelo de desarrollo adoptado por la sociedad y que propician las actividades y fuentes de la contaminación o degradación. Una de las fuerzas motrices más importantes es el crecimiento poblacional. También hacen parte de estos factores el modelo de desarrollo económico y tecnológico, los patrones de consumo, la distribución del ingreso, el nivel de escolaridad y los niveles de empleo”.

Los mismos autores afirman que “Estos autores también sostienen que la fuerza motriz determina unas *presiones* que se refieren a la ocupación y explotación del ambiente, al crecimiento urbano y la producción industrial, que son fuentes de contaminación o de degradación ambiental. Incluyen el comportamiento del conjunto de actividades económicas y de la producción industrial” (Hernández et al., 2016).



Teoría de la exposición

Los efectos del Material Particulado (PM) sobre la salud provienen de la exposición que actualmente experimenta la población de zonas urbanas y rurales.

La exposición a altas concentraciones de partículas PM_{10} está relacionada con el aumento de la mortalidad o morbilidad diaria y a largo plazo, ya que éstas pueden penetrar y alojarse profundamente dentro de los pulmones y originar enfermedades respiratorias (OMS, 2018; Solarte et al., 2002).

Los efectos de la contaminación atmosférica dependen del tiempo al que las personas se encuentren expuestas (OPS, 2017). En este sentido la exposición a corto y largo plazo a la contaminación atmosférica aumenta el riesgo de sufrir enfermedades respiratorias agudas (neumonía), y crónicas (cáncer de pulmón), además de padecer enfermedades cardiovasculares (WHO, 2018). Entre las enfermedades que llega a padecer la población por contaminación atmosférica son: cáncer de pulmón, EPOC, accidentes cerebrovasculares, cardiopatías isquémicas e infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores esta última sobre todo en niños (OPS, 2017).

La teoría de la exposición es un marco conceptual fundamental en la epidemiología ambiental que se centra en la relación entre la exposición a diversos factores de riesgo, la aparición de enfermedades y su aplicación al análisis espacial de la EPOC, esta teoría permite identificar y cuantificar cómo las condiciones ambientales y socioeconómicas influyen en la distribución geográfica de la enfermedad.

Esta teoría de la exposición se basa en identificar y medir las fuentes de riesgo a las que las personas están expuestas. En el contexto de la EPOC, estas fuentes incluyen contaminantes del aire, humo de biomasa, polvo industrial y otros agentes ambientales. Utilizando herramientas geográficas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los investigadores pueden mapear estas fuentes de



exposición y superponerlas con datos de salud para analizar su relación con la prevalencia de la EPOC (Jerrett, et al., 2009).

Por ejemplo, en México, la contaminación del aire en grandes ciudades, como la Ciudad de México y Monterrey, es una fuente significativa de exposición a partículas finas y otros contaminantes que pueden causar o exacerbar la EPOC. Mapear estas fuentes de contaminación junto con la incidencia de la EPOC ayuda a visualizar áreas de alto riesgo y a establecer correlaciones entre la exposición y la enfermedad.

La teoría de la exposición también implica la medición precisa de los niveles de riesgo a los que las poblaciones están expuestas. Esto se logra mediante la recopilación de datos ambientales (como la calidad del aire), así como información sobre comportamientos individuales (como el uso de leña para cocinar) y condiciones de vida (como la proximidad a industrias contaminantes) (Brunekreef y Holgate, 2002).

En el análisis espacial, esta información se integra en modelos geoespaciales que permiten estimar la exposición individual y comunitaria a factores de riesgo específicos. Por ejemplo, los SIG pueden combinar datos de estaciones de monitoreo de calidad del aire con encuestas sobre hábitos domésticos para proporcionar un panorama detallado de la exposición a contaminantes en diferentes regiones de México.

Por otro lado, la teoría de la exposición no solo se preocupa por la identificación y medición de riesgos, sino también por la comprensión de cómo la exposición varía en el tiempo y el espacio. El análisis espaciotemporal permite a los investigadores observar cambios en los patrones de exposición y correlacionarlos con tendencias en la incidencia de la EPOC (Künzli et al., 2000).

Por ejemplo, un análisis espaciotemporal puede revelar que la implementación de políticas de reducción de contaminación en una ciudad ha llevado a una disminución



en la prevalencia de la EPOC en esa área, mientras que regiones sin tales intervenciones pueden mostrar tendencias opuestas. Este tipo de análisis es crucial para evaluar la efectividad de las intervenciones de salud pública y ajustar políticas según sea necesario.

La teoría de la exposición también considera la vulnerabilidad diferencial de las poblaciones a los factores de riesgo. No todas las personas expuestas a los mismos niveles de contaminantes desarrollan EPOC con la misma probabilidad. Factores como la edad, el estado de salud preexistente, el nivel socioeconómico y el acceso a servicios de salud juegan un papel crucial (Cohen, 2017).

El análisis espacial, apoyado por la teoría de la exposición, puede identificar comunidades particularmente vulnerables y desiguales en términos de riesgo. Por ejemplo, las poblaciones de bajos ingresos que viven cerca de carreteras muy transitadas o en áreas industriales pueden tener una mayor carga de EPOC debido a su mayor exposición y menor capacidad para acceder a atención médica adecuada (Wilkinson, 2003).

Por lo que, la teoría de la exposición proporciona un marco robusto para el análisis espacial de la EPOC al enfocarse en la identificación, medición y análisis de factores de riesgo ambientales y socioeconómicos. Al integrar estos conceptos con herramientas geoespaciales, los investigadores pueden obtener una comprensión más completa de cómo y por qué la EPOC se distribuye de manera desigual en diferentes regiones. Esta comprensión es fundamental para diseñar intervenciones de salud pública más efectivas y equitativas, con el objetivo de reducir la carga de la EPOC y mejorar la salud de las poblaciones más vulnerables (Gatrell, 2014).



Evaluación de la exposición

La Agency for Toxic Substances and Disease Registry menciona que la evaluación de la exposición es un proceso crítico que busca identificar y cuantificar el impacto de sustancias contaminantes en la población, considerando elementos clave como la cantidad, frecuencia, duración y ruta de exposición. La exposición se define como el contacto entre un individuo y un contaminante específico durante un período determinado, expresándose en términos de concentración por unidad de tiempo (ATSDR, 2019).

Al evaluar la exposición, es esencial considerar diversos factores:

Información detallada de la sustancia: Esto abarca la identificación molecular y estructural, así como otras características que faciliten su reconocimiento, junto con sus propiedades químicas y físicas.

Fuentes de contaminación: Se analiza la producción, distribución, usos, eliminación y emisiones ambientales de la sustancia, incluyendo sus vías de exposición y destino en el ambiente.

Transporte y transformación: Se identifican las principales rutas de exposición y se pronostica la distribución en el medio ambiente, considerando cómo la sustancia se desplaza y se modifica.

Concentraciones: Se utilizan mediciones reales o calculadas para determinar las concentraciones ambientales de la sustancia, lo que ayuda a evaluar el nivel de exposición de la población.

Poblaciones expuestas: Se caracteriza a las personas expuestas en términos de tamaño, características demográficas, ubicación geográfica y hábitos de vida, incluyendo factores como la dieta, el trabajo y las actividades recreativas.

Es crucial comprender las propiedades físicas y químicas de las sustancias tóxicas, ya que estas influyen en su comportamiento ambiental, su capacidad de



acumulación en tejidos y su transformación en el medio ambiente. Las fuentes de exposición pueden ser diversas, desde el hogar hasta entornos industriales, y las vías de exposición varían según el medio (agua, aire, suelo).

La identificación precisa de la población expuesta, incluyendo grupos sensibles como niños y personas con enfermedades crónicas, junto con la recopilación de información detallada sobre hábitos y actividades, son fundamentales para una evaluación exhaustiva de la exposición y para diseñar estrategias efectivas de mitigación y control de riesgos ambientales y de salud pública.

Teoría del estrés oxidativo

Romero et al. (2017) expresan que “Existen diversos estudios realizados en animales y humanos sobre los efectos en la salud derivados de la exposición a contaminantes atmosféricos; en ellos se han registrado, principalmente, efectos sobre el aparato respiratorio y la disminución de la función pulmonar, y se ha destacado que la concentración de los contaminantes en la atmósfera, la duración y la frecuencia de la exposición, además de factores como el estilo de vida y las características individuales, influyen en la magnitud de dichos efectos. Existen diferentes trabajos que apuntan a que el estrés oxidativo es el principal mecanismo de daño derivado de la exposición a contaminantes atmosféricos, y que se produce por una alteración del equilibrio entre la producción de radicales libres y la capacidad antioxidante”.

Dergham M. et, al (2015) señalan que,

“después de exponer un conjunto de células epiteliales bronquiales a material particulado, la generación de especies reactivas de oxígeno se incrementó. Asimismo, se ha producido evidencia de que la producción de aldehídos reactivos puede ser generada por la presencia de algunas enfermedades preexistentes por la



exposición a radiaciones y por la exposición a otros contaminantes atmosféricos. Sin embargo, los resultados acerca del impacto de la exposición a contaminantes atmosféricos en concentraciones reales sobre diferentes marcadores de estrés oxidativo y la función pulmonar son limitados y no hay estudios al respecto en el interior de México; de igual modo, los resultados y mecanismos involucrados aún no están totalmente aclarados. Dicha investigación tuvo como objetivo evaluar la asociación entre la exposición a contaminantes atmosféricos y el incremento en los niveles de marcadores plasmáticos de estrés oxidativo, por un lado, y la disminución de la función pulmonar, por el otro, en niños escolares con y sin asma, residentes de las ciudades de León y Salamanca, Guanajuato, México”

Por su parte Ceriello (2006) menciona que “dependiendo de la duración, el estrés oxidativo puede ser agudo (hasta 15 días) o crónico (más de 15 días). El estrés oxidativo agudo se produce, por ejemplo, inmediatamente después de una comida abundante y rica en grasas o poco después de hacer ejercicio. Un ejemplo de estrés oxidativo crónico es el producido en pacientes diabéticos que permanecen con hiperglucemia durante periodos prolongados”.

Villanueva et al. (2013) destacan que “El organismo normal responde al estrés oxidativo con aumento en la defensa antioxidante endógena. Éste es precisamente el beneficio del ejercicio moderado. Sin embargo, si el estrés oxidativo es severo o muy prolongado, la defensa antioxidante se agota y pueden afectarse los mecanismos que el organismo normal desarrolla para contrarrestar el estrés oxidativo. En estas condiciones los radicales libres atacan estructuras celulares como los lípidos, las proteínas o el ADN, y dependiendo de la duración e intensidad del daño, los efectos pueden ser irreversibles. El estrés oxidativo crónico se ha relacionado con el desarrollo de las complicaciones cardiovasculares tardías de la diabetes, la hipertensión y la aterosclerosis. Tales complicaciones incluyen la enfermedad coronaria, la insuficiencia renal y la isquemia cerebral”.

Por su parte Constanza y Muñoz (2012) indican que “el estrés oxidativo y los radicales libres son actualmente tema relevante de investigación y atención en el



campo científico. A través de su estudio se han comprendido los diferentes fenómenos generados a nivel celular en el desarrollo de diferentes patologías. De igual forma, el estudio exhaustivo de los mecanismos de producción de estrés oxidativo, a través de diferentes métodos de laboratorio y de experimentación animal, han sido la base para comenzar a diseñar estrategias terapéuticas que ayuden a mantener y recuperar el equilibrio entre sustancias oxidantes y prooxidantes, para así evitar el progreso y desarrollo de patologías asociadas a este proceso”.

Vientos

Bustamante (2015) indica que “En nuestro planeta existen cuatro sistemas naturales de energía: sol, viento, agua y tierra. El sol es el más importante de estos cuatro, ya que a través de su acción es posible la manifestación de los tres restantes. El viento, por su parte, ha permitido al hombre subsistir y satisfacer sus necesidades, ya que históricamente ha sido una herramienta natural de gran utilidad: gracias al viento el hombre ha podido desplazarse por los océanos, moler sus granos, bombear agua de las profundidades y hasta generar electricidad”.

Además, García (1995) expresa que “El movimiento continuo del aire satisface necesidades vitales para la supervivencia del hombre. También es una necesidad básica para el bienestar térmico y el confort ambiental de las personas, sobre todo al disipar por conversión el calor excesivo del cuerpo y al evaporar la transpiración. Por ello, el viento es uno de los elementos climáticos relevantes que inciden en las ciudades y, en lo que respecta a la habitabilidad del espacio público, es uno de los más importantes, pues contribuye a la dispersión del aire contaminado y al confort humano en la medida en que exista un adecuado manejo de las formas del diseño urbano”.



La efectividad de políticas de salud pública 2005 y 2015

En el libro Salud: México 2001-2005 se compone de tres capítulos. El capítulo I, “La Salud y el Sistema de atención”, presenta información sobre indicadores agrupados en los rubros de condiciones de salud, calidad, productividad y disponibilidad de recursos, inversión en salud, factores predisponentes y cobertura.

