



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

DOCTORADO EN POLÍTICAS PÚBLICAS

TESIS

**INCIDENCIA DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO
EN ENFERMEDADES RESPIRATORIAS EN LA POBLACIÓN DE LA
ZONA METROPOLITANA DE TULA, ESTADO DE HIDALGO, 2022.**

**Para obtener el grado de
Doctora en Políticas Públicas**

PRESENTA

Mtra. Araceli Cruz Reyes

Director

Dr. Erik Gerardo Jiménez Proa

Comité tutorial

Dr. Juan Bacilio Guerrero Escamilla

Dr. Carlos Martínez Padilla

Pachuca de Soto, Hidalgo, México; febrero de 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades

School of Social Sciences and Humanities

Área Académica de Ciencia Política y Administración Pública

Department of Political Sciences and Public Management

Oficio núm. DPP/020/2026

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar
Presente.

El Comité Tutorial de la tesis: **“Incidencia de Emisiones de Gases Efecto Invernadero en Enfermedades Respiratorias en la Población de la Zona Metropolitana de Tula, Estado de Hidalgo, 2022.”** realizado por la sustentante **Araceli Cruz Reyes**, con número de cuenta: **232543**, perteneciente al programa de Doctorado en Políticas Públicas, una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Por lo que la sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

Atentamente

“Amor, Orden y Progreso”

Pachuca de Soto, Hidalgo a 11 de febrero de 2026

El Comité Tutorial

Dr. Erik Gerardo Jiménez Proa
Director


Dr. Juan Bacilio Guerrero Escamilla
Lector
Dr. Carlos Martínez Padilla
Lector

“Amor, Orden y Progreso”

Carretera Pachuca-Actopan Km. 4 s/n, Colonia
San Cayetano, Pachuca de Soto, Hidalgo, México;
C.P. 42084
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 41046
jaacpap_icshu@uaeh.edu.mx



2025



uaeh.edu.mx

DEDICATORIA

A mi madre

Desde el milagro de Dios, que me dio vida, estaba presente en su corazón.

Ha sido el respaldo y cómplice en mi vida,

porque Dios lo ha permitido,

continúa siendo

mi gran apoyo.

Gracias.

A todas aquellas personas que han alentado mi camino,

han sido soporte de mis pasos,

en especial a mi hermano.

Mi gratitud es para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

El culminar de este trabajo ha sido gracias a la dedicación, esfuerzo y apoyo, no solo mío, en este proceso han convergido personas e instituciones hacia un mismo fin. Reconozco y valoro su tiempo, su dedicación y su interés hacia mi persona. Estas líneas son:

- En agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por haberme otorgado el apoyo para la realización de mi formación doctoral mediante el programa Becas Nacionales para Estudios de Posgrado durante el periodo enero 2023 – diciembre 2025.
- En agradecimiento a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, de la cual formé parte de la 8ª generación del Doctorado en Políticas Públicas.
- En agradecimiento al cuerpo académico que compartió su conocimiento durante esta formación, en especial a mi director de tesis, el Dr. Erik Gerardo Jiménez Proa, por su guía, apoyo y dedicación; también a los integrantes de mi comité tutorial, el Dr. Juan Bacilo Guerrero Escamilla y el Dr. Carlos Martínez Padilla.
- Muy en especial a mi familia, a ellos agradezco por su aliento, su motivación, su respaldo, su consejo y sobre todo por su paciencia. En especial a mi mamá, Alejandra, infinitas gracias.

SUMARIO

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ABREVIATURAS

RESUMEN

ABSTRACT

Introducción

Capítulo I. Planteamiento del Problema

Capítulo II. Estado del Arte

Capítulo III. Marco Conceptual

Capítulo IV. Construcción del Modelo

Capítulo V. Recomendaciones de política ambiental para mitigar los impactos de GEI en la salud respiratoria desde las dimensiones IGQF, IGPQ e IGCT

CONCLUSIONES FINALES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE

RESUMEN.....	15
ABSTRACT	16
INTRODUCCIÓN	17
Capítulo I. Planteamiento del Problema.....	21
Introducción	21
1.1 Antecedentes de los Gases Efecto Invernadero y Enfermedades Respiratorias	21
1.1.1 Contexto Internacional, Nacional y Local Ante la Emergencia Climática	26
1.1.1.1 A Nivel Internacional.	26
1.1.1.2 A Nivel Nacional.	29
1.1.1.3 A Nivel Local.	34
1.2 Relación Entre los Gases Efecto Invernadero y Enfermedades Respiratorias	34
1.3 Enfermedades Respiratorias en la Zona Metropolitana de Tula de Hidalgo	37
1.4 Gases Efecto Invernadero en la Zona Metropolitana de Tula, Hgo.	39
1.5 Elementos de Investigación	47
1.5.1 Objetivo General.....	47
1.5.2 Objetivos Específicos.....	48
1.5.3 Pregunta General.....	48
1.5.4 Preguntas Específicas.....	48
1.5.5 Hipótesis.....	49
1.5.6 Justificación	49
1.6 Alcances y Límites de la Investigación	52
1.6.1 Alcances	52
1.6.2 Límites.....	52
1.7 Propuesta Metodológica.....	53
Conclusión	53
Capítulo II. Estado del Arte.....	54
Introducción	54

2.1 Literatura Institucional sobre los Gases Efecto Invernadero al Cambio Climático ...	54
2.2 Modelos Matemáticos o Probabilísticos para el Cambio Climático y ER.....	56
2.2.1 Contexto Internacional	57
2.2.2 Contexto Nacional.....	74
2.2.3 Contexto Estatal	75
Conclusión	77
Capítulo III. Marco Conceptual.....	78
Introducción	78
3.1 Marco Conceptual de los Gases Efecto Invernadero.....	79
3.1.1 Definiciones de los Gases Efecto Invernadero	79
3.2 Marco Normativo del Cambio Climático ante los Gases Efecto Invernadero	82
3.2.1 Normativas Internacionales	82
3.2.2 Normativas Nacionales.....	88
3.2.3 Normativas Estatales	92
3.2.4 Normativas Municipales.....	95
3.3 Teoría del cambio climático.....	96
3.4 Políticas Públicas.....	100
3.4.1 Introducción a las Políticas Públicas.....	100
3.4.2 Las Políticas Públicas como un Sistema de Acción.....	103
3.4.3 Políticas Públicas en la Nueva Gestión Pública.....	104
3.4.3.1 Partiendo del Neoliberalismo.. ..	104
3.4.3.2 Mercado Ambiental Global.	107
3.4.4 El Progreso de la Política Ambiental en México	108
3.4.5 El Desarrollo de la Política Sanitaria en México	111
3.4.5.1 Contexto Internacional.	111
3.4.5.2 Contexto Nacional.	114
3.4.5 Acciones Puntuales Exitosas	119
Conclusión	121
Capítulo IV Modelamiento de Enfermedades Respiratorias en Función de Gases Efecto Invernadero.....	123
Introducción	123

4.1 Metodología	123
4.2 Delimitación del Problema.....	124
4.3 Formulación Matemática	126
4.4 Estimación del Modelo Escalamiento Multidimensional	127
4.4.1 Escalamiento Multidimensional.....	128
4.5 Estimación del Modelo de Regresión Canónica	130
4.5.1 Regresión Canónica.....	131
4.6 Construcción de la Base de Datos GEIyER	133
4.7 Modelo de Escalonamiento Multidimensional.....	134
4.7.1 Construcción de la Fase 1: Matrices de Correlación y Covarianza	135
4.7.2 Interpretación y Nombramiento de las Dimensiones	138
4.8 Selección del Modelo	138
4.8.1 Predicción a Partir de las Variables Explicativas	139
4.9 Consideraciones Sobre los Supuestos de Inferencia del Modelo Correlación Canónica	149
4.9.1 Supuesto de Normalidad.....	150
4.9.2 Supuesto de Linealidad	151
4.9.3 Supuesto de Homocedasticidad	151
4.9.4 Supuesto de Multicolinealidad.....	152
4.10 Principales Hallazgos del Estudio.....	154
Conclusiones	155
Capítulo 5. Recomendaciones de Política Ambiental Para Mitigar los Impactos de GEI en la Salud Respiratoria Desde las Dimensiones IGQF, IG PQ e IGCT.....	157
Introducción	157
5.1 La Importancia de las Políticas Ambientales	158
5.2 Recomendaciones Frente a la Dimensión IGQF	160
5.2.1 Regulación y Control de Emisiones Industriales	160
5.2.2 Límites Permisibles y Monitoreo	162
5.2.3 Transporte y Movilidad	164
5.3 Recomendaciones Frente a la Dimensión IG PQ	167
5.3.1 Sustitución de Contaminantes por Alternativas Limpias	167

5.3.2 Normatividad y Vigilancia Ambiental	169
5.4 Recomendaciones Frente a la Dimensión IGCT	169
5.4.1 Prevención en Fuentes Domiciliarias y Disposición de Residuos Sólidos Urbanos	169
5.4.2 Reducción del Uso de Combustibles Sólidos de Baja Calidad.....	172
5.5 Acciones de Carácter Transversal	172
5.5.1 Cultura Ambiental Sobre Riesgos en la Salud Respiratoria.....	174
5.5.2 Participación Ciudadana y Gobernanza	175
5.5.3 Infraestructura Verde y Resiliencia Urbana	175
5.6 Consideraciones Para Futuras Investigaciones	176
Conclusión	178
CONCLUSIONES FINALES	180
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	186
ANEXO	216

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Fuentes de emisión de gases en el municipio Atitalaquia
- Figura 2. Fuentes de emisión de gases en el municipio de Atotonilco de Tula
- Figura 3. Fuentes de emisión de gases en el municipio de Tlahuelilpan
- Figura 4. Fuentes de emisión de gases en el municipio de Tlaxcoapan
- Figura 5. Fuentes de emisión de gases en el municipio de Tula de Allende
- Figura 6. Modelo clásico de determinantes que influyen en la salud
- Figura 7. Matriz correlación y covarianza
- Figura 8. Matriz de distancias
- Figura 9. Dendograma de gases
- Figura 10. Matriz de varianzas y covarianzas
- Figura 11. Grado de peso de las dimensiones
- Figura 12. Correlación con círculos
- Figura 13. Matriz de correlación y dispersión
- Figura 14. Resultados de la prueba de normalidad Shapiro–Wilk para los conjuntos de variables X y Y
- Figura 15. Resultados de la prueba de linealidad
- Figura 16. Visualización de la matriz de varianzas y covarianzas para el análisis de multicolinealidad
- Figura 17. Criterios VIF

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Índice de Impacto Ambiental

Tabla 2. Fuentes de emisiones de gases

Tabla 3. Enfermedades respiratorias asociadas a los Gases Efecto Invernadero

Tabla 4. Vista de variables para la elaboración de base de datos

Tabla 5. Corrida en Y_1

Tabla 6. Corrida en Y_2

Tabla 7. Corrida en Y_3

ABREVIATURAS

ASSA2030	Agenda de Salud Sostenible para las Américas 2018-2030
BPG	Bando de Policía y Gobierno
CCVC	Contaminantes Climáticos de Vida Corta
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CH ₄	Metano
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CN	Carbono negro
CO ₂	Bióxido de carbono
COP	Conferencia de las Partes
COPLAMAR	Coordinación General del Plan Nacional de Zonas Deprimidas y Grupos Marginados
CPEUM	Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
ERC	Enfermedad Respiratoria Crónica
EPOC	Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
ER	Enfermedades Respiratorias
G ₁	Material Particulado
G ₂	Dióxido de azufre (SO ₂)
G ₃	Dióxido de carbono (CO ₂)
G ₄	Óxidos de nitrógeno (NO _x)
G ₅	Metano (CH ₄)
G ₆	Óxido nitroso (N ₂ O)
GEI	Gases Efecto Invernadero
GEIyER	Gases Efecto Invernadero y Enfermedades Respiratorias
H ₂ O	Vapor de agua
HFC's	Hidrofluorocarbonos
IGCT	Gases Relacionados con Concentración de Monóxido de Carbono
IGPQ	Gases de Producción Química
IGQF	Gases por Quema de Combustibles Fósiles

IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
INE	Instituto Nacional de Ecología
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático
IRAs	Infecciones Respiratorias Agudas
ISSFAM	Instituto de Seguridad Social para las Fuerzas Armadas Mexicanas
ISSSTE	Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LMAECCEH	Ley de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático para el Estado de Hidalgo
N ₂ O	Óxido nitroso
NO _x	Óxidos de nitrógeno
O ₃	Ozono
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONU	Organización de las Naciones Unidas
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PM	Material Particulado
PM ₁₀	Material Particulado de 2.5 micrómetros
PM _{2.5}	Material Particulado de 2.5 micrómetros
PNUMA	Consejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PPM	Partes por millón
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

PROGRESA	Programa de Educación, Salud y Alimentación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEMARNATH	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Hidalgo
UAEH	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
Y ₁	Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs)
Y ₂	Covid-19
Y ₃	Otras enfermedades respiratorias

RESUMEN

La salud respiratoria es un problema importante y relevante para la política pública ambiental, pues está condicionada y vinculada al entorno ambiental, productivo y socioeconómico del lugar. El objetivo de este estudio fue estimar la incidencia de Emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) sobre Enfermedades Respiratorias en la población de la Zona Metropolitana de Tula, Estado de Hidalgo, 2022, desde una perspectiva orientada a la política ambiental y salud. Se realizó un estudio cuantitativo, transversal, utilizando información proveniente de la base de datos GEIyER (registros de enfermedades respiratorias de la Subsecretaría de Salud del Estado de Hidalgo y Emisiones de los GEI del Laboratorio de Análisis Territorial, Ambiente y Ciencias de Datos-UAEH).

Se construyeron índices de emisión de gases mediante técnicas de escalamiento multidimensional, los cuales fueron posteriormente analizados en conjunto con las variables Infecciones Respiratorias Agudas (Y_1), Covid-19 (Y_2) y Otras Enfermedades Respiratorias (Y_3) a través de un modelo de correlación canónica. Dado que los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad multivariada, los resultados se interpretaron desde un enfoque descriptivo. El modelo canónico evidencia que el problema que tiene la Zona Metropolitana de Tula es la Emisión de Gases derivados de la Producción Química (IGPQ), pues constituye el principal factor ambiental que incide en las Infecciones Respiratorias Agudas, demostrando una relación significativa entre la contaminación atmosférica de origen industrial y los efectos adversos en la salud respiratoria.

Se concluye proponiendo acciones de fortalecimiento a la política pública ambiental dirigidas a la mitigación de emisiones de GEI, como forma de mejorar las condiciones de salud respiratoria, orientado a la toma de decisiones públicas hacia estrategias integrales de protección de la salud poblacional.

Palabras clave: Política Pública Ambiental, Enfermedades Respiratorias, Gases Efecto Invernadero, Correlación Canónica.

ABSTRACT

Respiratory health is a pivotal and relevant issue for environmental public policy, as it is influenced by and linked to environmental, productive and socioeconomic local context. This study aimed to estimate the impact of Greenhouse Gas (GHG) emissions on respiratory diseases in the population of the Tula Metropolitan Area, Hidalgo State, during 2022, from an environmental and health policy perspective. A quantitative, cross-sectional study was conducted using information from the GEIyER database (which integrates respiratory disease records from the Hidalgo State Health Sub-Secretariat and GHG emissions data from the Laboratory of Territorial Analysis, Environment and Data Sciences-UAEH).

Gas emission indices were constructed using multidimensional scaling techniques, which were subsequently analyzed alongside the variables Acute Respiratory Infections (Y_1), Covid-19 (Y_2), and Other Respiratory Diseases (Y_3) through a canonical correlation model. Since the data did not meet the assumption of multivariate normality, the results were interpreted from a descriptive approach. The canonical model demonstrates that the primary issue in the Tula Metropolitan Area is Chemical Production Gas Emissions (CPGE), as it constitutes the main environmental factor impacting Acute Respiratory Infections, demonstrating a significant relationship between industrial air pollution and adverse effects on respiratory health.

This research concludes by proposing actions to strengthen public environmental policies aimed at mitigating GHG emissions to improve respiratory health. These recommendations are designed to guide public decision-making toward comprehensive strategies for protecting population health.

Keywords: Environmental Public Policy, Respiratory Diseases, Greenhouse Gases, Canonical Correlation.

INTRODUCCIÓN

La investigación se desarrolla bajo el contexto actual, en el que la actividad humana ha generado grandes desarrollos y, en consecuencia, altas emisiones de gases efecto invernadero, lo que ha propiciado las condiciones necesarias para que la temperatura promedio del planeta Tierra se vea alterada, registrando niveles mayores a los niveles antes de la era industrial. La literatura científica explica que el planeta se encuentra en un escenario crucial ante una emergencia climática global, que repercute y repercutirá en la salud de la humanidad en años futuros; es por ello que la Organización de las Naciones Unidas [ONU] mediante las conferencias internacionales ante el cambio climático, plantea acciones para mitigar los gases efecto invernadero [GEI] (Gills y Morgan, 2020) y reducir su impacto. Su afectación no solo se da a las especies animales y vegetales que habitan en la biosfera, también impactan de forma directa al ser humano, generando y/o agravando morbilidades, en las cuales también influye de forma indirecta, al generar condiciones extremas mediante el cambio de temperatura y fenómenos meteorológicos extremos que afecta su salud humana.

De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud [OPS] (2021), las enfermedades respiratorias [ER] crónicas se ubican entre las principales causas de muerte y discapacidad en la Región de las Américas, entre ellas se enlistan enfermedades ocupacionales, hipertensión pulmonar, asma y enfermedad respiratoria crónica [ERC] como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica [EPOC]. Las condiciones ambientales se encuentran relacionadas con las afectaciones en la salud humana generando o agravando enfermedades, al respecto, la Organización Mundial de la Salud [OMS] (2024), ha señalado a la contaminación del aire como uno de los mayores riesgos ambientales para la salud del ser humano, a ella se le asocian muertes prematuras, con mayor incidencia en regiones de ingreso medio y bajo, por lo que es importante la adopción de políticas e inversión financiera para reducir algunas de las principales fuentes de contaminación del aire y por ende disminuir la carga de morbilidad a causa de la misma.

El incremento de la actividad humana, especialmente de la actividad industrial, ha generado una excesiva emisión de gases efecto invernadero poniendo en riesgo a las

personas, en especial, su salud. De acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial (2022), las emisiones de gases efecto invernadero alcanzaron nuevos máximos históricos en 2021, es y será fatal su contribución al cambio climático, pues a mayores temperaturas se espera aumenten sus efectos adversos sobre la salud, algunos estarán asociados a enfermedades respiratorias (dificultad respiratoria, limitación en la función y un aumento de la presentación de casos de neumonía, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, asma, rinitis, etc.) (Ziska y otros, 2013; Barnes y otros, 2013). Además de otros organismos internacionales que constantemente han hecho diversos llamados para atender el problema del cambio climático y para prevenir sus efectos negativos en la calidad de vida, el Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (2022), aludió a que las consecuencias que abarcan los efectos del cambio climático en la salud de las personas abren un abanico de escenarios cada vez más extenso, pues el impacto ya se ha vinculado con el riesgo de padecer más cánceres, especialmente de pulmón, piel y gastrointestinal, también en enfermedades respiratorias como el asma y la rinitis alérgica, conjuntivitis y afecciones cutáneas, afectando en mayor medida a personas mayores, niños, mujeres embarazadas y población con enfermedades crónicas.

En el caso mexicano, la Zona Metropolitana de Tula [ZMT], integrada por cinco municipios hidalgüenses, se está viendo afectada por diversas fuentes de contaminación que impactan tanto en aire, agua y suelo, lo que puede incidir en la presencia de diversas morbilidades en la población. En este estudio, se considera el caso particular de la contaminación atmosférica debido a la emisión de GEI y su posible incidencia en la presencia de enfermedades respiratorias, así como el análisis de la política actual tanto en el ámbito ambiental como en el de salud.

El estudio cobra relevancia para la comunidad científica, para los gobiernos locales, estatal y federal, y para la sociedad y organizaciones civiles, pues constantemente se han señalada las afectaciones al medio ambiente en la Zona, a causa del desarrollo de sus actividades económicas, del paso de aguas negras y por la propia actividad cotidiana de sus pobladores, sin embargo se carece de suficientes estudios con rigor metodológico y científico desarrollados en el área geográfica de la ZMT, que demuestre el impacto que tiene la

contaminación a la salud humana, en especial, el impacto que tienen los GEI en la salud respiratoria de sus habitantes.

La revisión de literatura científica ha permitido identificar estudios que relacionan la influencia de las emisiones en enfermedades respiratorias, señalando su grado de influencia y en algunos casos se ha determinado la población de mayor vulnerabilidad al respecto. Con ello, se verifica que sí existe una relación entre las emisiones de GEI y las enfermedades respiratorias. Partiendo de ello, esta investigación aborda cuáles son los gases efecto invernadero que inciden en las ER, aunado a ello, se enfoca en determinar específicamente como se relacionan los niveles de emisión de gases efecto invernadero registrados en la Zona Metropolitana de Tula con la incidencia de enfermedades respiratorias en la población. Además de estudiar esta relación, se aborda el estudio de la política ambiental y de salud diseñada desde el ámbito internacional, nacional y estatal que impacta en la ZMT, y si es que los gobiernos municipales diseñan políticas enfocadas a mitigar las emisiones como forma de prevenir las enfermedades respiratorias en la población.

El diseño metodológico para el análisis partió de la metodología de investigación de operaciones mediante las cinco fases propuestas por Thrierauf, permitiendo el moldeamiento mediante técnicas estadísticas que permiten optimizar mediante sus resultados. Partiendo de ello, se utilizó las técnicas de análisis multivariante y de correlación canónica, mediante las cuales se han determinado las relaciones que guardan las emisiones de GEI con las enfermedades respiratorias registradas en la población de la ZMT. Los hallazgos, producto del modelamiento en conjunto con el análisis del marco normativo y teórico realizado, permiten elaborar recomendaciones en materia de políticas públicas, desde un enfoque integral, enfocadas a disminuir las emisiones como forma de prevenir enfermedades respiratorias.

La propuesta de política pública ambiental a partir de un diagnóstico de un escenario contaminado tiene la finalidad de prevención y protección a la salud pública de una población específica, en este caso de la población de la Zona Metropolitana de Tula, Hgo.

La organización de este trabajo se ha desarrollado bajo cinco capítulos, el primero desarrolla la problemática acerca de la contaminación atmosférica por emisiones de GEI en el área geográfica que abarca la ZMT, además, presenta el objetivo principal de esta investigación y la propuesta metodológica. El segundo capítulo contiene la revisión de estudios empíricos que abordan el problema desde distintos espacios geográficos, los cuales, muestran consistencia en los resultados obtenidos. El tercer apartado contiene la revisión del marco normativo y teórico del tema de estudio. El cuarto apartado presenta lo relativo a la construcción de la base de datos, del modelo y la presentación de los hallazgos producto del modelaje mediante las técnicas de escalamiento de datos y de correlación canónica. En el último capítulo se abordan las recomendaciones en materia de política pública, desde un enfoque integral, para la mitigación de emisiones como forma de disminuir la presencia de enfermedades respiratorias en la ZMT.