El capítulo II presenta los “Mejores Desempeños” en algunos programas de salud pública, la Cruzada Nacional por la Calidad de los Servicios de Salud, arbitraje médico y protección contra riesgos sanitarios. Finalmente, el capítulo III se dedica en esta ocasión a documentar algunos de los desafíos que enfrenta el sistema mexicano de salud. Se trata de problemas que no pueden desatenderse por tres razones fundamentales: porque son retos que tienen una enorme y creciente importancia, como la diabetes mellitus; porque son rezagos que aún persisten, como el cáncer cervicouterino porque forman parte de compromisos internacionales, como los relacionados con los Objetivos de Desarrollo del Milenio.

Dentro de esta obra se menciona que, en resumen, el sistema mexicano de salud está enfrentando un nuevo perfil epidemiológico que le impone cargas inéditas. Para poder encararlo será necesario movilizar recursos financieros adicionales, ampliar la protección financiera en materia de salud, implantar esquemas de organización eficientes e innovadores, mejorar la calidad de la atención, fortalecer la cooperación con aquellos sectores de la administración pública vinculados a la salud y hacer corresponsables a los ciudadanos del cuidado de su salud. La reciente reforma a la Ley General de Salud, que dio origen al Sistema de Protección Social en Salud, permitió avanzar en muchos de estos frentes. No cabe duda, sin embargo, que es necesario ampliar estos esfuerzos. Una manera de hacerlo es documentando los avances, las áreas de oportunidad y los retos. (Salud México: 2001 – 2005. Información para Rendición de Cuentas, 2006).



Por otro lado, en el “Informe sobre la Salud de los Mexicanos 2015” en materia de salud, plantea como objetivo fundamental el asegurar el acceso a los servicios de salud, y que dicho acceso sea universal, con calidad, mejorando la atención a la población en situación de vulnerabilidad, privilegiando las acciones de protección, promoción y prevención.

Por su parte, el Programa Sectorial en Salud (PROSESA) 2013-2018, tiene como objetivos: consolidar las acciones de protección, promoción de la salud y prevención de enfermedades; asegurar el acceso efectivo a servicios de salud con calidad; reducir los riesgos que afectan la salud de la población en cualquier actividad de su vida; cerrar las brechas existentes en salud entre diferentes grupos sociales y regiones del país; asegurar la generación y el uso efectivo de los recursos en salud, y avanzar en la construcción del Sistema Nacional de Salud Universal bajo la rectoría de la Secretaría de Salud. A su vez, estos objetivos se articulan en estrategias y líneas de acción que buscan hacer operativos y tangibles los grandes objetivos delineados en el Plan Nacional de Desarrollo, a través del cumplimiento de diversas metas, a las que se les da seguimiento puntual a través de indicadores claros y precisos.

También menciona que, bajo estas premisas, el Informe sobre la salud de los mexicanos 2015, es un documento que compendia y resume los principales indicadores sobre la situación de la salud de nuestra población. Su contenido está sustentado en datos, estimaciones y evidencias que nos proporcionan una visión global del país en la materia y, al mismo tiempo, nos dará elementos para proyectar esos resultados en diagnósticos y análisis prospectivos, para concebir y ajustar, en su caso, las políticas públicas de prevención, promoción y atención de la salud

En conclusión, el Informe sobre la salud de los mexicanos 2015, es el tipo de estudios que nos permiten tener claridad sobre la situación y necesidades de salud para que, con base en estos resultados, se orienten mejor los recursos y se proporcionen los servicios con mayor efectividad. Espero que la lectura de este documento nos hará meditar, reflexionar y, sobre todo, actuar en beneficio de la



población actual y futura de México. (Informe sobre la salud de los mexicanos, 2015).

Los hallazgos derivados de la presente investigación del análisis espacial de la EPOC en estas alcaldías capitalinas proveen información estratégica para la planificación y toma de decisiones en salud pública. Estos datos respaldan la priorización de áreas para intervenciones, el diseño de programas específicos de prevención y control de la enfermedad, y la asignación eficiente de recursos para abordar los desafíos de salud respiratoria en la Ciudad de México de manera integral y efectiva. En suma, la geografía de la salud en este contexto ofrece una visión comprehensiva, contextualizada, integral y focalizadas que enriquece las estrategias de abordaje de la EPOC como una enfermedad crónica de impacto significativo en la salud pública urbana.



Capítulo 2. Marco metodológico



Área de estudio

La Ciudad de México está ubicada entre las siguientes coordenadas extremas: entre 19°35'34" y 19°02'54" de latitud norte, y entre -98°56'25" y -99°21'54" de longitud oeste. Limita al norte, este y oeste con el Estado de México, y al sur con el Estado de Morelos.

Con una superficie de 1,495 km², la Ciudad de México representa aproximadamente el 0.1% del territorio nacional. Esta ubicación geográfica le confiere una posición estratégica en el centro del país, siendo un punto clave en la convergencia de rutas comerciales, culturales y sociales. (figura 2.1).

El INEGI (2015) enuncia que “se estima que en esta área geográfica al 2015 aproximadamente 8 de cada 100 viviendas de las que hay en el país se encuentran en la capital de la República, y 7 de cada 100 habitantes residen también aquí”. La Ciudad de México tiene 16 delegaciones políticas en las que existen 670 localidades: 33 urbanas y 637 rurales (INEGI, 2015).

Esta alta densidad poblacional expresa una dinámica social, cultural y económica muy activa, convirtiendo a la Ciudad de México en un punto focal, de una metrópolis que se divide en 16 demarcaciones políticas, cada una con sus propias características sociales, económicas y geográficas. En total existen 670 localidades, de las cuales 33 son consideradas urbanas y 637 rurales (INEGI, 2015). Esta diversidad territorial refleja la complejidad y riqueza de la Ciudad de México, donde mezcla lo urbano y lo rural.

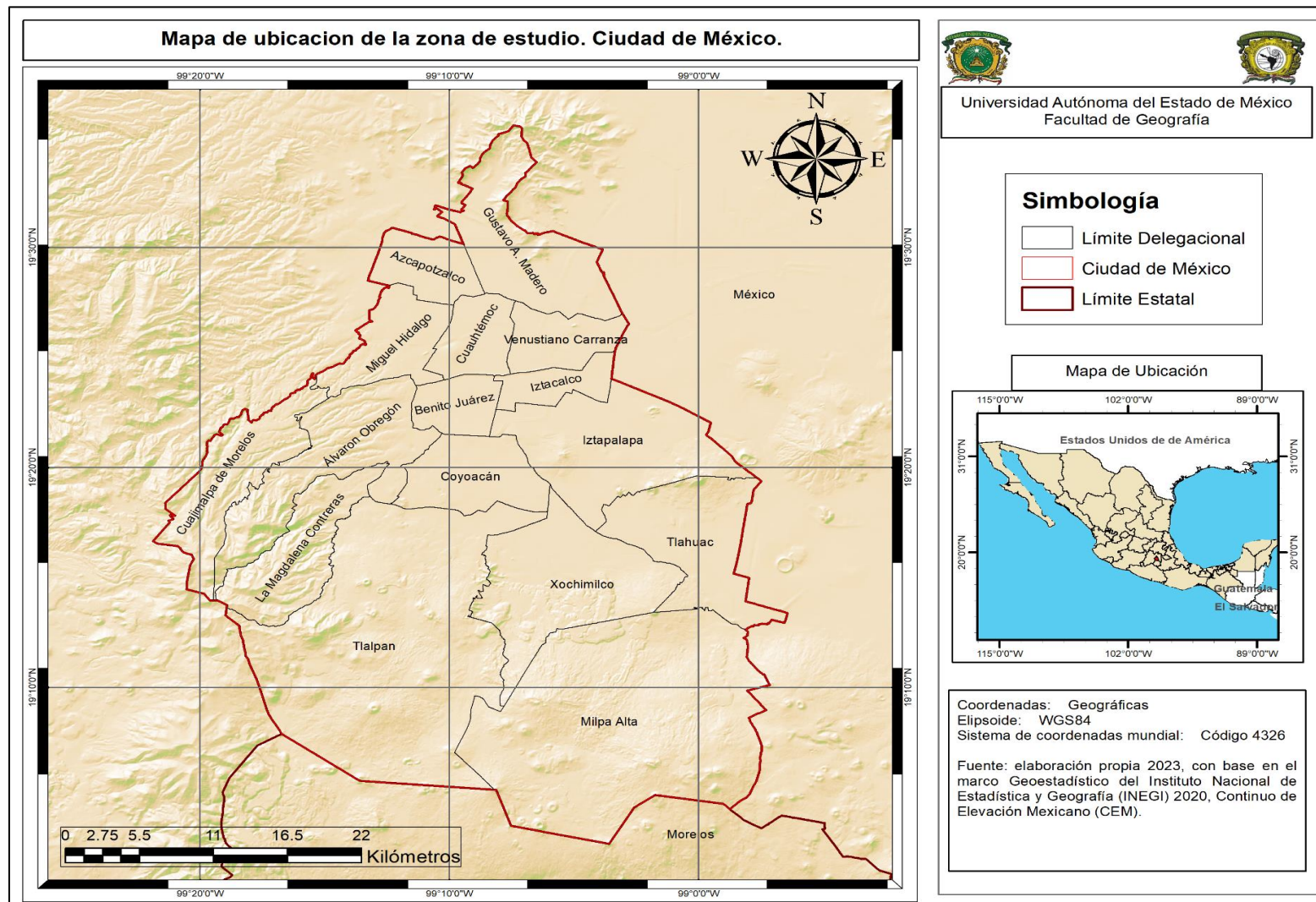
Su riqueza cultural se manifiesta en una amplia gama de expresiones artísticas, tradiciones y costumbres, en el ámbito económico, la Ciudad de México se posiciona como un centro financiero y comercial de gran importancia, empresas nacionales e internacionales tienen su sede en esta metrópolis, impulsando el desarrollo económico y generando oportunidades para las personas que ahí residen.



Sin embargo, la Ciudad de México también enfrenta desafíos importantes, como la desigualdad social, la contaminación ambiental y la congestión vehicular, por lo que comprender las dinámicas de esta metrópolis en constante cambio es esencial para comprender el presente y el futuro de México



Figura 2. 1 Ciudad de México. Localización geográfica, 2020.





Escala de análisis

El nivel de desagregación que se considera para desarrollar esta investigación es la alcaldía. La población que estará bajo estudio es la que habita en las alcaldías de la Ciudad de México, ya que en ella se encuentra la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA) la cual es responsable, entre otras funciones, de “la recolección de muestras de partículas suspendidas para su análisis gravimétrico y la determinación de metales pesados, por lo tanto, esta red está integrada por 10 sitios y utiliza equipos manuales para el muestreo que se realiza una vez cada seis días” (REDMA), (Figura 2.3).

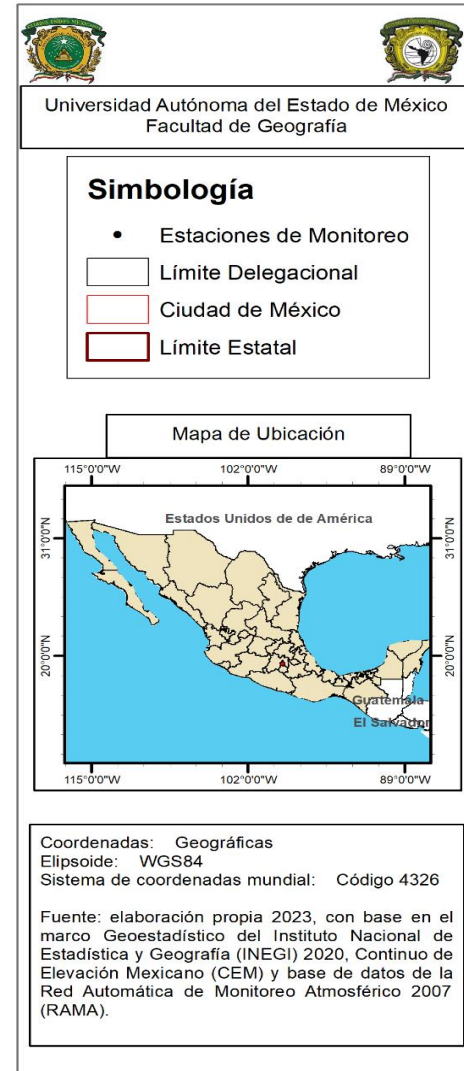
Figura 2. 2 Población total por alcaldía de la Ciudad de México en el año 2005 y 2015

Nombre de la alcaldía	Clave de la alcaldía	Población total año 2005	Población total año 2015
Álvaro Obregón	9010	706567	749982
Azcapotzalco	9002	425298	400161
Benito Juárez	9014	355017	417416
Coyoacán	9003	628063	608479
Cuajimalpa de Morelos	9004	173625	199224
Cuauhtémoc	9015	521348	532553
Gustavo A. Madero	9005	1193161	1164477
Iztacalco	9006	395025	390348
Iztapalapa	9007	1820888	1827868
La Magdalena Contreras	9008	228927	243886
Miguel Hidalgo	9016	353534	364439
Milpa Alta	9009	115895	137927
Tláhuac	9011	344106	361593
Tlalpan	9012	607545	677104
Venustiano Carranza	9017	447459	427263
Xochimilco	9013	404458	415933

Fuente: Elaboración propia 2023, con base en el marco Geoestadístico (2020), Censo de Población y Vivienda (2005 y 2015).



Figura 2. 3 Ubicación de estaciones de monitoreo atmosférico





Tipo de Investigación

Esta investigación es de tipo cuantitativo, transversal y comparativo. Es cuantitativo porque se utilizan datos numéricos oficiales de diferentes instituciones (Secretaría de Salud) y se emplearon métodos de análisis espacial (multivariante y método estadístico no paramétrico) para explicar el comportamiento de las diferentes variables como lo son mortalidad y morbilidad. Además, es transversal debido a que se analizaron datos de variables recopiladas en años específicos y también es comparativo porque se trabajó con dos periodos de tiempo con un análisis comparativo entre 2005 y 2015, para mostrar cómo ha evolucionado las EPOC con relación al material particulado en la zona de estudio.

Esquema metodológico y fuentes de información

Para lograr el objetivo general, se consideraron 3 fases de desarrollo: la primera consistió en estandarizar los datos de entrada, en la segunda etapa se emplearon los métodos y técnicas y en la última fase se analizaron los resultados tal y como se observa en la figura 2.4

Fase 1 Fuentes de Información

Consiste en la obtención de información mediante el acceso de datos abiertos por parte de diferentes instituciones del Gobierno de México, como lo son las bases de datos desarrolladas por la Secretaría de Salud (SSA: <http://sinaiscap.salud.gob.mx:8080/DGIS/>), los datos sobre el monitoreo de información atmosférica que realiza la Dirección De Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (<http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php>), y por último los datos



demográficos y la cartografía desarrollada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (<https://www.inegi.org.mx/>), mismas que serán procesadas y estandarizadas en el software Excel® y Geoda®.

Fase 2 Importancia de métodos y técnicas empleadas

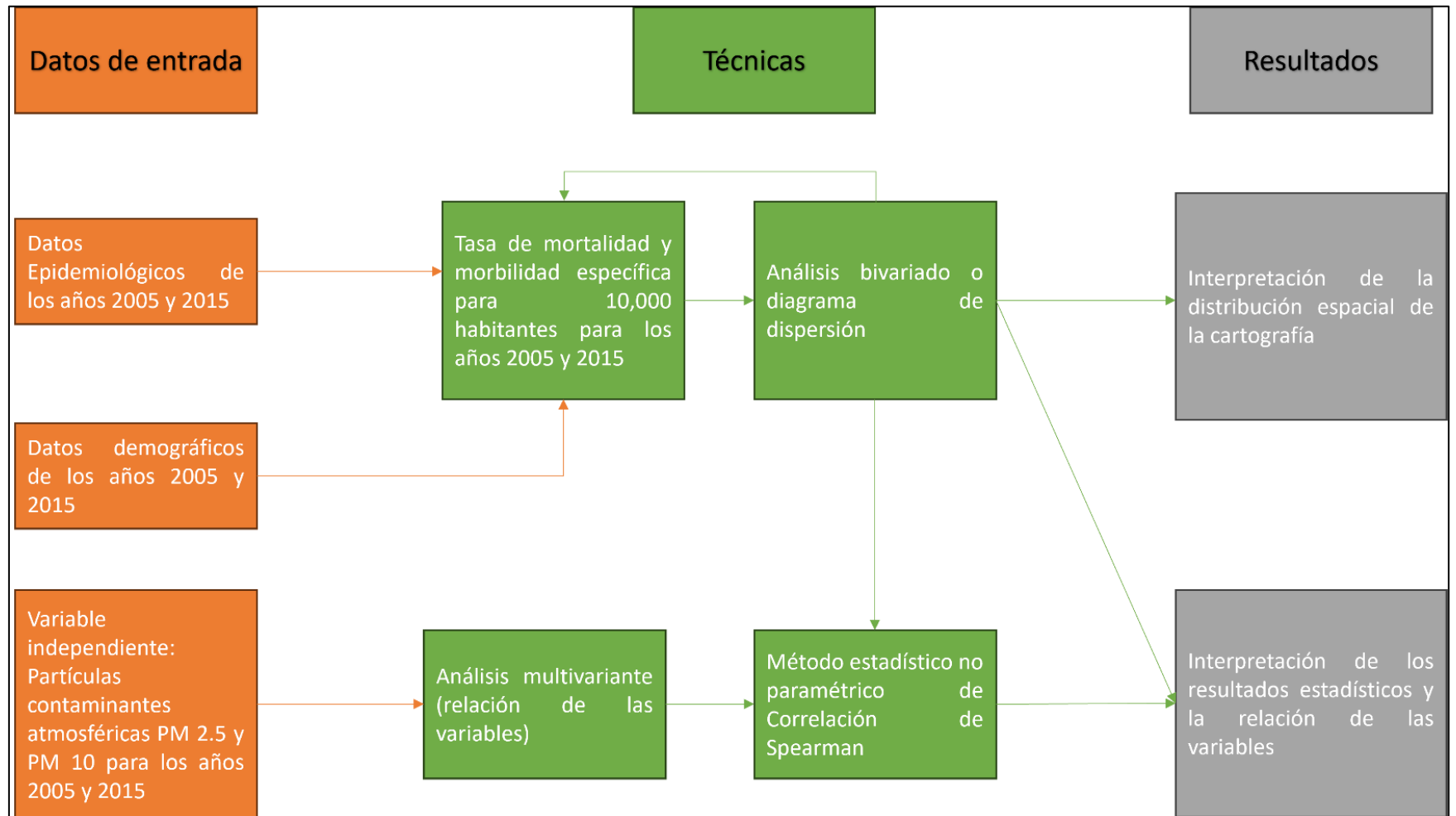
Consiste en obtener la tasa de mortalidad y morbilidad específica por cada 10,000 habitantes de EPOC para los años de estudio, y también realizar un análisis multivariante con los datos de las partículas contaminantes. Esta fase se desarrolla de manera amplia en el apartado de metodología ya que se ocupa la correlación de Spearman para observar que variables se relacionan con muestras pequeñas.

Fase 3 Resultados

Se incluye las interpretaciones de los análisis obtenidos de las técnicas, así como la generación de mapas utilizando Qgis 3.34.3.



Figura 2. 4 Esquema metodológico





Métodos y procesos

Moreno et al. (2000) señalan que “las tasas expresan la dinámica de un suceso en una población a lo largo del tiempo. Se pueden definir como la magnitud del cambio de una variable (enfermedad o muerte) por unidad de cambio de otra (usualmente el tiempo) en relación con el tamaño de la población que se encuentra en riesgo de experimentar el suceso. El cálculo de tasas se realiza dividiendo el total de eventos ocurridos en un periodo dado en una población entre el tiempo-persona total (es decir, la suma de los períodos individuales libres de la enfermedad) en el que los sujetos estuvieron en riesgo de presentar el evento. Las tasas se expresan multiplicando el resultado obtenido por una potencia de 10, con el fin de permitir rápidamente su comparación con otras tasas”.

Análisis de la tasa de mortalidad general por EPOC

Moreno et al. (2000) establecen que “la mortalidad general es el número de defunciones ocurridas por todas las causas de enfermedad, en todos los grupos de edad y para ambos sexos. La mortalidad general, que comúnmente se expresa en forma de tasa, puede ser cruda o ajustada, de acuerdo con el tratamiento estadístico que reciba”.

De igual manera que “la mortalidad cruda expresa la relación que existe entre el volumen de muertes ocurridas en un periodo dado y el tamaño de la población en la que éstas se presentaron; la mortalidad ajustada (o estandarizada) expresa esta relación, pero considera las posibles diferencias en la estructura por edad, sexo, etcétera, de las poblaciones analizadas, lo que permite hacer comparaciones entre éstas” (Moreno et al., 2000).



En este caso se utilizará la tasa de mortalidad ajustada o estandarizada, dado que se toma en consideración específicamente a la EPOC como objeto de estudio.

$$TME = \frac{\text{Número de muertes por EPOC en un año}}{\text{población promedio en el mismo año}} \times 10,000 \text{ habitantes}$$

Fuente: Indicadores de salud aspectos conceptuales y operativos, OPS, SD

Tasa de morbilidad por EPOC

Para Newcomer y Benjamin (1997) “los indicadores de morbilidad miden la frecuencia de problemas de salud específicos tales como infecciones, cánceres, accidentes en el trabajo, etc. Las fuentes de datos suelen ser registros de hospitales y servicios de salud, notificación de enfermedades bajo vigilancia y encuestas de cero prevalencias y de auto-reporte de enfermedad, entre otros. Cabe mencionar que las enfermedades crónicas, por su larga evolución, requieren de monitoreo de etapas clínicas, por lo que es preferible contar con registros de enfermedad (cáncer, defectos congénitos)”.

Morbilidad

$$= \frac{\text{número total de casos por EPOC existentes al momento}}{\text{total de la población en el momento}} \times 10,000 \text{ habitantes}$$

Fuente: Indicadores de salud aspectos conceptuales y operativos, OPS, SD

Las ecuaciones antes expuestas se realizan para los dos periodos de tiempo.



Partículas PM

La extracción de los datos PM serán obtenidos mediante la Dirección de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (<http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php>) la cual contiene un catálogo histórico de Datos recopilados mediante las estaciones que miden la calidad de aire en la ciudad. Una vez concluida la extracción de datos procederemos a seleccionar únicamente los años de estudio, así como los parámetros que nos servirán para procesar la información los cuales son PM_{2.5} y PM₁₀.

Correlación de Spearman

Martínez et al. (2009) mencionan que cuando las dos variables del estudio de correlación no tienen distribución normal se procederá con los rangos de mediciones para cada variable y que hay dos métodos de rango de correlación, uno de Spearman (1904) y otro de Kendall (Kendall, 1938; Kendall y BabingtonSmith, 1939). En caso de rango de correlación de Spearman, después de dar los rangos a cada medición de la variable se usará la ecuación siguiente para proceder con la operación.

$$r_s = 1 - [6 \sum d_i^2 / (n^3 - n)]$$

Donde, d_i = diferencia entre rangos de X y Y.

“El valor de r_s varía de “-1” hasta “+1” y no tiene unidad, sin embargo, este valor es diferente del valor de r calculado por el método de Pearson” (Badii et al., 2014).

El método de Spearman se utiliza para calcular la correlación entre dos variables cuando los datos no siguen una distribución normal o cuando se trabaja con escalas de medición ordinal.



A diferencia del método de Pearson, el método de Spearman no asume una distribución normal de los datos. Por lo tanto, es robusto frente a datos atípicos o cuando la distribución de los datos no es simétrica.

El método de Spearman mide la relación monotónica entre dos variables, lo que implica que cuando una variable aumenta, la otra tiende a aumentar o disminuir, pero no necesariamente a un ritmo constante. Esta relación no tiene por qué ser necesariamente lineal.

Es importante tener en cuenta que la correlación no implica causalidad. Es decir, solo porque dos variables estén correlacionadas, no significa necesariamente que una cause la otra. Pueden existir otros factores o variables ocultas que influyan en la relación observada.

Una vez obtenidos los resultados de las fórmulas para cada una de las variables, procedemos a realizar diferentes sentencias que nos ayuden a depurar de manera práctica las bases de datos, en el software *StudioR* así como se observa de la siguiente manera:

Hurtado et al. (2012) mencionan que “en el ámbito de las Ciencias Sociales es habitual el uso de pruebas no paramétricas puesto que existen muchas variables que no siguen las condiciones de parametricidad. Dichas condiciones se refieren al uso de variables cuantitativas continuas, distribución normal de las muestras, varianzas similares y tamaño de las muestras, mayor a 30 casos. En caso de que no se cumplan estos requisitos, y sobre todo cuando la normalidad de las distribuciones de la variable en estudio esté en duda y el tamaño de la muestra sea menor a 30 casos, el empleo de las pruebas no paramétricas o de distribución libre está indicado. Las pruebas no paramétricas reúnen las siguientes características:

- 1) son más fáciles de aplicar
- 2) son aplicables a los datos jerarquizados



- 3) se pueden usar cuando dos series de observaciones provienen de distintas poblaciones
- 4) son la única alternativa cuando el tamaño de muestra es pequeño
- 5) son útiles a un nivel de significancia previamente especificado”

De acuerdo con el párrafo citado, las condiciones que tienen los datos utilizados en esta investigación, tanto las tasas de mortalidad y morbilidad de una población, como de los datos que se obtuvieron sobre las partículas contaminantes, se cumplen para utilizar pruebas no paramétricas.

Se realizó la correlación no paramétrica: *Spearman*, a continuación, se muestra la sintaxis utilizada en el software RStudio.