Capítulo I. Planteamiento del Problema

Introducción

En el presente capítulo se explican los efectos que producen los gases efecto invernadero en la población y como éstos son causantes de enfermedades respiratorias, es por ello que se hace una descripción de la dinámica que experimenta el fenómeno en estudio, a partir de la identificación de los GEI y de las enfermedades respiratorias que provocan.

Partiendo de la idea anterior, se plantean los objetivos, las hipótesis y las preguntas que se han de contestar para tener un panorama general del presente trabajo de investigación.

Por tanto, se expone el porqué es importante estudiar los GEI y su relación con las enfermedades respiratorias.

Este capítulo se integra por tres apartados:

En un primer apartado, se alude a los antecedentes de los GEI y las enfermedades respiratorias a nivel internacional, nacional, estatal y municipal. En un segundo apartado, se exponen los elementos de investigación:

- Objetivos, preguntas de investigación, hipótesis y justificación

Y por último se aborda:

- Alcances y límites de la investigación
- Propuesta metodológica

1.1 Antecedentes de los Gases Efecto Invernadero y Enfermedades Respiratorias

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, surge el interés científico por el efecto de algunos compuestos químicos sobre el clima, tal es el caso de Svante August Arrhenius, premio Nobel en Química, que mediante su teoría refirió a la importancia del contenido de Dióxido de Carbono (CO₂) en la atmosfera para el incremento de la temperatura (The Nobel Prize, 2023), posteriormente, Gilbert Plass en 1956, realiza conjeturas referentes a los efectos que causa la adición de CO₂ a la atmosfera, pues señaló que ésta absorbía radiación infrarroja generando sobrecalentamiento del planeta, dos años más tarde Charles David Keeling

demuestra que los niveles de CO₂ aumentan año con año, esto, al colocar instrumentos de medición en la cima del volcán Mauna Loa, ubicado en Hawái y uno más en la región Antártica (Acosta, 2010).

En la segunda mitad del siglo XX, la Organización de las Naciones Unidas (1972) comienza a tratar temas sobre cambio climático, los cuales fueron abordados inicialmente en la Primer “Cumbre para la Tierra” (Estocolmo/Suecia) cuyos principios se formularon en torno a poner fin a la emisión de sustancias tóxicas y de otras materias, así como a la liberación de calor en cantidades que el medio ambiente no tenga la capacidad de neutralizarlas para evitar daños graves e irreparables en el ecosistema, recalando que es un derecho del ser humano el poder gozar de condiciones de vida adecuadas en un medio ambiente digno, y que comparten la obligación de proteger y mejorar el medio ambiente en pro de las generaciones presentes y futuras.

Los GEI son un problema de política pública ambiental a nivel global, pues la gran concentración de estos gases está causando problemas de salud a la población, se ha convertido en una preocupación para muchos gobiernos nacionales; es por ello, que a nivel internacional hay acciones estratégicas desde diferentes instituciones para mejorar y cuidar el medio ambiente, con la finalidad de conservar los recursos naturales y fomentar el desarrollo sostenible, así como mitigar sus efectos para la humanidad. Los GEI son gases que se acumulan en la atmosfera de la tierra y tienen la función de absorber la energía infrarroja del Sol, esto crea un efecto invernadero; es decir, el calor queda atrapado en la superficie de la Tierra por los gases (como el material particulado, dióxido de azufre, dióxido de carbono, óxido de nitrógeno, metano y óxido nitroso) pudiéndose aludir a que crean una manta que cubre al planeta y lo mantiene cálido. No obstante, a mayor concentración de GEI, mayor retención de calor, la preocupación primordial de este efecto es el incremento de la temperatura global y el efecto de los gases en la población humana, en especial, en su salud.

El efecto invernadero se da debido a que las longitudes de onda corta de la luz pasan a través de algún medio y son absorbidas, en tanto las longitudes de onda más largas de la radiación infrarroja pasan, son re-irradiadas desde los objetos y no pueden pasar a través del medio, originando que las longitudes de onda larga queden atrapadas a mayor temperatura

en el interior del medio que las contiene; en el planeta, el calentamiento de la superficie a causa de la absorción de radiación infrarroja o térmica producida por los gases atmosféricos de efecto invernadero, es un proceso natural y vital para hacer al planeta habitable, sin embargo, un aumento drástico en este proceso genera grandes alteraciones al medio.

El cambio climático propicia el aumento en la temperatura, el cual, se da como resultado de una mayor emisión de gases efecto invernadero a la atmosfera producto de actividades humanas (University of Calgary, s.f.).

Los GEI pueden ser de origen natural o antropogénico, la quema de combustibles fósiles y la deforestación de bosques y selvas son algunas actividades humanas que provocan el incremento de la emisión de estos gases, entre los principales se encuentran: el vapor de agua (H₂O), el bióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), el ozono (O₃), el material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) y los óxidos de nitrógeno (NO_x); aunado a ello, diminutas partículas conocidas como aerosoles, generadas naturalmente en el desierto, por erupciones volcánicas o por la interacción con otros gases, dependiendo de su composición y ubicación pueden contribuir al calentamiento de la atmósfera, aunque también pueden enfriarla; por su parte, los contaminantes climáticos de vida corta (CCVC) tienen un efecto de calentamiento, pueden permanecer en la atmosfera de algunos días hasta algunas décadas, pueden genera pérdidas de cosechas y efectos nocivos en la salud humana, entre los principales se encuentran: carbono negro (CN), metano (CH₄), ozono troposférico (O₃) e hidrofluorocarbonos (HFC's), después del bióxido de carbono (CO₂), los contaminantes climáticos de vida corta son los más importantes influyentes en el calentamiento global actual (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2018).

El efecto de los GEI refiere a un aumento de temperatura debido a las paredes de vidrio en un invernadero, cerca de la mitad de la luz que llega a la atmosfera después de atravesar el aire y las nubes, llega a la superficie donde es absorbida para posteriormente emitirse hacia el espacio en forma de ondas infrarrojas, dicho de otro modo, calor, del cual el 90% es absorbido por los GEI (INECC, 2018).

La participación de las Naciones Unidas para reducir la emisión de los GEI, permitió que la legislación mexicana se comprometiera en atender el problema derivado de su emisión y los definiera como: “componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación infrarroja” (Ley General de Cambio Climático, Art. 3. Fcc. XXIII, 2012).

Los gases efecto invernadero que tienen un grado de impacto ambiental son: bióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos, partículas por millón, bióxido de azufre y óxido de nitrógeno (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Hidalgo [SEMARNATH] y Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo [UAEH], 2018).

Los GEI son causantes del cambio climático y estos son la mayor amenaza para la salud mundial del siglo XXI; ya que de acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud [OPS], (2020), la salud es y será afectada por los cambios de clima a través de impactos directos (olas de calor, sequías, tormentas fuertes y aumento del nivel del mar) e impactos indirectos (enfermedades de las vías respiratorias y las transmitidas por vectores, inseguridad alimentaria y del agua, desnutrición y desplazamientos forzados).

El cambio climático no es solo un problema para las generaciones futuras, pues ya lo es para las presentes, ya que se registran temperaturas medias más altas cada año, en consecuencia, más personas se ven afectadas por desastres meteorológicos, enfermedades sensibles al clima y otras condiciones de salud. Además, el sector salud tiene un papel importante que desempeñar en la reducción de las GEI que son la causa del cambio climático (OPS, 2020).

El Programa de Cambio Climático y Salud de la OPS busca preparar los sistemas de salud a través de alertas tempranas, una mejor planificación y la implementación de medidas de prevención y adaptación, y también a través de la reducción de las emisiones de gases que causan el cambio climático, dentro del sector salud y en colaboración con otros sectores (OPS, 2020).

La mayoría de los GEI se producen de forma natural, sin embargo, en el último par de décadas su incremento de concentración atmosférica ha sido causada por actividades

humanas, algunos otros GEI provienen exclusivamente de la actividad antropogénica, aquellos de larga vida como el CO₂, CH₄, y N₂O, debido a su naturaleza químicamente estable tienen una persistencia atmosférica que va desde décadas hasta siglos, por lo que su influencia climática está dada a largo plazo; el SO₂ y el CO, considerados de vida corta, se eliminan mediante procesos de oxidación en la atmósfera, sus concentraciones son variadas, las concentraciones actuales de CO₂ y CH₄ sobrepasan los valores preindustriales, el uso de combustibles fósiles es considerado la principal causa de aumento de CO₂, en tanto el origen del metano proviene de emisiones de humedales, animales rumiantes, cultivos de arroz y quema de biomasa, además de tener un aporte menor debido a la quema de combustibles fósiles (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático [IPCC, por sus siglas en inglés], 2018).

El aumento de la actividad humana (enfocada al desarrollo económico) ha generado mayores emisiones de contaminantes, en consecuencia, un deterioro ambiental, en este sentido, investigadores como Martens, Slooff y Jackson (1998) examinan las consecuencias sanitarias que conlleva el cambio climático, su posible efecto, entre otros aspectos, en enfermedades infecciosas, retomando datos del Segundo Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, los autores resaltan la necesidad de establecer indicadores válidos en materia de salud ambiental en regiones vulnerables. Los efectos negativos que traen consigo los GEI a la salud humana requieren que se resalte la importancia de tomar acciones desde el ámbito público para mitigar sus efectos adversos, en especial en lugares en que su emisión tiene mayor concentración y puede haber mayor población vulnerable.

Metano: Considerado uno de los seis GEI que de acuerdo al Protocolo de Kyoto debe reducirse, se encuentra asociado a los hidrocarburos utilizados como combustibles, principal componente del gas natural y emanado también debido a la actividad ganadera y agrícola (IPCC, 2019).

Óxido nítrico: Antropogénicamente producido por la actividad agrícola, aguas residuales, quema de combustibles fósiles y procesos industriales químicos, considerado en el Protocolo de Kyoto como gas necesario de reducir su emisión (IPCC, 2019).

Dióxido de carbono: Catalogado como el principal GEI de origen antropogénico, es utilizado como referencia para medir otros gases efecto invernadero, se origina de la quema de combustible fósiles, quema de biomasa, cambio de uso de la tierra y por los procesos industriales (IPCC, 2019).

1.1.1 Contexto Internacional, Nacional y Local Ante la Emergencia Climática

1.1.1.1 A Nivel Internacional. El aumento de 1.1°C de temperatura global durante el periodo de 2011 a 2020, en relación a la temperatura registrada durante el periodo comprendido de 1850 a 1900, se encuentra relacionado a las emisiones de gases de efecto invernadero y refleja las consecuencias del uso de energías no sostenibles, cambios de uso de la tierra y estilos de vida social marcados por patrones de consumo y producción entre países, dentro de ellos y entre los individuos (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2021); del periodo de 1850 a 2019, el 58% de emisiones netas de CO₂ correspondía a 139 años, y alrededor del 42% ocurrió en tan solo los últimos 39 años de dicho periodo, siendo 2019 el año con mayor concentración histórica de CO₂ en por lo menos 2 millones de años, en tanto las concentraciones de metano y óxido nitroso fueron, en el mismo año, las más altas registradas en por lo menos los últimos 800,000 años.