Se instalaron los siguientes paquetes:

```
1 install.packages("tidyverse")
2 install.packages("rstatix")
3 install.packages("ggpubr")
```

Una vez que se han instalado las librerías es necesario llamarlas:



```
1 library (tidyverse)
2 library (rstatix)
3 library (ggpubr)
```

Posterior a ello, se establece un directorio de trabajo, que es una ruta de archivo en el ordenador que establece la ubicación predeterminada de cualquier archivo para que lo lea R; y también se llama a la base de datos que se encuentre es un tipo de archivo CSV, mediante las siguientes sentencias:

```
1 setwd("~/Tesis/Datos")
2 read.csv("ZBD_Promedio_Todo1.csv")->base3
3 head(base3)
```

Se puede obtener la correlación simple con el método de Spearman entre dos variables: Tasa de mortalidad por EPOC y el valor promedio de PM_{10} .

```
1 cor_test(base3, Tasa_Mor_05, prom_10_05, method = "spearman")
```



Resultado:

```
1 var1      var2      cor statistic  p method
2 <chr>     <chr>     <dbl>  <dbl> <dbl> <chr>
3 1 Tasa_Mor_05 prom_10_05 0.34    450 0.2 Spearman
```

Con las siguientes sentencias se realiza la correlación de Spearman con todas las variables:

```
rstatix::cor_mat(base3,      Tasa_Mor_05,      Tasa_Mor_15,      Tasa_Morbi_05,
1 Tasa_Morbi_15, prom_10_05, prom_25_05, prom_10_15, prom_25_15, method =
2 "spearman")->mspearman
mspearman
```

Donde:

1. Tasa_Mor_05: Tasa de mortalidad del año 2005
2. Tasa_Mor_15: Tasa de mortalidad del año 2015
3. Tasa_Mobi_05: Tasa de morbilidad del año 2005
4. Tasa_Morbi_15: Tasa de morbilidad del año 2015
5. Prom_10_05: Promedio de partículas contaminantes PM₁₀ del año 2005
6. Prom_25_05: Promedio de partículas contaminantes PM_{2.5} del año 2005
7. Prom_10_15: Promedio de partículas contaminantes PM₁₀ del año 2015



8. Prom_25_15: Promedio de partículas contaminantes PM_{2.5} del año 2015

Mediante la siguiente sentencia se visualiza el gráfico

```
1 rstatix::cor_plot(matriz)
```

Diagrama de dispersión

La clasificación bivariada tiene como objetivo determinar la existencia y las características de la relación entre dos variables haciendo referencia a la fuerza, el sentido y la forma de dicha relación. La representación gráfica de la correlación entre variables se hace posible a partir del diagrama de dispersión, que indica la localización de cada unidad espacial con respecto al eje de coordenadas X e Y.

La fórmula para calcular el coeficiente de correlación de Pearson (también conocido como "r de Pearson") entre dos variables X e Y se define de la siguiente manera:

$$r = \frac{\sum((X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}))}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Donde:

r es el coeficiente de correlación de Pearson.

X_i representa cada valor individual en la variable X.

Y_i representa cada valor individual en la variable Y.

\bar{X} es la media de la variable X.

\bar{Y} es la media de la variable Y.



El símbolo \sum indica la suma sobre todos los valores de i , es decir, se suman todos los elementos de las variables X e Y .

Esta fórmula calcula la covarianza entre X e Y dividida por el producto de las desviaciones estándar de X e Y . El coeficiente de correlación resultante, r , proporciona información sobre la fuerza y la dirección de la relación lineal entre las dos variables. Puede tomar valores en el rango de -1 a 1 , donde -1 indica una correlación negativa perfecta, 1 indica una correlación positiva perfecta y 0 indica ausencia de correlación lineal.

Este coeficiente arroja valores que van entre $+1$ y -1 , indicando una correlación positiva perfecta y una correlación negativa perfecta respectivamente. Un valor 0 da cuenta de una correlación nula señalando una distribución aleatoria de los datos. La recta de regresión lineal es una medida que resume la distribución de los datos posibilitando el análisis del sentido de la relación (Humacata, 2020).



Capítulo 3. Resultados



Distribución de los contaminantes atmosféricos $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las alcaldías de la Ciudad de México, para los años 2005 y 2015

Para inicios del año 2015 se muestra una alta concentración de las partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} en la atmósfera, esto derivado de las diferentes actividades culturales que se practican en todo el país, a causa de a esto se puede observar que en los meses de octubre a noviembre se registran valores que superan el inicial, haciendo que los últimos tres meses sean los de mayor concentración atmosférica en gran parte de las alcaldías de la Ciudad de México. Hecho que pudiera incidir negativamente en la situación de la salud de la población.

Comparación de la distribución espacial de la EPOC en las alcaldías de la Ciudad de México para los años 2005 y 2015.

Una vez aplicando las fórmulas para determinar los resultados se muestra que en algunas estaciones los valores son nulos, esto debido a la falta de datos. Por otro lado, se tienen valores significativos para algunas zonas de la ciudad, específicamente en la parte norte de la ciudad, en las alcaldías de Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Coyoacán, Iztacalco, La Magdalena Contreras, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco. Cabe destacar que la tabla mostrada en la figura 3.3 contiene los resultados obtenidos en los años de estudio (2005 y 2015), allí mismo se indica el número de estaciones presentes en las alcaldías de la Ciudad de México, de igual manera los datos en cuanto a la tasa de morbilidad y mortalidad de cada una de las alcaldías.



Relación entre la EPOC y las partículas contaminantes atmosféricas PM_{2.5} y PM₁₀ en las alcaldías de la Ciudad de México, para el año 2015.

Las defunciones por la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) en la Ciudad de México en los años 2005 tienen una tasa de 28.40 menor que la del año 2015, la cual le corresponde una tasa de 31.28 siendo el año con la tasa más alta en comparación con 2005, tal y como se observa en la (figura 3.5).

Debido a la baja cantidad de datos que emitieron las estaciones de la Ciudad de México, las defunciones y egresos emitidos por la Secretaría de Salud en los años 2005 y 2015, se deriva el resultado de que la relación que existe entre cada una de las variables es baja. Existe una relación entre el promedio de las PM₁₀ y las PM_{2.5} en el 2005 en la tasa de morbilidad y mortalidad en el mismo año.

Montes et al. (2021) argumentan que la

“interpretación de los resultados en pruebas de Spearman

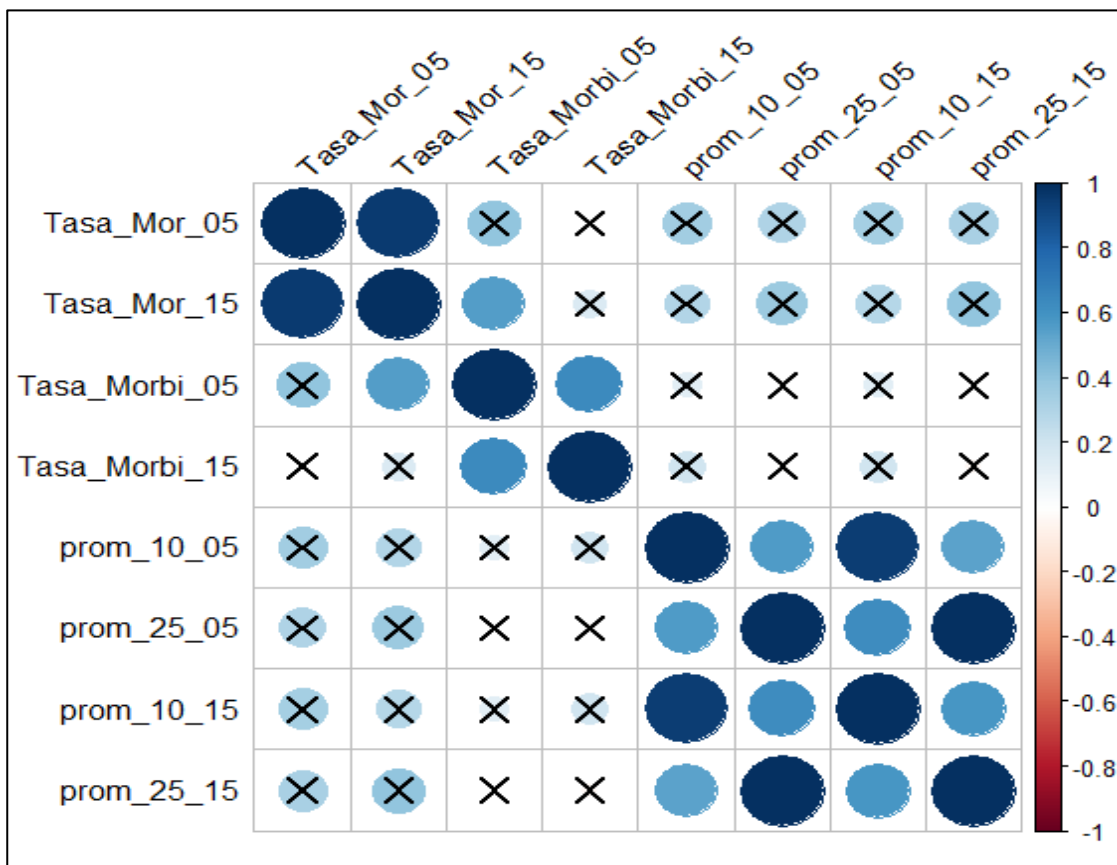
El coeficiente de correlación de rangos de Spearman puede puntuar desde -1.0 hasta +1.0 y se interpreta así:

- Los valores cercanos a +1.0 indican que existe una fuerte asociación entre las clasificaciones, es decir, que a medida que aumenta un rango el otro también lo hará
- Los valores cercanos a -1.0 señalan que existe una fuerte asociación negativa, es decir que a medida que aumenta un rango el otro decrece.
- Cuando el valor es 0.0 significa que no existe relación alguna”.

Por otro lado, los datos de la mortalidad y la morbilidad del 2015 tienen una relación intermedia con respecto a las PM₁₀ y PM_{2.5}, lo cual quiere decir que los datos recopilados este año siguen siendo insuficientes para establecer una fuerte relación entre ambas variables.



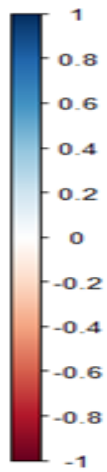
Figura 3. 1 Gráfica de Spearman



Fuente: Elaboración propia 2023, con datos de la Secretaría de Salud de la Ciudad de México (SEDESA), Dirección General de Diseño de Políticas, Planeación y Coordinación Sectorial (DGDPPCS), Dirección de Información en Salud y Sistemas Institucionales (DISSI) y Sistema Automatizado de Egresos Hospitalarios (SAEH) (2005 y 2015).



Simbología



Los valores cercanos a $+1.0$ indican que existe una fuerte asociación entre las clasificaciones.

Cuando el valor es 0.0 significa que no existe relación.

Los valores cercanos a -1.0 señalan que existe una fuerte asociación negativa.



Figura 3. 2 Monitoreo atmosférico de las partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros en la Ciudad de México, 2015.



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA). Disponible en: <https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/red-automatica-de-monitoreo-atmosferico/resource/ebc079e5-bd11-4830-b595-14292f75357>



Figura 3. 3 Datos de morbilidad y mortalidad de la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) en la Ciudad de México en los años 2005 y 2015.

Municipio	EPOC 2005	EPO C 2015	Pob 2005	Pob 2015	Tasa Mortalidad 2005	Tasa Mortalidad 2015	Tasa Morbilidad 2005	Tasa Morbilidad 2015	prom_10_0 5	prom_25_0 5	prom_10_1 5	prom_25_1 5
9010 Álvaro Obregón	106	121	706567	749982	1.50	1.61	0.00	0.52	376.12	150.27	307.70	132.69
9002 Azcapotzalco	95	100	425298	400161	2.23	2.50	0.00	0.00	228.50	60.91	128.18	55.10
9014 Benito Juárez	105	122	355017	417416	2.96	2.92	0.90	0.38	117.40	124.83	74.99	110.17
9003 Coyoacán	110	143	628063	608479	1.75	2.35	0.00	0.00	179.55	221.94	110.36	196.47
9004 Cuajimalpa de Morelos	19	23	173625	199224	1.09	1.15	0.00	0.00	155.40	24.98	123.81	21.99
9015 Cuauhtémoc	146	138	521348	532553	2.80	2.59	0.50	0.28	214.53	76.92	139.12	64.60
9005 Gustavo A. Madero	244	291	1193161	1164477	2.04	2.50	0.33	0.15	648.14	100.57	395.48	100.95
9006 Iztacalco	84	92	395025	390348	2.13	2.36	0.03	0.00	1274.38	196.52	436.84	155.55
9007 Iztapalapa	223	283	1820888	1827868	1.22	1.55	0.15	0.38	1436.13	239.36	564.63	178.98



9008 La Magdalena Contreras	38	40	228927	243886	1.66	1.64	0.00	0.00	202.06	105.49	173.98	93.02
9016 Miguel Hidalgo	106	94	353534	364439	3.00	2.58	0.82	0.58	618.19	8.04	255.97	7.03
9009 Milpa Alta	9	19	115895	137927	0.78	1.38	2.07	0.80	69.01	2.88	5.58	2.10
9011 Tláhuac	35	36	344106	361593	1.02	1.00	0.00	0.47	417.89	50.04	140.92	37.14
9012 Tlalpan	71	95	607545	677104	1.17	1.40	0.00	0.22	72.31	44.72	57.86	39.48
9017 Venustiano Carranza	88	110	447459	427263	1.97	2.57	0.58	1.22	1461.35	243.05	483.08	202.46
9013 Xochimilco	44	49	404458	415933	1.09	1.18	0.00	0.00	177.03	33.62	42.22	27.02

Fuente: Elaboración propia 2023, con base en el marco Geoestadístico (2020), Censo De población y Vivienda (2005 y 2015); Secretaría de Salud de la Ciudad de México (SEDESA), Dirección General de Diseño de Políticas, Planeación y Coordinación Sectorial (DGDPPCS), Dirección de Información en Salud y Sistemas Institucionales (DISSI) y Sistema Automatizado de Egresos Hospitalarios (SAEH) (2005 y 2015)

Donde:



EPOC 2005: Defunciones totales por EPOC al 2005

EPOC 2015: Defunciones totales por EPOC al 2015

Pob 2005: Población total del año 2005

Pob 2015: Población total del año 2015

Tasa Mortalidad 2005: Tasa de mortalidad específica por EPOC del año 2005 por un factor de 10000habitantes

Tasa Mortalidad 2015: Tasa de mortalidad específica por EPOC del año 2015 por un factor de 10000habitantes

Tasa Morbilidad 2005: Tasa de morbilidad específica por EPOC del año 2005 por un factor de 10000habitantes

Tasa Morbilidad 2015: Tasa de morbilidad específica por EPOC del año 2015 por un factor de 10000habitantes

Prom_10_05: Promedio de partículas contaminantes PM_{10} del año 2005

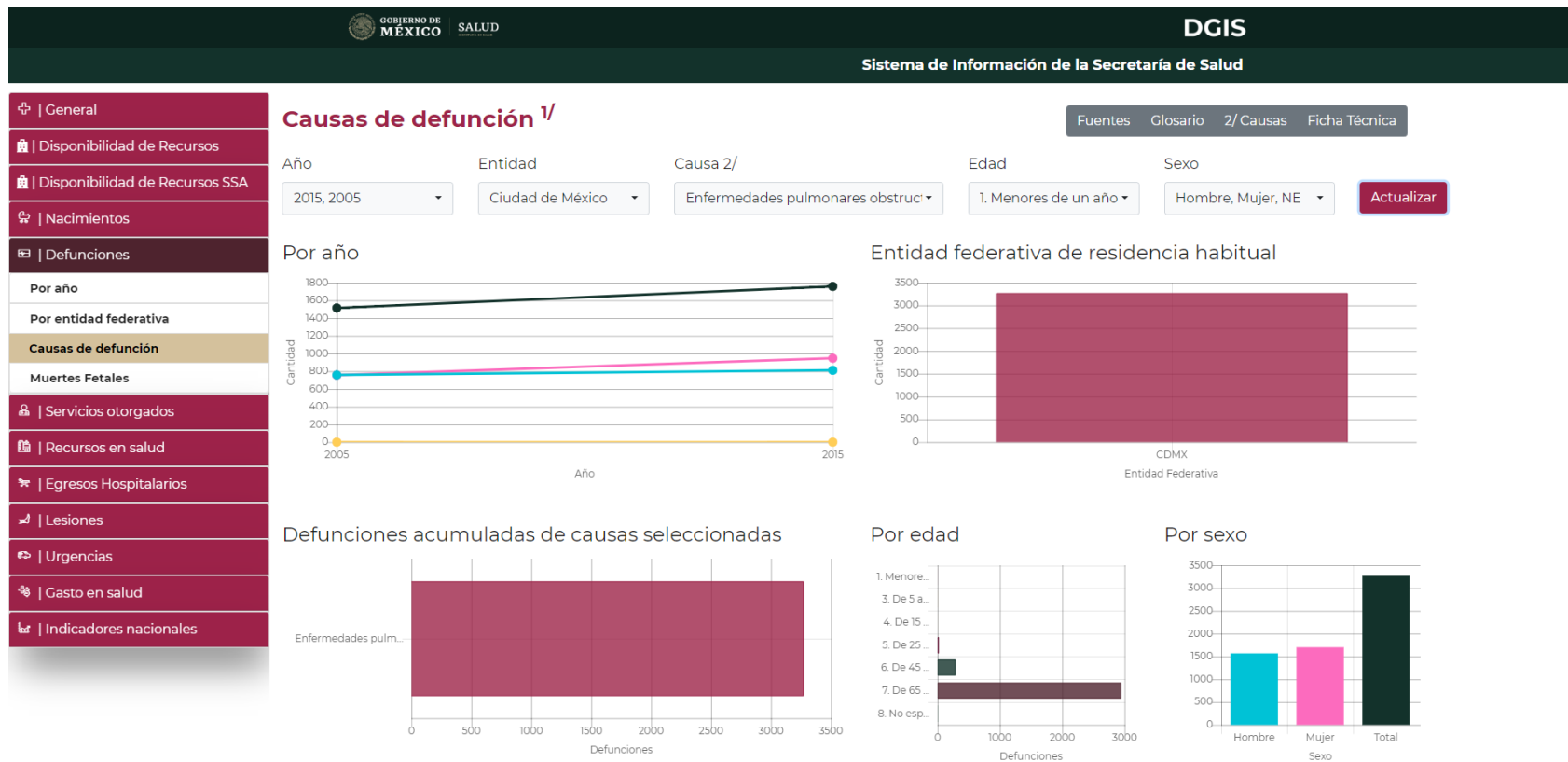
Prom_25_05: Promedio de partículas contaminantes $PM_{2.5}$ del año 2005

Prom_10_15: Promedio de partículas contaminantes PM_{10} del año 2015

Prom_25_15: Promedio de partículas contaminantes $PM_{2.5}$ del año 2015



Figura 3. 4 Defunciones por la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) en la Ciudad de México en los años de 2005 y 2015.



Fuente: Secretaría de Salud/Subsecretaría de Integración y Desarrollo del Sector Salud/Dirección de Información en Salud con base en la información oficial de defunciones INEGI/SS 1979-201



Los valores más altos de las $PM_{2.5}$ del año 2005 se concentran al norte de la Ciudad de México en las delegaciones Coyoacán, Iztapalapa, Álvaro Obregón y Magdalena Contreras, así como la delegación Venustiano Carranza, que presentan valores altos (figura 3.5). Las $PM_{2.5}$ en el año 2005 indica que las mismas delegaciones tienen valores altos agregando a la alcaldía Miguel Hidalgo en el norte de la Ciudad de México (figura 3.6). La relación entre ambas figuras respecto a la morbilidad del año 2005, que registra valores altos en algunos municipios ya mencionados como Venustiano Carranza, Gustavo A. Madero, Miguel Hidalgo, Benito Juárez y Cuauhtémoc, todos ubicados dentro de los altos valores de $PM_{2.5}$ y PM_{10} (figura 3.9)

Por otro lado, se señala que la mortalidad en el año 2005 está altamente relacionada con las partículas PM_{10} , ya que la mayoría de las delegaciones del norte, este y oeste tienen valores altos (figura 3.10).

En la figura de 3.7 de las $PM_{2.5}$ para el año 2015 observamos valores altos en algunas delegaciones como se mencionaba para el año 2005, tales como Iztapalapa, Coyoacán, Magdalena y Venustiano Carranza, en contraste, tenemos que las PM_{10} de la figura 3.8 para el mismo año incrementa su valor agregando solo una delegación, siendo esta Miguel Hidalgo. Ambas figuras tienen una relación con los datos de morbilidad y mortalidad como se puede observar en la figura 3.9 de morbilidad, hoy presentan valores altos al norte de la ciudad como es la delegación Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Coyoacán, Miguel Hidalgo como una de las principales delegaciones con mayor número de pérdidas. Para este año se puede observar en la figura 3.10 que la tasa de mortalidad se ve afectada en distintas delegaciones al norte, este y oeste de la ciudad, tales como Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Miguel Hidalgo, Benito Juárez Coyoacán y Álvaro Obregón.



Para las PM_{10} en los años 2005 y 2015 se tiene como principal diferencia que en el año 2005 los valores son altos en la parte noroeste de la ciudad, en las alcaldías de Iztapalapa, Iztacalco y Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero por lo tanto en el año 2015 estas mismas alcaldías tienen valores menores, pero crecen en algunas delegaciones del noroeste de la ciudad tales como la Magdalena Contreras y Miguel Hidalgo.

Tomando en cuenta la misma comparación las partículas $PM_{2.5}$ para ambos años, presentan una alta relación en cuanto a los datos, además de tener valores altos en las mismas delegaciones en la parte del norte y centro de la Ciudad de México.

Conclusiones y recomendaciones

Los principales hallazgos del estudio son que existe una correlación débil a moderada entre el promedio de las concentraciones de PM_{10} en 2005 y la tasa de morbilidad y mortalidad del mismo año, aunque esta correlación no es estadísticamente significativa.

De manera similar, se observa una correlación débil a moderada entre el promedio de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en 2015 y la tasa de morbilidad y mortalidad de 2015, sin que esta relación alcance significancia estadística.

En contraste, se encuentra una correlación fuerte entre el promedio de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en 2015 y el promedio de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en 2005, así como entre el promedio de las concentraciones de PM_{10} en 2015 y el promedio de las concentraciones de PM_{10} en 2005.

Las técnicas empleadas en esta investigación como la correlación de *Spearman*, los promedios totales del material particulado y las tasas de mortalidad y morbilidad, contribuyeron a los resultados gráficos de las relaciones estadísticas de cada una de las variables que se mencionan, aunque debido a la falta de información en las bases de datos tanto en la morbilidad, mortalidad y los datos de las partículas



contaminantes atmosféricas, únicamente se logra observar una relación mínima entre las variables.

La bibliografía consultada en esa investigación ayudó a determinar cuáles variables eran importantes e indispensables para analizar la relación estas variables, como es la mortalidad y morbilidad por EPOC y el material particulado en los años de estudio en dicha problemática.

Los resultados obtenidos argumentan que las variables consideradas tienen relación entre la morbilidad y la mortalidad con las partículas contaminantes. $PM_{2.5}$ y las PM_{10} , las cuales gráficamente se pueden observar en los mapas generados (figuras 3.3 a la 3.8). Los hallazgos muestran que en la parte norte de la Ciudad de México existe una mayor concentración de las partículas de las estaciones que recopilan los datos; por otro lado, la relación que se observa es muy baja, pero se relacionan en donde se registran los puntos más altos de los contaminantes, de tal forma que se logran los objetivos específicos y el general.

Es importante recalcar que las estaciones en el área de estudio pueden presentar un mal funcionamiento o quizá fueron deshabilitadas por mantenimiento, dato que podría repercutir en los resultados esperados, por ello las recomendaciones de esta investigación van dirigidas a los departamentos correspondientes para que con ello analicen la importancia de un buen estudio estadístico-geográfico que ayude a los habitantes de dicho lugar a tomar diversas decisiones para el cuidado del sistema respiratorio humano, así como también un buen manejo del uso de los diversos combustibles que dan origen a la concentración de las partículas contaminantes atmosféricas en la Ciudad de México. Aunado a ello, considerar las acciones que se realizan para la conservación del entorno en donde se vive, por ejemplo, el medio ambiente.

Debido a la cantidad disminuida de datos que emitieron las estaciones de la Ciudad de México, las defunciones y egresos emitidos por la Secretaría de Salud en los años respectivos, se llega a la conclusión de que la relación que existe entre cada



una de las variables es baja. Existe una relación entre el promedio de las PM_{10} y las $PM_{2.5}$ en el 2005 en cuanto a la tasa de morbilidad y mortalidad del mismo año. Los valores rondan entre 0.2 y 0.4, es decir, la relación es baja.

Jáuregui (2000) argumenta la relevancia del viento en la distribución de partículas contaminantes en un área específica. Durante ciertos periodos, como por la tarde en estaciones con baja precipitación, predominan vientos provenientes de la planicie montañosa al oeste de la ciudad, así como flujos del sur en la parte oriental. Además, señala la presencia de circulación ciclónica en el norte, generando un remolino que influye en la dirección del viento hacia la zona urbana.

Durante la noche, en estas estaciones, los vientos descienden por las laderas montañosas hacia el oeste y el sur de la ciudad, lo que crea un patrón convergente que dificulta la dispersión de contaminantes hacia el exterior. Esta combinación de factores, junto con la formación de inversiones térmicas, contribuye a situaciones críticas de contaminación atmosférica en la Ciudad de México en esa época del año, especialmente al amanecer.

En contraste, durante estaciones lluviosas, los vientos tienden a fluir mayoritariamente del norte o noreste, transportando contaminantes de norte a sur y acumulándolos en el extremo sureste de la ciudad. Estos patrones de viento tienen importantes implicaciones en la dispersión y concentración de contaminantes en diferentes áreas urbanas, lo que subraya la importancia de comprender la dinámica atmosférica regional para abordar eficazmente los problemas de calidad del aire.

Según Maguey (2022), en un artículo del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la Universidad Autónoma de México titulado "A más contaminación, más problemas de salud", se advierte sobre la necesidad de ser cautelosos con los datos y estimaciones provenientes de organismos internacionales. Estos datos a menudo establecen correlaciones entre niveles de contaminación y efectos en la salud, extrapolando cifras sin considerar las



condiciones específicas de las personas que residen en entornos urbanos contaminados.