El programa Earth Watch del Consejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], planteó el seguimiento y evaluación del transporte a larga distancia de contaminantes atmosféricos; a principios de la década de 1980, se mostró mayor preocupación por la destrucción de la capa de ozono surgiendo recomendaciones para limitar el uso y reducción de clorofluorocarbonos F-11 y F-12, mismos que se reforzaban las intenciones de reducir las emisiones de azufre en un 30 por ciento, al finalizar la década.

De la Convención en el Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [CMNUCC] en 1997, surge el protocolo de Kyoto, en el que los países industrializados calendarizan un plan de acción para reducir la emisión de los 6 Gases de Efecto Invernadero (ONU, *s.f.*). Y se determinan como GEI los siguientes gases: dióxido de carbono (CO₂),

metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF₆) (ONU, 1998).

Aunado, la Asamblea General de la ONU, adoptó una perspectiva ambiental con visión al año 2000, apoyada de marcos guía para las naciones, abordando temas de cooperación internacional, programas y políticas respetuosas con el medio ambiente, introduciendo el término desarrollo sostenible (The United Nations Environment Programme, *s.f*). En el periodo del 2008 al 2012, se vinculó a todos los países para que firmaran el acuerdo en la búsqueda de reducir las emisiones de los seis gases que más potenciaban el efecto invernadero, con lo cual se planteó la reducción de un 5.2 por ciento de ellos, en relación a las emisiones registradas en 1990.

En 2002, en Johannesburgo, siguiendo la propuesta el protocolo se reconoce a la sociedad civil con un factor muy importante para combatir el cambio climático y la mitigación de los GEI, bajo esta perspectiva se enfoca a que no solo los gobiernos y los organismos internacionales tuvieran esta preocupación por lograr una reducción a las emisiones.

El segundo periodo del Protocolo de Kyoto se presentó en 2007 en Bali (Indonesia), con la reunión de 190 países acordando acciones contra el cambio climático, el cual tendría una vigencia entre los años 2012 y 2020. En Bali se habló de que los países desarrollados no redujeron sus emisiones en 5.2 por ciento en relación con 1990, como se habían comprometido; pero se propuso una nueva ruta mediante acuerdos con plazos definidos para el año 2012. La mitigación, adaptación tecnológica y financiamiento, surgen en la conferencia de Copenhague.

En Copenhague (Dinamarca), en el año 2009 se aplicó una acreditación para fijar una meta que tuviera un límite máximo para el incremento de la temperatura media global la cual sería de 2°C; haciendo hincapié en la intención de mantener la temperatura bajo los 1.5°C en relación a los niveles preindustriales.

Bajo esta misma línea del tiempo en 2010, en Cancún (México), se creó el Fondo Verde para el Clima para promover financiamientos a proyectos y actividades en países en

vías de desarrollo, de la misma forma, se acordó la operacionalización hasta el 2012, caracterizado por la innovación, desarrollo y difusión de tecnologías amigables al clima.

El Protocolo de Kyoto no tuvo el alcance ni la respuesta de países industrializados para reducir sus emisiones de GEI, esto se expuso en Durban (Sudáfrica) conferencia sobre el cambio climático, número 17, celebrada en 2011. Los principales países que emiten GEI, son: Estados Unidos, Brasil, China, India y Sudáfrica, propusieron un acuerdo jurídico vinculado a la protección climática, esto se finalizaría hasta el año 2015.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible número 20, llevada a cabo en Río de Janeiro (Brasil) en el año 2012, estableció una serie de compromisos en materia de desarrollo sostenible bajo un esquema social, económico y ambiental con la finalidad de cuidar el bienestar de las generaciones presentes y futuras. Exhortando también la necesidad de apresurar el planteamiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio; pues en 2015, iniciaría el proceso centrado en el desarrollo sostenible.

En la “Cumbre del Clima” en Paris (Francia), año 2016, se proyectó el incremento de la temperatura a final del siglo, por lo que las Partes firman comprometiéndose a que ésta estuviera por debajo de los dos grados; los países que firmaron se comprometieron a mitigar sus emisiones, no obstante, las naciones desarrolladas harían un esfuerzo superior mediante un mecanismo de financiación de 100,000 millones de dólares destinado a medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

En las Conferencias sobre Cambio Climático (COP-23) con sede en Bonn (Alemania), año 2017, se retiró Estados Unidos de los acuerdos, y esto ocasionó efectos negativos hasta el año 2020; debido a que el presidente Donald Trump no se comprometió a aportar 2,000 millones de dólares para las acciones enfocadas a mitigar la producción de gases de efecto invernadero; pues sin este recurso, los esfuerzos de todos los otros países fueron insuficientes (Martínez, 2017).

En Katowice (Polonia) en 2018, se llevó la COP-24, donde nuevamente los países que firmaron los acuerdos estuvieron comprometidos a reducir las emisiones de gases de

efecto invernadero para limitar el aumento medio de la temperatura global a menos de 2 ° C, y lo más cerca posible a 1,5 ° C para finales de siglo (ONU, 2018).

En las Conferencias sobre Cambio Climático (COP-25) en Chile, año 2019, se puso en evidencia que, a la mayoría de los gobernantes, por razones políticas y económicas, no les ha sido posible dar cumplimiento con la mayor parte de los acuerdos logrados, teniendo como resultado un desastre de dimensiones nunca vistas (ONU, 2019).

En la "Conferencia de las Partes" de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático en Glasgow (Reino Unido), año 2021 (COP-26), las Partes trataron de tomar medidas para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, poniendo énfasis a las áreas de enfoque que incluyen mejoras sustentables a la productividad, uso eficiente de la tierra, agua, carbono, producción agrícola y ganadera resiliente, mejores herramientas digitales, y sistemas alimentarios inclusivos, equitativos y sostenibles (Conferencia de las Partes de las Naciones Unidas, 2021).

En la COP-27, en El-Sheikh (Egipto) año 2022, se animó a que los países aumenten sus compromisos de reducción de emisiones y se refleje positivamente en el clima; proponiendo esquemas como el que, "todos los gobiernos cobren impuestos sobre los beneficios extraordinarios de las empresas de combustibles fósiles", pues la humanidad tiene una elección: cooperar o morir (Martínez, 2022).

1.1.1.2 A Nivel Nacional. En México en la década de los setentas hasta principios de los años ochenta, los principales instrumentos en materia ambiental con que contaba el Estado eran dos: en el plano legal, la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental (1971) y en el aspecto de la gestión, un órgano de la administración pública que cambió de nombre en repetidas ocasiones y de ubicación en el aparato del gobierno: en un inicio fue la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente (1972-1976), la cual estaba inserta en el campo de la salud pública (Secretaría de Salubridad y Asistencia) y finalizó como Subsecretaría de Ecología (a partir de 1983) en la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, SEDUE. (Micheli, 2002).

Durante 1983-1988, en el Plan Nacional de Desarrollo (sexenio de Miguel de la Madrid) se incluyó por primera vez el tema ecológico como factor explícito en el desarrollo social y económico del país. En 1983 se reformó el artículo 25 de la Constitución, para señalar que las actividades económicas que hicieran uso de los recursos naturales debían cuidar su conservación. En 1984, la Ley Federal del ramo se transformó en el artículo primero, explicando que el Estado debería generar normas para defender el medio ambiente, función que estaba ausente en la ley previa¹.

En 1987, se obliga a la preservación y restauración al equilibrio ecológico y se facultó al Congreso para expedir leyes que establecieran las obligaciones conjuntas de las autoridades federales, estatales y municipales en materia del medio ambiente y su cuidado. En este mismo año, se reformaron los artículos 27 (estableciendo la obligación del Estado de dictar las medidas necesarias para ayudar a mantener el equilibrio ecológico) y 73 de la Constitución (para expedir leyes de orden ambiental, y en particular, a la Asamblea de Representantes del Distrito Federal para que legislaran en materia ambiental) (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [CPEUM], 1992). Esta reforma constitucional permitió crear una nueva ley y en 1988 se publicó la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente [LGEEPA], que es el instrumento rector de la operación de la política ambiental hasta la actualidad, sus aspectos básicos fueron establecer disposiciones para la protección de las áreas naturales, prevención y control de la contaminación de la atmósfera, del suelo y del agua y el control de materiales y residuos peligrosos. Igualmente entró en vigor la nueva ley, donde se creaba la obligatoriedad de la acción ecológica del gobierno, para generar espacios de responsabilidad y de concertación en el campo de gestión gubernamental en sus tres niveles tradicionales: federal, estatal y municipal (Mercado y Fernández, 1998).

El periodo de los ochenta se caracteriza por diversos tránsitos en la simbología política de la crisis ambiental mexicana: de la confusión de instrumentos a la construcción

¹ El artículo 1 de la Ley Federal de Protección al Ambiente anterior a 1984 señalaba: "(...) Las disposiciones de esta ley tienen por objeto la protección, mejoramiento, conservación y restauración del medio ambiente". La modificación de 1984 dice "(...) Las disposiciones de esta ley tienen por objeto establecer las normas para la conservación, protección, preservación, mejoramiento y restauración del medio ambiente".

de normas; del ámbito de las respuestas por los daños a la salud, al campo activo de la política social y de la acción del poder presidencial para compensar una creciente debilidad en el cumplimiento de la justicia social. Para la segunda mitad, el tema fue trasladado hacia el campo de las políticas de vivienda y urbanismo.

En 1992 se crearon dos organismos clave para la política ambiental: el Instituto Nacional de Ecología [INE] y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente [PROFEPA]. El primero, encargado de generar normas y definir políticas, y el segundo, responsable de vigilar y fiscalizar el cumplimiento de las normas y leyes. Estas reformas institucionales permitieron que el Estado mexicano construyera capacidades de gestión para operar una política ambiental. La normatividad indicaba a los poderes públicos cuándo y en qué condiciones intervenir mediante acciones de defensa del medio ambiente, y por tanto apuntar a crear un marco de consenso (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2017).

De 1994 al año 2000 se generaron nuevas medidas de dirección en la política ambiental para el sector empresarial, fundamentalmente mediante la inducción a realizar acciones voluntarias por parte de las empresas para cuidar el ambiente. Con la creación en 1994 y hasta su extinción en el años 2000, la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca [SEMARNAP], se presentó en la administración pública como un organismo que reunía la gestión de los recursos naturales renovables con la del medio ambiente, ya definidos sus objetivos, la nueva concepción de política ambiental acorde con las tendencias de la globalización fue trasladada a una nueva ley: en 1996, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente fue reformada, con ello, se da paso a una nueva definición del desarrollo sustentable, en el que se formula como: "El proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social, que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente, y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras" (LGEEPA, 2023).

Todos estos cambios significaron una etapa de reformas institucionales mediante las cuales el estado mexicano construyó sus capacidades de gestión para operar una política ambiental. La principal debilidad que arrastraba la política ambiental era la ausencia de reglas objetivas para la actuación gubernamental, en el marco de una opinión pública que solicitaba acciones para detener el deterioro ambiental y, en consecuencia, se presentaba confusión acerca de las responsabilidades y los mecanismos de acciones en los ámbitos estatales y sociales. La mitigación de los efectos del cambio climático a causa de diversos contaminantes atmosféricos, incluye la disminución del impacto generado a la salud humana, aunque poco se precisa al respecto de cómo la disminución de emisiones es fundamental para mejorar la salud de la población.