El autor resalta la importancia de contextualizar adecuadamente los datos sobre contaminación y salud, teniendo en cuenta factores como la edad, condiciones de salud preexistentes, exposición individual a contaminantes y otros aspectos que pueden modular la relación entre contaminación atmosférica y efectos en la salud humana. Esto sugiere la necesidad de utilizar análisis y modelos más sofisticados que consideren las características particulares de cada población y su exposición real a contaminantes atmosféricos, para así generar estimaciones más precisas y relevantes desde el punto de vista de la salud pública.

Las problemáticas actuales que vivimos con relación al medio ambiente son de vital importancia, este tipo de investigaciones nos apoyan a mejorar e implementar la toma de decisiones que nos propician el desarrollo y progreso del entorno, tal y como se está viviendo hoy actualmente en la Ciudad de México, se perciben grandes cantidades de contaminantes atmosféricos que dan origen a enfermedades principalmente de tipo respiratorio, sumado al deterioro del medio ambiente, es por ello que dichas recomendaciones van dirigidas a los responsables que actualmente gobiernan en las alcaldías de la Ciudad de México, con el propósito de mejorar el funcionamiento de las estaciones e implementar algunas otras en zonas donde la información carezca.



Figura 3. 5 Mapa de partículas contaminantes PM10 de la Ciudad de México del año 2005.

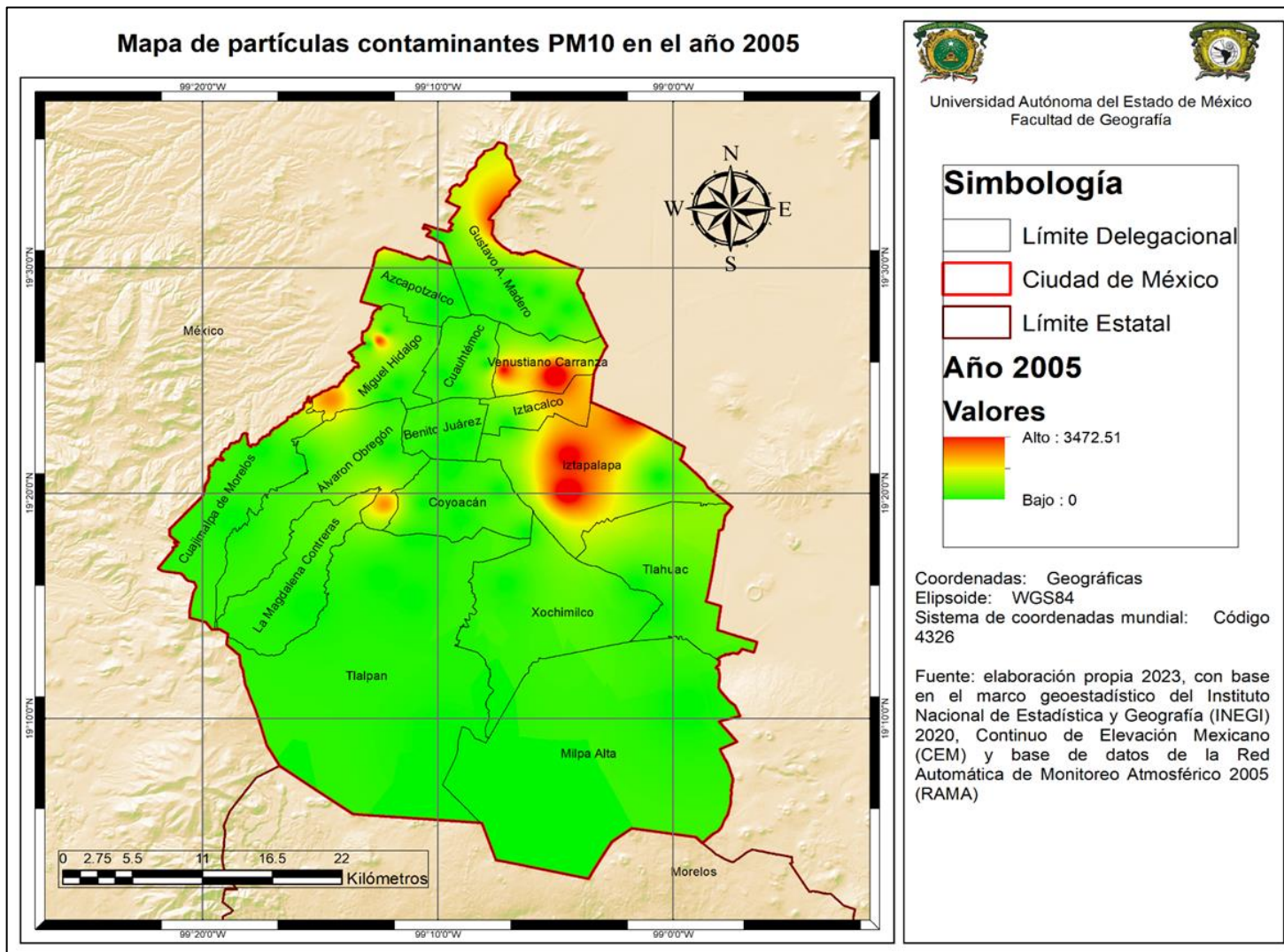




Figura 3. 6 Mapa de partículas contaminantes PM2.5 de la Ciudad de México del año 2005

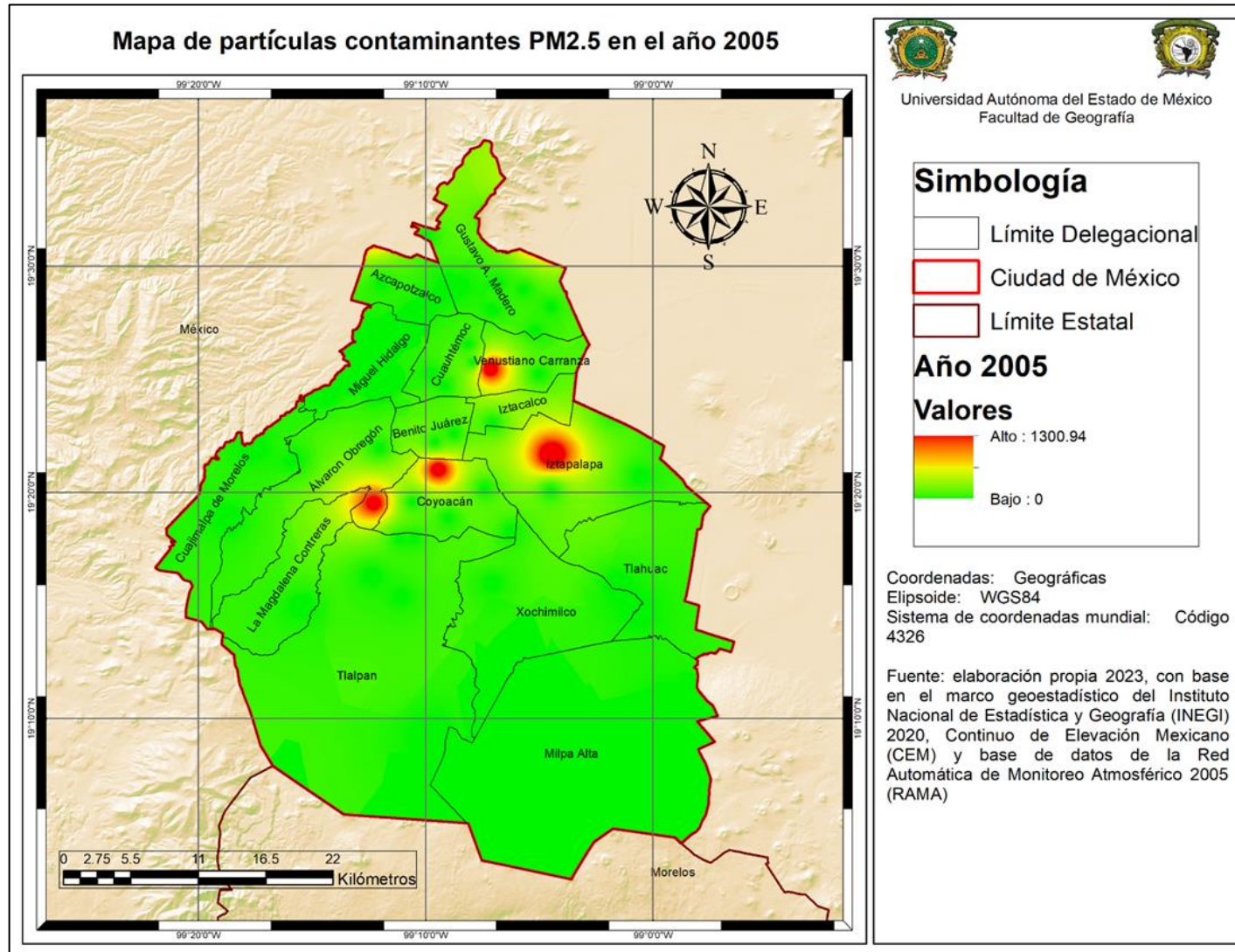




Figura 3. 7 Mapa de partículas contaminantes PM2.5 de la Ciudad de México del año 2015

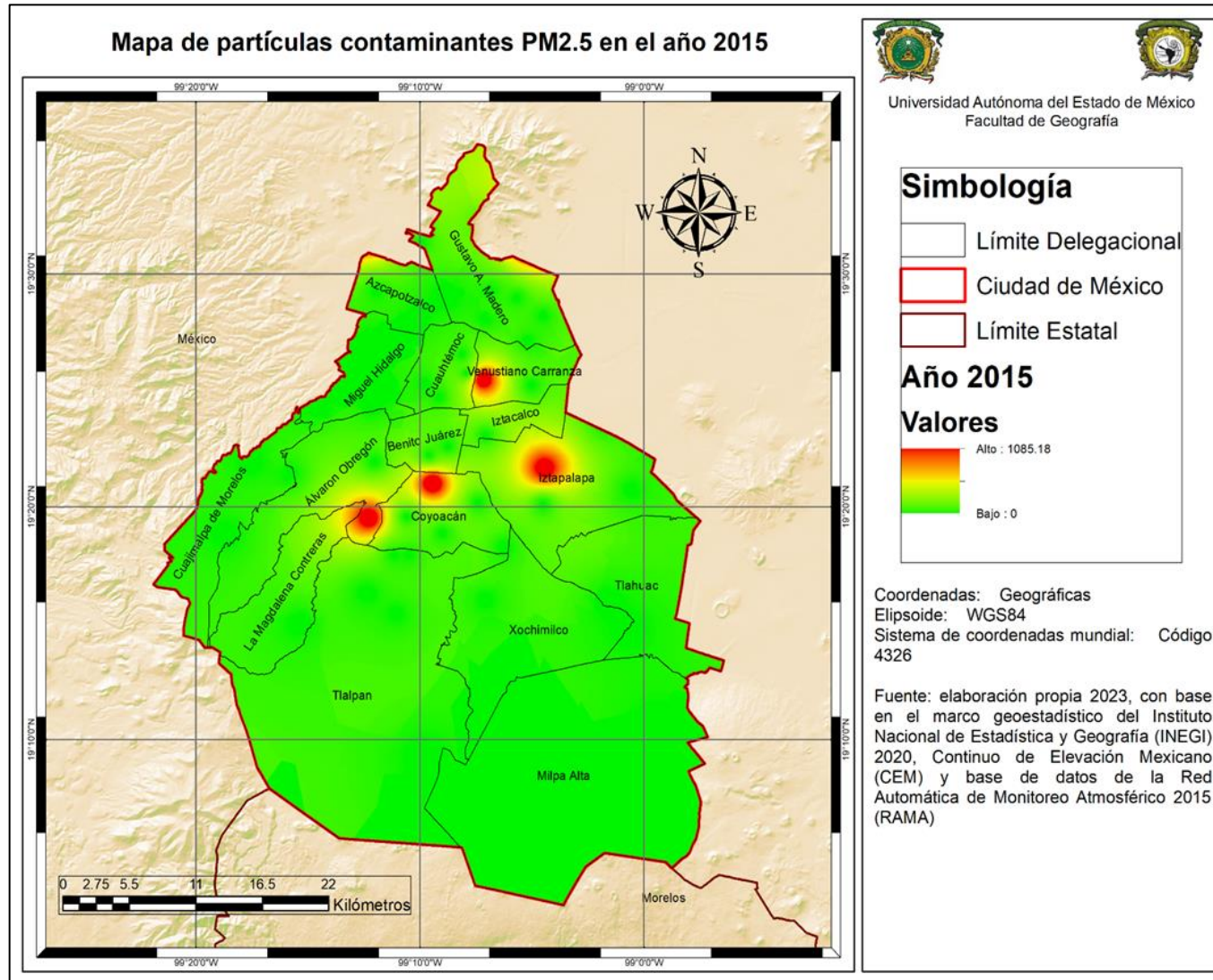




Figura 3. 8 Mapa de partículas contaminantes PM10 de la Ciudad de México del año 2015