La Ley General de Cambio Climático, entró en vigor en 2012 y confiere al Gobierno Federal la elaboración de estrategias de política nacional en materia ambiental para mitigar y afrontar los efectos del cambio climático, estrategias que debían formularse observando los principios de sustentabilidad, correspondencia entre el Estado y la sociedad, la precaución, la prevención, la adopción de patrones de producción y de consumo hacia una economía de bajas emisiones de carbono, de integridad y de transversalidad, de participación ciudadana, de responsabilidad ambiental, de uso de instrumentos económicos para la mitigación, de transparencia, de conservación de ecosistemas, de compromiso con la economía y de progresividad (LGCC, 2023).

Como parte de la política ambiental, se contempla la elaboración e implementación de instrumentos de mitigación que incluyan el diagnóstico, la medición, el monitoreo, la verificación y el registro de la evolución de las emisiones nacionales. La Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, se basa en la clasificación de los contaminantes del aire ambiente mediante los Contaminantes Criterio.

- Partículas suspendidas de 2.5 y 10 micrones (PM_{2.5} y PM₁₀)
- Ozono (O₃)
- Dióxido de azufre (SO₂)
- Dióxido de nitrógeno (NO₂)
- Monóxido de carbono (CO)

Los contaminantes criterio, son aquellos contaminantes normados a los que se les han establecido un límite máximo permisible de concentración en el aire ambiente, con la finalidad de proteger la salud humana y asegurar el bienestar de la población (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2023).

La influencia que tienen las emisiones de GEI en la salud humana es diversa, por una parte, al generar variaciones en la temperatura global genera afectaciones en algunos lugares, en México, por ejemplo, el impacto de las altas temperaturas ha reflejado un aspecto negativo en la población de los estados del noroeste del país, pues se han elevado los índices de mortalidad como consecuencia de las altas temperaturas (Díaz, Castro y Aranda, 2014). En los estados de Campeche, Chiapas y Tabasco, se identificó un alto registro de causales de mortandad correlacionadas con enfermedades infecciosas, parasitarias, respiratorias y nutricionales (Ochoa, Muños y Freyermuth, 2020).

La Organización Mundial de la Salud, estimó que la contaminación atmosférica exterior en 2012 produjo 3,7 millones de muertes a causa de fuentes urbanas y rurales en todo el mundo (OPS, 2014).

Por su parte el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, organismo público descentralizado sectorizado en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, tiene entre sus atribuciones el análisis de la prospectiva sectorial, la elaboración de estrategias, planes, programas e instrumentos a nivel nacional en materia de desarrollo sustentable, medio ambiente y cambio climático; además está facultado para emitir recomendaciones sobre políticas y acciones de mitigación al cambio climático y estimar costos futuros asociados al mismo (LGCC, Art. 15, 2012).

En cuanto al Sistema Nacional de Cambio Climático, funge como un mecanismo de coordinación, comunicación y colaboración entre la federación, las entidades federativas y los municipios, a fin de promover una aplicación transversal de la política, en el corto, mediano y largo plazo en el ámbito de cada orden de gobierno, para la realización de acciones de adaptación, mitigación y reducción de la vulnerabilidad, a razón de disminuir los efectos adversos del cambio climático.

La Comisión Intersectorial de Cambio Climático forma parte del Sistema Nacional de Cambio Climático cuya razón de ser es la promoción de acciones entre las dependencias y entidades de la administración pública, además de formular e instrumentar políticas nacionales entorno a la mitigación y adaptación al cambio climático a través de estudios y proyectos de innovación, investigación desarrollo y transferencia de tecnología.

Por su parte el Consejo de Cambio Climático se conforma como un órgano permanente de consulta de la Comisión integrada por actores tanto del ámbito social, privado y académico, con el objeto de asesorar y recomendar a la Comisión aspectos referentes a la realización de estudios, elaboración de políticas, acciones y metas enfocadas a enfrentar los efectos del cambio climático.

1.1.1.3 A Nivel Local. La Comisión Intersecretarial de Cambio Climático en Hidalgo, es la organización encargada de ejecutar y coordinar la Estrategia Estatal ante el Cambio Climático, uno de sus objetivos es el seguimiento y la evaluación de los planes de mitigación y adaptación. Cuenta con un centro estatal de investigación sobre el Cambio Climático que coordina las acciones y las estrategias de mitigación y adaptación. También genera investigación sobre nuevas tecnologías.

La Comisión Intersectorial evalúa y da seguimiento, tanto del Programa como a la propia Estrategia, para generar una evaluación de los resultados obtenidos a partir de la implementación de los planes mitigación y adaptación. De igual forma incentiva de manera activa la educación, la investigación, el uso y desarrollo de tecnologías dirigidas a fortalecer el desarrollo sostenible del Estado de Hidalgo, así como la concientización del buen uso de los ecosistemas y recursos naturales del estado.

1.2 Relación Entre los Gases Efecto Invernadero y Enfermedades Respiratorias

El aumento de los gases efecto invernadero es un tema global y sus efectos se reflejan de forma preocupante para la salud de la población en general, en Europa anualmente causa más de 1,200 muertes prematuras entre la población menor de 18 años, y aumenta las posibilidades futuras de contraer problemas respiratorios como el asma, la bronquitis, enfermedades pulmonares y de generar mayor susceptibilidad a infecciones debido al

debilitamiento del sistema inmunológico, particularmente el ozono, el dióxido de nitrógeno y las partículas finas, (PM_{2.5} y PM₁₀), pues son los causantes de estas afecciones. Al respecto, la Agencia Europea de Medio Ambiente, a través de un informe relativo a la evaluación de la calidad del aire alude a proponer mejoras de protección a la salud para contrarrestar los efectos negativos que tiene la contaminación atmosférica (Vishal, 2023).

National Geographic (2024), refiere que nueve de cada diez personas respiran aire contaminado en el mundo, el cual mata a 7 millones de personas cada año, el cual, se produce tanto en el exterior como en el interior de los hogares, las partículas en suspensión y otros contaminantes contenidos en el humo inflaman las vías respiratorias y los pulmones, dificultan la respuesta inmunitaria y reducen la capacidad de oxigenación de la sangre, en el mismo sentido, la Organización Mundial de la Salud explica que la contaminación del aire causa diversas enfermedades, en particular accidente cerebrovascular, cardiopatía isquémica, neumopatía obstructiva crónica y cáncer de pulmón; la contaminación del aire exterior representa un importante riesgo medioambiental para la salud que afecta a todas las personas en los países de ingreso bajo, mediano y alto; ya que, los contaminantes microscópicos del aire pueden sobrepasar las defensas de nuestro cuerpo y penetrar profundamente en nuestro sistema respiratorio y circulatorio, lo que daña nuestros pulmones, corazón y cerebro (OMS, 2022). Además, de acuerdo al IQAir Informe mundial sobre la calidad del aire (IQAir, 2023), una de cada nueve muertes a nivel mundial se encuentra asociada a la contaminación atmosférica, la cual ocurre tras una exposición continua y prolongada a un aire contaminado, lo que causa y agrava problemas de la salud como enfermedades respiratorias, cáncer y enfermedades pulmonares.

Al respecto de esta problemática, hay recomendaciones que la población debe tomar en cuenta como medidas de prevención en la salud pública, pues la mala calidad el aire es el segundo factor de riesgo para las enfermedades no transmisibles (OMS, 2022):

- Evitar caminar en horas pico
- Evitar pasar tiempo en puntos específicos con una alta densidad de tránsito
- Hacer ejercicio al aire libre en zonas menos contaminadas
- Ocasionalmente no utilizar el automóvil

- No quemar residuos

La mayoría de las fuentes contaminantes del aire se encuentran más cerca de la población, las medidas que se requieren son de un sistema normativo internacional, nacional, municipal para que se trabaje en sectores como el de la energía, planificación urbana, producción de desechos y la agricultura.

El Parlamento Europeo trabaja para establecer normas más estrictas para reducir la contaminación atmosférica, esto es parte de la línea Pacto Verde Europeo, el cual propone normas estrictas de calidad de aire para el 2030, parte de los objetivos es la reducción de las partículas contaminantes; ya que, el dióxido de nitrógeno reduce la resistencia a las infecciones y se asocia a un aumento de las enfermedades respiratorias crónicas y al envejecimiento prematuro de los pulmones, la contaminación por dióxido de nitrógeno causó 49,000 muertes prematuras en 2020 en la Unión Europea. Además, el ozono está causando a corto plazo irritación en los ojos, las vías respiratorias y las mucosas, es especialmente peligroso para las personas que padecen asma y puede ser mortal en caso de problemas respiratorios y cardiovasculares crónicos (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2023).

El Informe Mundial de Calidad del Aire, indicó que, de 131 países y territorios analizados, únicamente 13 tuvieron una calidad del aire saludable durante 2022, la media de anual de contaminación del aire ascendió al 90%, lo que supera las directrices marcadas por la OMS, tomando como base las partículas finas (PM_{2.5}), las cuales, de acuerdo al informe, penetran en el tejido pulmonar y se relacionan con problemas de salud como asma, cardiopatías y enfermedades respiratorias, el informe resalta como uno de los mayores obstáculos al tema de la contaminación del aire, la forma en que los gobiernos controlan actualmente la calidad del aire (IQAir, 2023).

Se estima que el 99% de la población mundial respira aire que supera los límites de la calidad del aire establecida por la Organización Mundial de la Salud, donde la salud de la población está en un marco de riesgo, pues los habitantes están expuestos a partículas suspendidas (PM_{2.5}) las cuales tienen la capacidad de entrar en el torrente sanguíneo causando impacto en el sistema cardiovascular, cerebrovascular y respiratorio, también se encuentran

expuestos al dióxido de nitrógeno (NO₂) que está fuertemente asociado a enfermedades respiratorias; es por ello la importancia de acelerar la transición de sistemas más limpios y saludables (ONU, 2022).

1.3 Enfermedades Respiratorias en la Zona Metropolitana de Tula de Hidalgo

Durante el periodo comprendido entre los años 2000 y 2013 las infecciones respiratorias agudas fueron la primera causa de demanda de atención en los servicios sanitarios en el Estado de Hidalgo, situación que se replicó en todos los municipios hidalguenses, dicho padecimiento se ve afectado por factores de riesgo entre los que se encuentran el hábito de fumar, la contaminación ambiental, el nivel socioeconómico y las condiciones de vida, referente a las principales causas de mortalidad general en el estado registradas durante el periodo de 2000 a 2012, las infecciones respiratorias agudas presentaron una reducción del 12.9% al 10.1% colocándose como la sexta causa de mortalidad, en tanto la enfermedad pulmonar obstructiva crónica ocupó el séptimo lugar, aunque su tasa registro un incremento, pues en el año 2000 mantuvo una tasa de 12.8 mientras que para 2012 esta incrementó a 22.3 (Secretaría de Salud de Hidalgo, 2014).

Los municipios que integran la Zona Metropolitana de Tula son parte de la Jurisdicción Sanitaria 01 Tula de Allende, en donde durante 2022, la primer causa de enfermedad en la población han sido las enfermedades infecciosas, de las cuales el primer lugar se ha ocupado por las infecciones respiratorias agudas y el segundo lugar ha sido a causa de COVID-19, generando una tasa de morbilidad general por arriba de la media estatal, por su parte, la bronquitis crónica se ha situado entre las principales causas de mortalidad general (Secretaria de Salud de Hidalgo, 2024).

Una enfermedad respiratoria se define como:

“Tipo de enfermedad que afecta los pulmones y otras partes del aparato respiratorio. Las enfermedades respiratorias se producen por infecciones, consumo de tabaco o inhalación de humo de tabaco en el ambiente, y exposición al radón, amianto u otras formas de contaminación del aire. Las enfermedades respiratorias incluyen el asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), la fibrosis pulmonar, la neumonía y el cáncer de

pulmón. También se llama enfermedad pulmonar y trastorno pulmonar.” (National Cancer Institute, 2025)

Expertos en salud han señalado que “respirar aire insalubre es una causa o factor de contribución a la mayoría de las enfermedades respiratorias” (Foro de Sociedades Internacionales de Enfermedades Respiratorias, 2013) lo cual recobra importancia para la Zona Metropolitana de Tula debido a que, a través de los municipios que la integran, corren diversos afluentes de aguas negras, alberga diversas industrias además de ser una zona agrícola y ganadera, aunado a ello, la ZMT es reconocida por tener diversas vías de comunicación tanto férreas como vías carreteras de gran afluencia y su cercanía a la región centro del país. La evidencia científica respalda una asociación entre las enfermedades respiratorias y algunas características en particular, tal es el caso de Fabra-Arrieta y Mejía-Toro (2019), quienes manifiestan una relación estadísticamente significativa entre padecer afecciones respiratorias y residir cerca de fábricas o industrias, además de señalar mayor riesgo en personas que residen en la cercanía a aguas negras o basureros. En otro estudio, Magarolas y otros (2000) analizaron los síntomas respiratorios en agricultores y ganaderos bajo un enfoque de factor de riesgo laboral encontrando como factor de riesgo significativo la avicultura, para síntomas de asma y de alergia nasal, así como el trabajo bovino para la expectoración crónica.

La problemática surgida por la morbilidad a causa de enfermedad respiratoria debe verse desde diversas perspectivas, pues su aumento y prevalencia influenciada por diversos factores ambientales cuestiona las afectaciones que podría tener la actividad económica desarrollada en la ZMT bajo el contexto de que los contaminantes que son emanados a la atmosfera, así como el daño producto de la actividad laboral de la población, convirtiendo a las enfermedades respiratorias en riesgo para generar enfermedades pulmonares ocupacionales, Mejía-Ávila (2024) resalta el amplio número de trabajadores que pudieran estar expuestos señalando las dificultades para atribuir la causalidad, subestimando la carga de morbilidad debido al bajo reconocimiento.

En un señalamiento realizado por la SEMARNAT (2024), entre los contaminantes atmosféricos observados en la Zona de Restauración Ecológica del área de influencia la Presa

Endhó se encuentran el SO₂, y el NO₂, provenientes de actividades antropogénicas, entre ellas, los procesos industriales, el transporte y la generación de la energía eléctrica, los cuales representan un riesgo en la salud pública especialmente en grupos vulnerables (menores de 5 años y adultos mayores) y personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares preexistentes. Bajo este argumento se posiciona como parte de un problema público la morbilidad a causa de los contaminantes atmosféricos presentes en la ZMT. Aunque la salud respiratoria ha formado parte de la política sanitaria en el estado, el reconocimiento formal de su asociación a la calidad del aire había sido mínima o nula por parte de instancias gubernamentales en los diferentes niveles gubernamentales, por lo que no se había focalizado el problema en la región en estudio, pues los cinco municipios que integran la Zona Metropolitana de Tula, se encuentran considerados dentro de la Zona de Restauración Ecológica del área de influencia de la Presa Endhó.

1.4 Gases Efecto Invernadero en la Zona Metropolitana de Tula, Hgo.

En este apartado se expone el reconocimiento de la problemática ambiental desde cada municipio de la ZMT a partir del análisis de sus respectivas normativas municipales y de forma subsecuente, se presenta a manera de antecedente el impacto de riesgo ambiental que tienen los municipios que integran la Zona Metropolitana de Tula (Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan, Tula de Allende), a partir de los GEI.

El municipio de Atitalaquia, a través de su legislación interna, el Bando de Policía y Gobierno [BPG], en su título onceavo, capítulo II, refiere medidas de protección al medio ambiente, en el que se señala al ayuntamiento como vigilante y medio de acción para aplicar las medidas pertinentes con la finalidad de que no se deteriore el medio ambiente, respecto a la disposición de desechos finales indica que no deberán ser depositados en tiraderos a cielo abierto, prohíbe la quema de desechos en lugares no autorizados, señala la obligatoriedad para el desecho de residuos peligrosos de empresas asentadas en el municipio (BPG Atitalaquia, 2012). Referente a la normativa del municipio de Atotonilco de Tula confiere a su Dirección de Ecología y Protección al Medio Ambiente la formulación, conducción y evaluación de la política ambiental municipal, incluyendo la aplicación de principios e instrumentos de política ambiental determinados a la protección, conservación y restauración

del ambiente, considerando la aplicación de disposiciones en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas y móviles que no sean de jurisdicción federal, con la correspondiente participación del Estado, estableciendo como compromiso del ayuntamiento, la protección al medio ambiente (BPG Atotonilco de Tula, 2020). De similar forma, el municipio de Tlahuelilpan, regido mediante su Bando de Policía y Gobierno, confiere al ayuntamiento la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección del ambiente y particularmente señala en el ámbito de su circunscripción territorial la competencia para prevención y control de la contaminación de la atmosfera, generada en jurisdicción municipal (BPG Tlahuelilpan, 2016). Por su parte, el municipio de Tlaxcoapan se proclama como vigilante y tomador de decisiones para que no se altere el equilibrio ecológico en general; y finalmente, el municipio de Tula de Allende, a través de la Dirección de Protección Ambiental considera de orden público la protección, conservación, restauración, regeneración y preservación del ambiente (BPG Tula de Allende, 2019; BPG Tlaxcoapan, 2000). En similares condiciones, los municipios que integran la ZMT contemplan incluyen en su legislación primordial el deber ser respecto al cuidado ambiental, sin embargo, constituye de una forma simple, ambigua y poco ordenada.

Como parte de las aportaciones científicas, Guerrero-Escamilla y otros (2017), construyeron índices de impacto y de riesgo ambiental para el Estado de Hidalgo a partir de los totales de GEI emitidos en el estado en el año 2005, en los sectores de energía, industrial y desechos, los más importantes dadas sus altas emisiones.

Los indicadores que construyeron pronosticaron el grado de impacto ambiental a partir de la emisión de gases de efecto invernadero: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxidos nitrosos (N_2O), partículas por millón (PM), bióxido de azufre (SO_2) y Óxido de nitrógeno (NO_x), en el estado de Hidalgo.

El Índice de Impacto Ambiental lo construyeron a partir de seis índices, estos seis índices los calificaron mediante la categoría mostrada en la Tabla 1. Del mismo modo, en el estudio citado categorizaron las fuentes de emisiones de gases en puntuales, móviles, aérea, naturales, agrícola y ganadera, contenidas en la Tabla 2.

Tabla 1**Índice de Impacto Ambiental**

Índice de Impacto Ambiental (IIA)	Índice de Carbono (ICO ₂)		
	Índice de Metano (ICH ₄)	0.0 < IIA < 25.0	Bajo Impacto Ambiental
	Índice de Óxido Nitroso (IN ₂ O)	25.1 < IIA < 50.0	Moderado Impacto Ambiental
	Índice de Hidrofluorocarbonos (IHFC)	50.1 < IIA < 75.0	Alto Impacto Ambiental
	Índice de Perfluorocarbonos (IPFC)	75.1 < IIA < 100	Muy Alto Impacto Ambiental
	Índice de Hexafluoruro de Azufre (ISF ₆)		

Fuente: Guerrero-Escamilla y otros, 2017

Tabla 2**Fuentes de emisiones de gases**

Fuentes de emisiones	Sectores
Puntuales	Energía eléctrica, industria química, cemento y cal, automotriz, petróleo y petroquímica, textiles, bienes de base de minerales no metálicos, alimentos y sustancias químicas y artículos de plástico o hules.
Móviles	Autos particulares, taxis, combis, microbuses, pick up, camiones ligeros a gasolina, camiones pesados a gasolina, particulares a diésel, vehículos menores de 3 t diésel, vehículos mayores de 3 t diésel, vehículos a gas LP y motocicletas
Área	Consumo de solventes, limpieza de superficies industriales, recubrimiento de superficies arquitectónicas e industriales, lavado en seco, artes gráficas, panaderías, pinturas (automotriz y tránsito), fugas de gas LP en uso doméstico, HCNQ en la combustión, distribución y venta de gasolina, tiraderos a cielo abierto, aplicación de asfalto, combustión habitacional, incendios forestales y ladrilleras.
Naturales	Biogénicas.
Agrícola	Fuentes por actividad productiva en el campo, mediante la utilización de fertilizantes, herbicidas e insecticidas químicos, aguas negras y la de maquinaria agrícola.
Ganadera	Fuentes por actividad productiva en la ganadería (bovinos, porcinos, caprinos y aves de corral, entre otros).

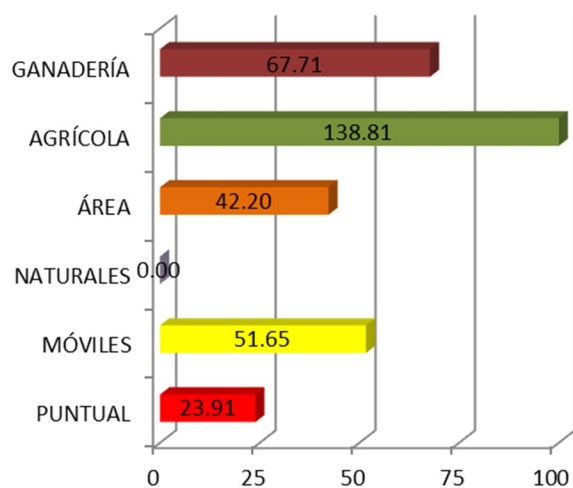
Fuente: Guerrero-Escamilla y otros, 2017

Tomando en cuenta el Índice de Impacto Ambiental para los municipios de la Zona Metropolitana de Tula, se puede analizar lo siguiente:

En el municipio de Atitalaquia se observa que el Índice de Metano (CH_4) y el Índice de Óxidos Nitrosos (N_2O) son los gases de muy alto impacto ambiental. El CH_4 , proviene de la actividad ganadera (bovino, porcino, caprino y ovino), y el N_2O tiene su origen en el uso de fertilizantes, quema de biomasa y transporte carretera. Referente a la fuente de emisión de gases del municipio, la principal es la agrícola, ya que está caracterizada por la actividad del campo, los insecticidas, las aguas negras y la maquinaria agrícola. La segunda fuente que resalta es la actividad ganadera, pues hay crianza de bovinos, porcinos, caprinos y aves de corral. Y la tercera emisión es la móvil, lo que se origina por la presencia de autos, camionetas, camiones, motocicletas, transporte pesado, ya sea combustible de gasolina, diésel o gas LP (Figura 1).