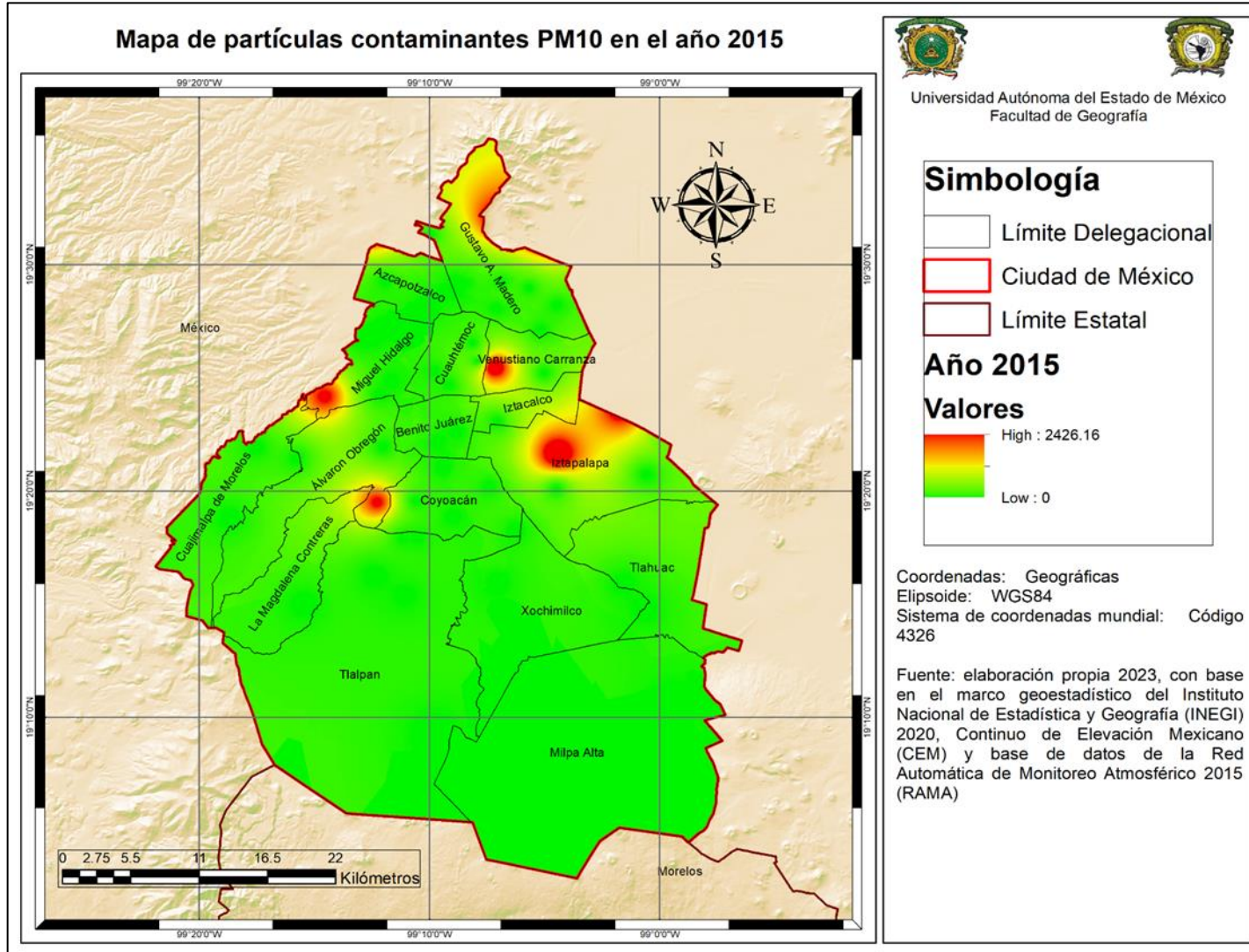




Figura 3. 9 Mapa de tasa de morbilidad de la Ciudad de México, años 2005 y 2015

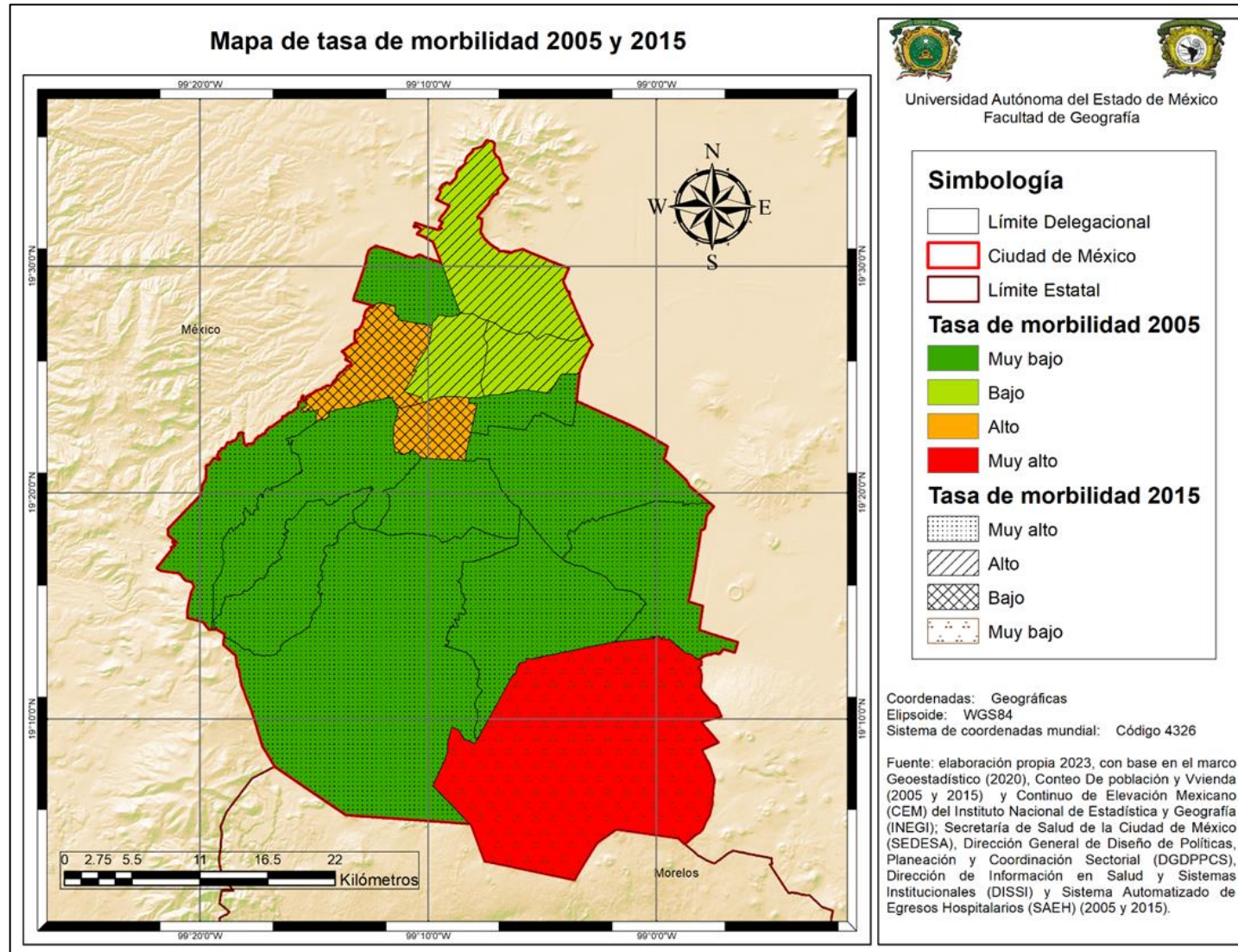
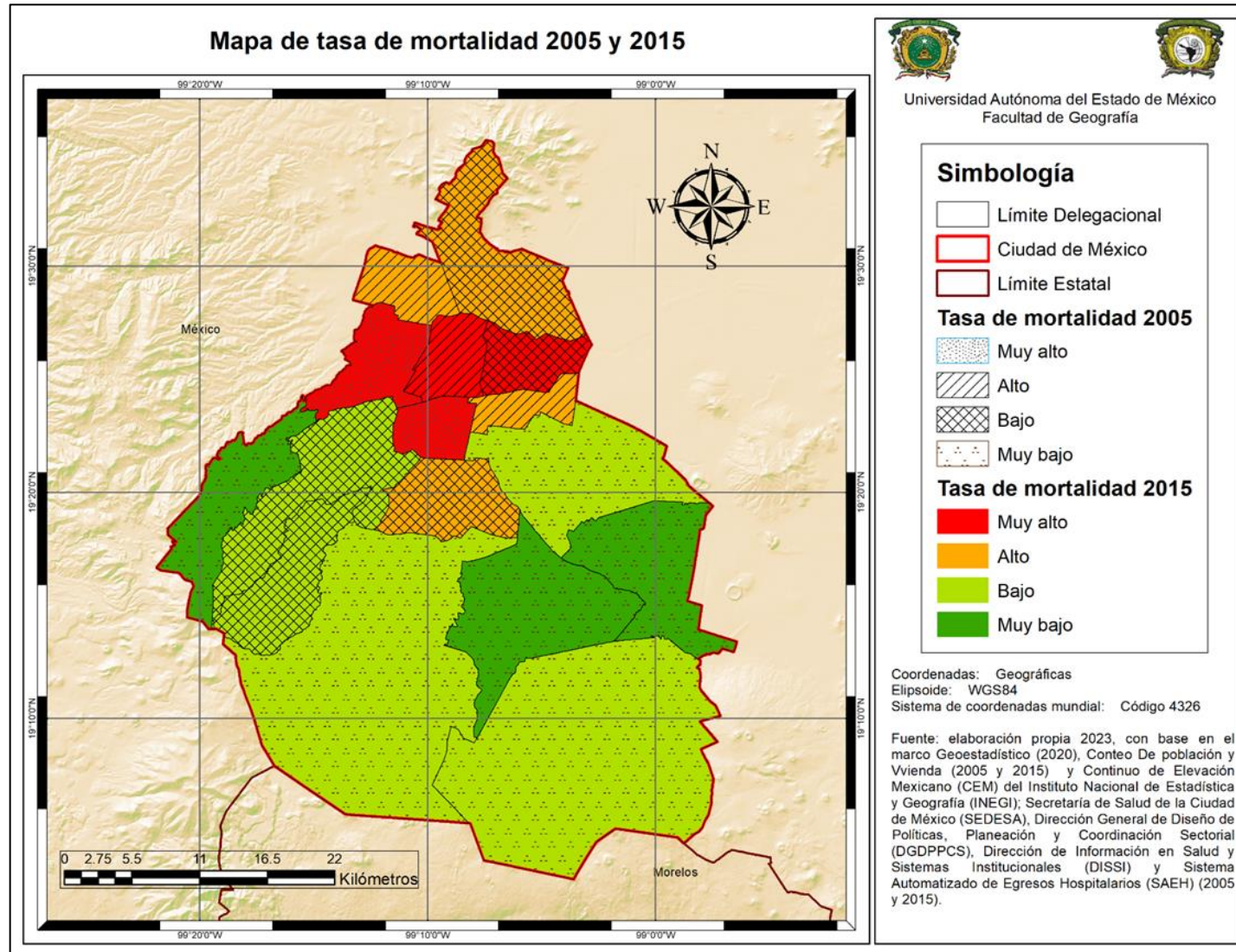




Figura 3. 10 Mapa de tasa de morbilidad de los años 2005 y 2015 en la Ciudad de México





Referencias bibliográficas

Aeroterra (s/f). SIG. Recuperado de <https://www.aeroterra.com/es-ar/que-es-gis/introduccion>

Alfonso F. (2006). Sistemas de información geográfica. Murcia. Disponible en: <https://www.rua.unam.mx/portal/recursos/ficha/72591/sistemas-de-informacion-geografica>

Agencia Para Sustancias Tóxicas y El Riesgo De Enfermedades (ATSDR). (2019). Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/3/es_lecturenotes.html

Badii H., Guillen A., Serrato L., Aguilar G. (2014). Correlación No-Paramétrica y su aplicación en la investigación científica. International Journal of Good Conscience. Vol 2. Pp. 31-40. Disponible en: [http://www.spentamexico.org/v9-n2/A5.9\(2\)31-40.pdf](http://www.spentamexico.org/v9-n2/A5.9(2)31-40.pdf)

Balderas E (2018). Patrones De Distribución De Enfermedades Respiratorias Y Su Relación Con La Temperatura Mínima Y Grado De Marginación En El Estado De México Para El Año 2010. (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México.

Barcellos C., Buzai G. y Santana P., (2018). Geografía de la salud: bases y actualidad. Salud colectiva, Vol. 14 (1). Pp. 1-4. Disponible en <https://dx.doi.org/10.18294/sc.2018.1763>

Bassols N. y Ruiz. A, (2008). Geografía. México: Dirección General de Bachillerato.