Figura 1

Fuentes de emisión de gases en el municipio Atitalaquia



Fuente: Guerrero-Escamilla y otros, 2017

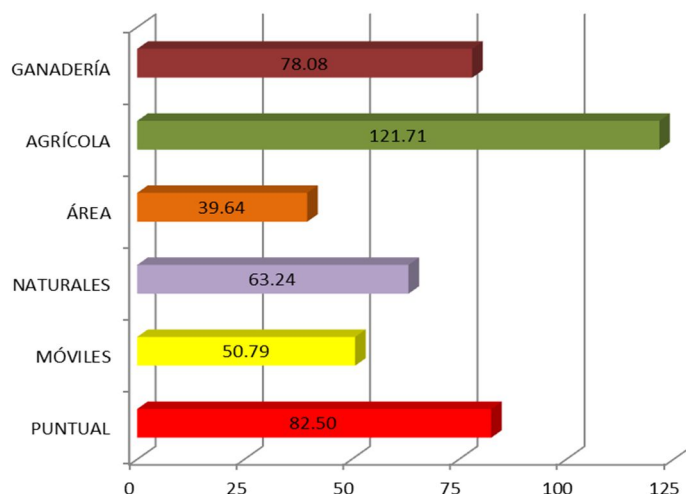
En el municipio de Atotonilco de Tula se observan cuatro índices de muy alto impacto ambiental, en primer lugar, el bióxido de carbono (CO_2), en segundo lugar, el material particulado (PM), en tercer lugar, óxido de nitrógeno (NO_x), y en cuarto lugar el metano

(CH₄). El CO₂, tiene su origen del transporte, los servicios públicos y la producción industrial; las PM tiene su origen del vapor o gas en el aire contaminado; el NO_x se origina de la agricultura intensiva, quema de biomasa y combustibles fósiles, fertilizantes nitrogenados; en tanto que el CH₄, proviene de la actividad ganadera.

La fuente principal de emisión de gases es la actividad agrícola, está caracterizada por la actividad del campo, el uso de insecticidas, las aguas negras y la maquinaria agrícola. La segunda fuente es la puntual, que refiere a la energía eléctrica, industria química, cemento y cal, automotriz, petróleo y petroquímica, textiles, bienes de base de minerales no metálicos, alimentos y sustancias químicas. La tercera fuente es la ganadera, se caracteriza por la crianza de bovinos, porcinos, caprinos y aves de corral (Figura 2).

Figura 2

Fuentes de emisión de gases en el municipio de Atotonilco de Tula



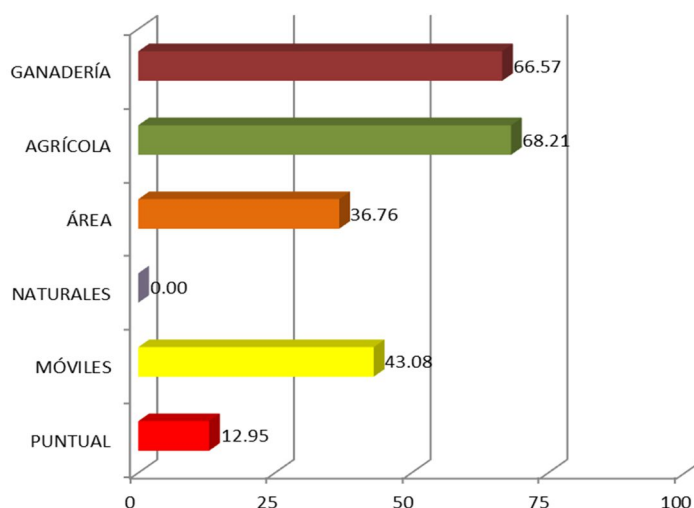
Fuente: Guerrero-Escamilla y otros, 2017

En el municipio de Tlahuelilpan se aprecian cinco índices en la categoría de alto impacto ambiental. El Índice de Metano (CH₄), se posiciona en primer lugar, en segundo lugar, el Índice de Óxido Nitroso (N₂O), en tercer lugar, el índice de Bióxido de Carbono (CO₂), en cuarto lugar, el Índice de Material Particulado (PM) y en quinto se posiciona el Índice de Óxidos de Nitrógeno (NO_x). El CH₄, procede de la actividad ganadera; la fuente del N₂O son los fertilizantes, la quema de biomasa y el transporte; el CO₂ se origina a causa

del transporte, los servicios públicos y la producción industrial; las PM, se generan por el vapor o gas, se encuentran presentes en proporción por cada millón de partes de aire contaminado y el NOx, provienen de la agricultura intensiva, quema de biomasa y combustibles fósiles, fertilizantes nitrogenados. La fuente principal de emisión de gases en el municipio de referencia, es la agrícola, caracterizada por la actividad del campo. La segunda es la ganadera, originada por la crianza de bovinos, porcinos, caprinos y aves de corral. La tercera la fuente de móviles que se origina por la presencia de autos, camionetas, camiones, motocicletas, transporte pesado, ya sea combustible de gasolina, diésel o gas LP (Figura 3).

Figura 3

Fuentes de emisión de gases en el municipio de Tlahuelilpan



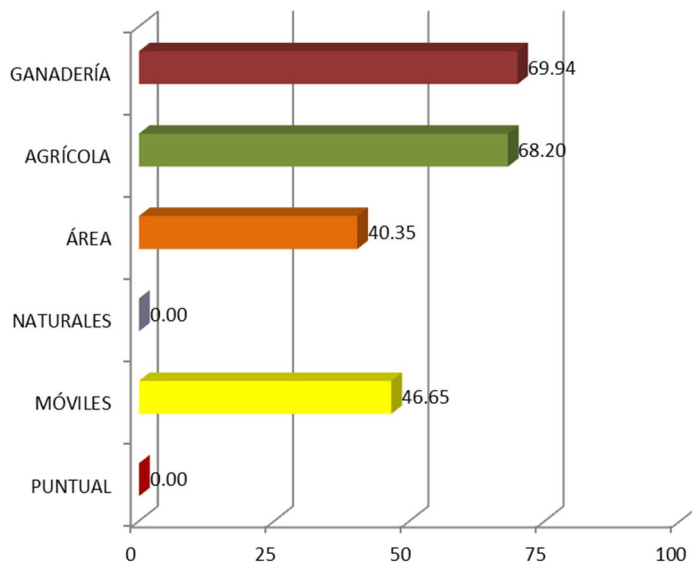
Fuente: Guerrero-Escamilla y otros, 2017.

En el municipio de Tlaxcoapan se aprecian el Índice de Metano (CH₄) en la categoría muy alto impacto ambiental. Y tres índices en alto impacto ambiental, el primero es el índice de Óxidos Nitrosos (NO₂), el segundo índice Bióxido de Carbono (CO₂) y el tercero índice de Partículas por Millón (PM). El CH₄, procede de la actividad ganadera; el NO₂ son los fertilizantes, quema de biomasa y transporte; el CO₂ se origina por el transporte, los servicios públicos y la producción industrial; las PM, se dan a causa del vapor o gas por cada millón de partes de aire contaminado. La fuente principal de emisión de gases en el municipio de

Tlaxcoapan, es la ganadería, originada por la crianza de bovinos, porcinos, caprinos y aves de corral. La segunda fuente contaminante es la agrícola, caracterizada por la actividad del campo. La tercera es la fuente de móviles, es la presencia de autos, camionetas, camiones, motocicletas, transporte pesado, ya sea combustible de gasolina, diésel o gas LP (Figura 4).

Figura 4

Fuentes de Emisión de gases en el Municipio de Tlaxcoapan



Fuente: Guerrero-Escamilla y otros, 2017

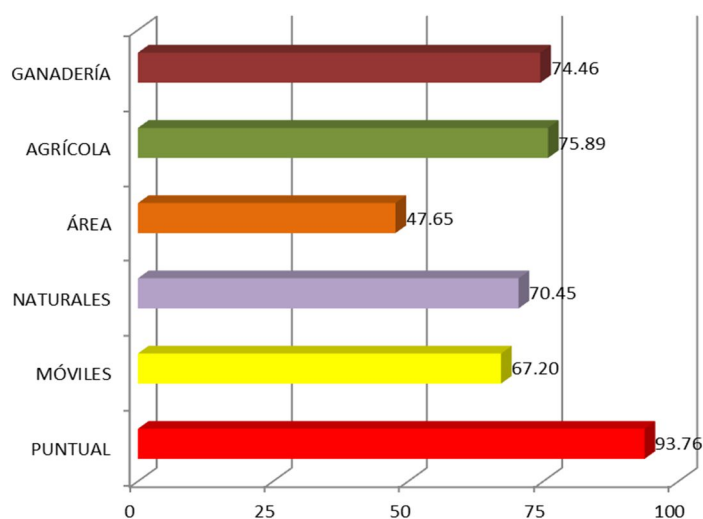
En el municipio de Tula de Allende se aprecia que es el municipio con mayor contaminación de la Zona Metropolitana de Tula. Tiene cinco de seis índices en la categoría muy alto impacto ambiental, iniciando en primer lugar el Índice de Partículas por Millón (PM), en segundo lugar, el Índice de Óxido de Nitrógeno (NOx), en tercer lugar, el Índice de Bióxido de Carbono (CO₂), en cuarto lugar, el índice de Óxidos Nitrosos (NO₂), y en quinto lugar el Índice de Metano (CH₄). El Índice de Bióxido de Azufre (SO₂) se encuentra en la categoría alto impacto ambiental. Las PM, se dan a causa del vapor o gas por cada millón de partes de aire contaminado; el NOx se origina de la agricultura intensiva, quema de biomasa y combustibles fósiles, fertilizantes nitrogenados; el CO₂, se origina por el transporte, los servicios públicos y la producción industrial; el NO₂ son los fertilizantes, quema de biomasa y transporte; el CH₄, procede de la actividad ganadera. En cuanto al SO₂, se origina durante

la combustión de carburantes fósiles que contienen azufre (petróleo, combustibles sólidos), en los procesos industriales de alta temperatura y de generación eléctrica.

En el mismo sentido, se puede ver que la fuente principal de emisión de gas en el municipio de Tula de Allende es la fuente puntual, que la origina la energía eléctrica, industria química, cemento y cal, automotriz, petróleo y petroquímica, textiles, bienes de base de minerales no metálicos, alimentos y sustancias químicas y artículos de plástico o hules. La segunda es la agrícola, caracterizada por la actividad del campo. La tercera fuente es la ganadería, originada por la crianza de bovinos, porcinos, caprinos y aves de corral. La cuarta es la fuente natural, originada por biogénicas (número de balnearios de aguas termales. La quinta es la fuente de móviles, presencia de autos, camionetas, camiones, motocicletas, transporte pesado, ya sea combustible de gasolina, diésel o gas LP. Y la sexta, es la fuente aérea, viene del consumo de solventes, limpieza de superficies industriales, recubrimiento de superficies arquitectónicas e industriales, lavado en seco, artes gráficas, panaderías, pinturas (automotriz y tránsito), fugas de gas LP en uso doméstico, HCNQ en la combustión, distribución y venta de gasolina, tiraderos a cielo abierto, aplicación de asfalto, combustión habitacional, incendios forestales y ladrilleras (Figura 5).

Figura 5

Fuentes de Emisión de gases en el Municipio de Tula de Allende



Fuente: Guerrero-Escamilla y otros, 2017

Como se mencionó anteriormente los cinco municipios que integran la Zona Metropolitana de Tula de Hidalgo, tienen un alto impacto ambiental que va incidir en la salud de la población mediante la aparición de enfermedades, para esta investigación se considera la incidencia en enfermedades respiratorias.

1.5 Elementos de Investigación

Se ha explicado la importancia, debido al efecto negativo, que tiene el incremento de la emisión de gases efecto invernadero con incidencia en enfermedades transmisibles para la población, esto bajo un contexto de política pública ambiental.

- El riesgo de enfermar por complicaciones respiratorias está aumentado en muchas más zonas del planeta por problemas derivados de la contaminación del aire a causa de: PM, SO₂, CO, NO_x, CH₄, N₂O (OMS, 2022).
- Por tal motivo, el problema político público ambiental que se aborda en esta tesis es la “incidencia de emisiones de gases efecto invernadero sobre problemas de enfermedades respiratorias en la población de la Zona Metropolitana de Tula, Estado de Hidalgo”.