Brunekreef, B., & Holgate, S. T. (2002). Air pollution and health. The Lancet, 360(9341), 1233-1242



- Bustamante C. (2015). La morfología urbana y su relación con el uso estancial del espacio público abierto en territorios con vientos fuertes y climas fríos. El caso de la ciudad Punta Arenas, Región de Magallanes, Chile. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: https://oa.upm.es/40146/1/CARLOS_BUSTAMANTE_OLEART.pdf
- Ceriello, A. (2006). Controlling Oxidative Stress as a Novel Molecular Approach to Protecting the Vascular Wall in Diabetes. *Curr Opin Lipidol*, vol 17, núm. 5, pp. 510-518.
- Chow, C. y Watson J. (1997). Imperial Valley / Mexicali Cross Border PM₁₀ Transport Study, *Desert Journal of Environmental Protection*. México. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00282-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00282-4)
- Clinic Barcelona. Universidad de Barcelona. (2018). Disponible en: <https://www.clinicbarcelona.org/asistencia/enfermedades/enfermedad-pulmonar-obstructiva-cronica-epoc>
- Cloke, P., Crang, P., & Goodwin, M. (2004). *Envisioning Human Geographies*. London: Routledge.
- Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H. R., Frostad, J., Estep, K., ... y Feigin, V. L. (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*, 389(10082), 1907-1918
- Constanza L y Muñoz M. (2012). Estrés oxidativo: origen, evolución y consecuencias de la toxicidad del oxígeno. *Nova*. Vol. 10 Pp. 135-250
- De Pietri D, Dietrich, P, Mayo P, Carcagno A. (2011). Evaluación multicriterio de la exposición al riesgo ambiental mediante un sistema de información geográfica en Argentina. *Rev Panam Salud Publica*. Vol. 30 (4) Pp. 377–387. Disponible en:



http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49892011001000012

- De Pietri D. y García S. (2012). Territorio, Salud Ambiental y Desigualdades en “sitios contaminados”. Estratificación epidemiológica y expresiones territoriales de los riesgos. Salud y territorio Aplicaciones prácticas de los sistemas de información geográfica para la salud ambiental. Sociedad Española de Sanidad Ambiental. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/262602542_Territorio_salud_ambiental_y_desigualdades_sociales_en_sitios_contaminados_Estratificacion_epidemiologica_y_expresiones_territoriales_de_los_riesgos
- Dergham M, Lepers C, Verdin A, Cazier F, Billet S, Courcot D. (2015). Temporal-spatial variations of the physicochemical characteristics of air pollution particulate matter (PM_{2.5-0.3}) and toxicological effects in human bronchial epithelial cells (BEAS-2B). Vol. 137 Pp. 256-67. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.12.015>
- Foro de las Sociedades Respiratorias Internacionales (FSRI) (2017). El impacto global de la Enfermedad Respiratoria. México: Asociación Latinoamericana de Tórax.
- Gaviria C, Benavides P, Tangarife C. (2011). Contaminación por material particulado (pm_{2,5} y PM₁₀) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009). Fac. Nac. Salud Pública. Vol. 29 (3). Pp: 241-250
- Gallego A., González I., Sánchez B., Fernández P., Garcinuño M., Bravo C., Pradana A., García A. y Durand S. (2012). Contaminación atmosférica. Madrid: UNED.
- Garzón J. (2021). La actual geografía de la salud, los sistemas de información geográfica y su aplicación teórica-práctica en el manejo de la pandemia a



causa del COVID-19. (Trabajo de grado para optar por el título de: ingeniero geógrafo y ambiental). Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.

Recuperado en:

https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/3960/Monograf%C3%ADa%20GEO%20SALUD%20SIG%20COV_ID19_JORGE%20GARZON_Rp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

García R. 1995. Viento y arquitectura: El viento como factor" de diseño arquitectónico. México, Trillas.

Gatrell, A. C., & Elliott, S. J. (2014). Geographies of Health: An Introduction. Wiley-Blackwell

Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) (2018). Diagnosis, Management and Prevention of COPD. Disponible en: <http://goldcopd.org/gold-2017-global-strategy-diagnosis-management-prevention-copd/>

Guzmán A (2008). Contaminación Del Aire Domiciliario Y Enfermedades Respiratorias (Infección Respiratoria Aguda Baja, EPOC, Cáncer De Pulmón Y Asma): Evidencias De Asociación. Revista de la Facultad de Medicina, Vol. 56. (1). Pp. 54-64. Disponible en: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-575644>

Hurtado R, M. J. y Berlanga S, V. (2012). Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. Caso práctico. D'Innovació i Recerca en Educació, Vol. 5, núm. 2, Pp. 83-100. Disponible en: <http://www.ub.edu/ice/reire.htm>

Humacata L. (2020). Sistemas de Información Geográfica: aplicaciones para el análisis de clasificación espacial y cambios de usos del suelo. Impresiones Buenos Aires Editorial. Argentina. DOI: <https://doi.org/10.35424/rcarto.i104.1138>



INEGI. (2015). Conociendo la Ciudad de México. Séptima edición. Recuperado en:
https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/conociendo/702825095680.pdf

Informe sobre la salud de los mexicanos (2015). Secretaria de Salud. Primera edición. Disponible en:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/64176/INFORME_LA_SALUD_DE_LOS_MEXICANOS_2015_S.pdf

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IIRBAVH). (2006). Los Sistemas de Información Geográfica. Geoenseñanza, vol. 11. Pp. 107-116. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/pdf/360/36012424010.pdf>

Jáuregui H. (2000). El clima de la Ciudad de México. Instituto de Geografía. México. Disponible en:
<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/51>

Jerrett, M., Burnett, R. T., Pope, C. A., Ito, K., Thurston, G., Krewski, D., Shi, Y., Calle, E., & Thun, M. (2009). Long-term ozone exposure and mortality. *New England Journal of Medicine*, 360(11), 1085-1095

Johnston, R. J., Gregory, D., Pratt, G., y Watts, M. (2000). *The Dictionary of Human Geography*. Oxford: Blackwell.

Kendall, M.G. 1938. A new measure of rank correlation. *Biometrika*. Vol. 30. Pp 81-93.

Krieger N. (2001). Emerging theories for social epidemiology in the 21st century: an ecosocial perspective. *International Journal Epidemiology*. Vol. 30. (4). Pp. 668-677. Recuperado en:
<https://academic.oup.com/ije/article/30/4/668/705885?login=false>



- Künzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., ... y Sommer, H. (2000). Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *The Lancet*, 356(9232), 795-801
- Livingstone, D. N. (1992). *The Geographical Tradition: Episodes in the History of a Contested Enterprise*. Oxford: Blackwell.
- Maguey H. (2022). A más contaminación más, problemas de salud. Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la Universidad Autónoma de México. *Gaceta UNAM*. Disponible en: <https://www.atmosfera.unam.mx/a-mas-contaminacion-mas-problemas-de-salud/>
- Manzanares, L. Echániz, G., López, M., Pérez, I. y Garibay V. (2011). Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM_{2.5}. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología.
- Martínez M., Granados A., Pacheco R., Meza J., Ubaldo L., Castellanos M. (2020). Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC): Bases para el medico general. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*. Vol. 63 (3). Pp. 28-35.
- Martínez, R. M., Tuya, L. C., Martínez, M., Pérez, A., y Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2).
- McDonald C., Khor Y. (2013). Advances in chronic obstructive pulmonary disease. *Internal Medicine Journal*. Vol 43. Pp. 854-862. Recuperado en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1111/imj.12219>
- Montes A., Ochoa J., Juarez B., Vazquez M., Diaz C. (2021). Aplicación del coeficiente de correlación de Spearman en un estudio de fisioterapia. *Cuerpo Académico de Probabilidad y Estadística BUAP*. Vol 1. Pp. 1- 2. Disponible en:



<https://www.fcfm.buap.mx/SIEP/2021/Extensos%20Carteles/Extenso%20Juliana.pdf>

Moreno A, López S, Corcho A, (2000). Principales Medidas en Epidemiología. Salud Publica de México. Vol.42, (4). Pp. 337 – 349. Recuperado en: <https://www.redalyc.org/pdf/2232/223219928011.pdf>

Moreno, A. (2013). Población y polución atmosférica intraurbana por dióxido de nitrógeno Cuadernos Geográficos. Vol. 52 (1), Pp. 84-107.

Newcomer R., Benjamin E. (1997). Indicators of chronic health conditions. Monitoring communitylevel delivery systems. The Johns Hopkins University Press. EE.UU.

Olaya V. (2014). Sistemas de Información Geográfica. CreateSpace Independent Publishing Platform. Disponible en: <https://volaya.github.io/libro-sig/>

OMS (2007). Prevención y control de infección en enfermedades respiratorias agudas con tendencia epidémica y pandémica durante la atención sanitaria. EE.UU. Recuperado en: <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2011/vir-flu-prev-ctl-irag-epi-pan-6-2007.pdf>

OPS, (2017). Organización Panamericana de la Salud. Disponible en: [Air Quality - PAHO/WHO | Pan American Health Organization](https://www.paho.org/es/air-quality)

OPS, (SD). Indicadores de salud aspectos conceptuales y operativos. Disponible en https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=14405:health-indicators-conceptual-and-operational-considerations&Itemid=0&lang=es#gsc.tab=0

Organización Mundial de la Salud. (2014). Enfermedades Respiratorias Crónicas Disponible en: http://www.who.int/respiratory/about_topic/es/

Peinado J., Alayo E., Mendoza D., Rosas A., Velázquez E., Nasarre E., Llanos F. (2002). Uso Del Sistema De Información Geográfica Para Determinar La



Relación Entre La Severidad De La Crisis Asmáticas En Niños Y La Cercanía A Fábricas Con Chimenea En Un Distrito De Lima – Perú. Rev Peru Med Exp Salud Publica. Vol. 19 (3). Pp. 124 – 130.

Quinche J. (2010) Influencia de los sistemas de información geográfica en la actualidad #3. Disponible en: <https://jenny-quinche.blogspot.com/2010/07/influencia-de-los-sistemas-de.html>

Pierre G. (1970) Géographie sociale du monde. Presses Universitaires de France. Paris

Robles N., Ramon J. (2018) Enfermedades No Transmisibles Situación y Propuestas de Acción: Una Perspectiva desde la Experiencia de México. (1) P. 119. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416454/Enfermedades_No_Transmisibles_ebook.pdf

Romero T, Moreno H, Manrique F, Riojas H, Torres D, Montoya A, Hicks J, Linares B, Cárdenas B, Bárcenas C, & Barraza A. (2017). Estrés oxidativo, función pulmonar y exposición a contaminantes atmosféricos en escolares mexicanos con y sin asma. Salud Pública de México, No.59 (6), Pp. 630-638. Disponible en: <https://doi.org/10.21149/7988>

Ruiz H. (2008). Programas De Estudio Por Competencias, de la unidad de aprendizaje “Estadística para Geógrafos”. Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades.

Ruiz L. (2019). Análisis de la distribución espacial de enfermedades respiratorias y su relación con los contaminantes en los municipios de toluca, metepec y san mateo atenco para los años 2011 y 2015. (Que para obtener el título de: licenciada en geografía). Universidad Autónoma del Estado de México. Recuperado en: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/105674>



- Salud México: 2001 – 2005. Información para Rendición de Cuentas (2006). Secretaría de Salud. Primera Edición. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/evaluacion/saludmex2005/SM-2001-05.pdf>
- Santana G. (2020). Estados mexicanos más vulnerables frente al COVID19. Nuevas reflexiones. Vol. 3. Pp. 1-24. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/341771418_Vulnerabilidad_diferencial_de_los_Estados_mexicanos_frente_al_COVID-19
- Santana G., Pineda N., y Serrano R. (2021). Análisis de conglomerados espaciotemporales de la neumonía en población vulnerable del Estado de México. *Persona Y Sociedad*, 35(1), Pp. 199 - 215. DOI: <https://doi.org/10.53689/pys.v35i1.344>
- Santana M, Castañeda G., Carillo C., Carrillo R., Alcántara R. (2020). COVID-19 En México: Asociación Espacial De Cara A La Fase Tres. *Hygeia - Revista Brasileira De Geografia Médica E Da Saúde*, Pp. 36–48. DOI: <https://doi.org/10.14393/Hygeia0054317>
- Solarte, P. I., Caicedo, M. & Restrepo, S., (2002). Neumología. Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá. *Revista Médica Sanitas*, 5(2).
- Tambellini, A. T. (1996). Notas provisórias sobre una tentativa de pensar a saúde em suas relações com o ambiente. *Por uma Rede de Trabalho, Saúde e Modos de Vida no Brasil*. Vol. 2, Pp. 12-16.
- Tzintzun, G., Rojas L., y Fernández, A. (2005). Las partículas suspendidas en tres grandes ciudades mexicanas. *Gaceta ecológica*. Vol. 74. Pp. 15-28. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53907402>



Villanueva C., Sevilla M. y Kross R, (2013). La bioética medioambiental y el estrés oxidativo. Libro Cuicuilco. No. 58. Pp. 91-128.

WHO, (2018). World Health Organization. En Disponible en http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/health_impacts/es/

Wilkinson, R. G., & Marmot, M. G. (Eds.). (2003). Social determinants of health: The solid facts. World Health Organization