Se parte de la siguiente conjetura:

“La presencia de enfermedades respiratorias dependerá de los gases efecto invernadero que se presenten”

Respecto a lo anterior, se plantea un objetivo general y cuatro objetivos específicos, también se esboza una pregunta general y cuatro preguntas específicas, así como la hipótesis.

1.5.1 Objetivo General

Bajo lo mencionado con antelación, se plantea el siguiente objetivo general:

Estimar la incidencia de emisiones de gases efecto invernadero sobre enfermedades respiratorias en la población de la Zona Metropolitana de Tula, estado de Hidalgo, 2022.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Identificar las enfermedades respiratorias que son detonadas por los gases efecto invernadero, a partir del contexto internacional, nacional y local.
- Explorar las políticas públicas ambientales y de salud en relación al impacto de los gases efecto invernadero en la salud.
- Determinar que enfermedades respiratorias se presentarán con mayor incidencia debido a la emisión de gases efecto invernadero.
- Elaborar recomendaciones de política pública para disminuir enfermedades respiratorias causadas por los GEI

1.5.3 Pregunta General

Con base en lo anterior, la pregunta general es la siguiente:

¿La incidencia de emisiones de gases efecto invernadero es elemento explicativo para las enfermedades respiratorias de la población que habita en la Zona Metropolitana de Tula en el estado de Hidalgo, 2022?

1.5.4 Preguntas Específicas

- ¿Cuáles son los gases efecto invernadero que inciden sobre las enfermedades respiratorias y de qué forma le afectan?
- ¿Cómo se relaciona los niveles de emisión de gases efecto invernadero de la Zona Metropolitana de Tula, con la incidencia de enfermedades respiratorias de la población?
- ¿Cuáles son las políticas públicas en materia ambiental y de salud diseñadas en Hidalgo?
- ¿El aumento de enfermedades respiratorias en la Zona Metropolitana de Tula está relacionado con la emisión de gases efecto invernadero?

1.5.5 Hipótesis

Partiendo de los objetivos y las preguntas de investigación, la hipótesis es la siguiente:

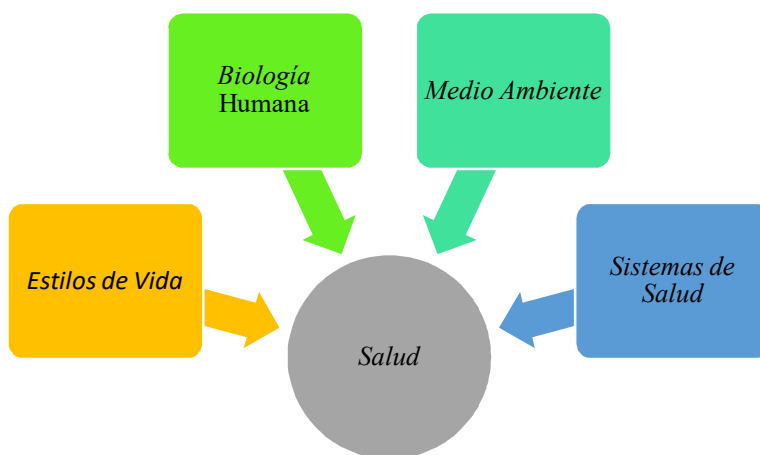
A la vez que aumente la incidencia de los gases efecto invernadero (PM, SO₂, CO, Nox, CH₄, N₂O) en la Zona Metropolitana de Tula, Hidalgo, la prevalencia de las enfermedades respiratorias de los residentes de la población aumentara.

1.5.6 Justificación

El estudiar el fenómeno de la incidencia de los gases efecto invernadero como causante de enfermedades respiratorias en la población, es porque el medio ambiente es parte de los principales determinantes de la salud de la población (Figura 6).

Figura 6

Modelo clásico de determinantes que influyen en la salud



Fuente: Elaboración propia con datos de Lalonde, 1974.

El medio ambiente está referido a la contaminación física, química, biológica, pues se ejerce una influencia al estado de salud, ya que el aire que se respira está determinado por el entorno en que nace y se crece en la situación de la comunidad. Las comunidades en las que el medio ambiente es deteriorado, los elementos relativos a la biología humana, el estilo de vida y la organización de la atención de salud también son inadecuadas (Lalonde, 1974).

En la sociedad actual la mejora del medio ambiente es un reto, no obstante, es un problema de salud pública latente que se tiene que atender para conseguir una mayor calidad de vida para la población, a raíz de esto se incrementan las enfermedades gastrointestinales, del corazón y respiratorias, aunque hay acciones contra la contaminación emanada de los automotores y de fábricas, en México y en el mundo prevalece la quema de combustibles fósiles y del carbón.

Las enfermedades respiratorias están a la par con los altos niveles de contaminantes por partículas suspendidas, y ozono. Bajo un margen de pocas lluvias, una falta parcial de abastecimiento de agua potable y con baja presión.

A nivel global se tendrán que reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para prevenir las crisis sanitarias, pues el cambio climático propicia el aumento de enfermedades respiratorias originadas por los diversos contaminantes. Es por ello que mediante esta investigación se busca conocer la incidencia de los GEI y proponer recomendaciones de política pública ambiental y de salud, de forma integral y focalizada a reducir riesgos.

La Zona Metropolitana de Tula, Hidalgo, es conocida por ser un área de contaminación recurrente, tanto en suelo, aire y tierra, derivado de la actividad agrícola, ganadera e industrial, siendo esta última la de mayor relevancia en la Zona pues en ella se localiza la Refinería “Miguel Hidalgo” perteneciente a PEMEX, está emite grandes cantidades de dióxido de azufre (SO_2) y material particulado ($\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10}), también se encuentra la Central Termoeléctrica “Francisco Pérez Ríos” manejada por la CFE, la cual emplea combustóleo con un gran contenido de azufre (S) y a su vez generando emisiones de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno (NO_2) y material particulado (Iniciativa Climática de México, 2021), de igual manera, operan las cementeras “Holcim-Apasco”, “CEMEX” y “LAFARGE”, “CRUZ AZUL” y las caleras “BELTRÁN” y “EL TIGRE” que igualmente, generan contaminación química por el proceso de calcinación de piedra caliza, liberando dióxido de carbono (CO_2), óxido de nitrógeno, óxido de azufre, material particulado ($\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10}) y caleras (Caleras Beltrán), así como industrias químicas, metalúrgicas y metalmecánicas, que también contribuyen de forma significativa a la carga de contaminantes

atmosféricos en la región. Si bien el desarrollo de estas actividades propicia un desarrollo económico y provee el sustento de gran parte de la población que habita los municipios que comprenden la ZMT y los municipios aledaños, tiene una contraparte perjudicial reflejada en el bienestar de las personas que enferman a causa de los contaminantes generados y llegados a la zona, ya que también es paso de aguas negras y aires provenientes de la Ciudad de México.

La ubicación, el impacto e importancia económica de la ZMT tanto para el estado, como para el país influye en la aplicación de políticas de todo tipo, en este sentido resulta necesario analizar la política ambiental y de salud desarrollada en la zona desde un contexto local, nacional e internacional. Parte crucial de los problemas ambientales vividos en la zona se relaciona con la contaminación de aire y el impacto generado tanto al ser humano como al planeta, por lo que la presente propuesta de investigación busca relacionar el efecto de los gases efecto invernadero y su incidencia en las enfermedades respiratorias del ser humano, bajo el amparo de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que en su artículo cuarto dota como derecho humano un ambiente sano para el desarrollo y bienestar de toda persona, garantizado dicho derecho por el Estado, así como la protección de la salud, por tanto, el presente trabajo de investigación pretende ser de utilidad social, ya que busca recomendar mejoras a la política pública principalmente en materia ambiental, con la finalidad de disminuir la emisión de GEI y por ende, la generación de enfermedades a causa de ella, apoyando el quehacer público de instituciones públicas y ONG 's.

Algunos autores han estudiado el impacto que tiene la actividad industrial en municipios de la ZMT y contiguos, en la emisión de GEI, poniendo de manifiesto los problemas generados en por la emisión de dichos gases. En el mismo sentido, la revisión literaria permite conocer estudios sobre la influencia de algunas industrias ubicadas en la ZMT, en la calidad de aire regional, por lo que este trabajo refuerza la necesidad de atender con urgencia el problema ambiental de la Zona, esta vez, mostrando la influencia que mantienen los GEI en la incidencia de enfermedades respiratorias y la política pública desarrollada en materia, específicamente en la Zona; asunto del cual no se ha localizado un estudio similar aplicado en el lugar de estudio. Debido a que se pretende diagnosticar la

incidencia de las emisiones de gases de efecto invernadero en problemas de salud respiratoria en la población de la Zona Metropolitana de Tula, se plantea realizarlo a través de la metodología cuantitativa de investigación de operaciones, con la intención de emitir una propuesta de mejora a la política pública ambiental; este trabajo pretende ser de utilidad a estudiantes, académicos e instituciones cuya línea del conocimiento gire en torno a la temática ambiental, cambio climático y gases efecto invernadero, pretendiendo ser flexible a su aplicación en zonas geográficas distintas con particularidades semejantes a la región de estudio.

1.6 Alcances y Límites de la Investigación

1.6.1 Alcances

- El modelo probabilístico que se pretende construir para explicar el fenómeno de estudio, puede ser utilizado (con variables de un lugar determinado) en cualquier nivel de gobierno, pues los resultados serán relevantes y contundentes.
- El modelo probabilístico permitirá a los decisores de política pública ambiental tomar decisiones más eficientes que orienten la forma de crear, evaluar y modificar la política pública actual.

1.6.2 Limites

En esta tesis se plantea realizar un modelo probabilístico, este va a tener un margen de error que no va ser explicado por el propio modelo.

- Esta investigación intenta ofrecer una herramienta eficiente para la toma de decisiones en la materia de política pública ambiental.
- El problema de la calidad del aire es a causa de los gases efecto invernadero, esta incidencia tiene un comportamiento derivado de la contaminación ambiental que afecta a la salud de toda la población; los gobiernos internacionales y nacionales saben de las consecuencias que trae consigo el incremento de lo GEI, bajo este escenario esta tesis de investigación intenta enfatizar la importancia de construir una herramienta científica para calcular la probabilidad de que ocurra un evento en determinada situación.

1.7 Propuesta Metodológica

En el contexto de las Políticas Públicas Ambientales, la construcción de modelos permite abordar problemáticas sociales que son realidades complejas donde múltiples variables inciden ante el fenómeno.

Con base a los objetivos, las preguntas y la hipótesis, el desarrollo de la presente investigación pretende utilizar la metodología de Investigación de Operaciones, la cual se conforma de cinco fases (Thrierauf, 1982; Taha, 2012):

- I. Definición y delimitación del problema.
- II. Construcción o formulación del modelo.
- III. Solución o estimación del modelo (construcción de una ecuación).
- IV. Validación del modelo (cumplimiento de los supuestos de inferencia para validar el modelo).
- V. Implementación y análisis de los resultados (interpretación de los parámetros obtenidos).

Esta propuesta será pertinente, pues la Investigación de Operaciones, es un método analítico avanzado que permite la resolución de problemas y la toma de mejores decisiones (Thrierauf, 1982; Taha, 2012). Es decir, aborda fenómenos de estudio realizando modelamiento con técnicas estadísticas, con el objetivo de identificar tendencias y ayudar a elegir la mejor respuesta en una serie de alternativas mediante la optimización.

Conclusión

El incremento de los gases efecto invernadero en la atmosfera, están ocasionando una alteración en la temperatura del planeta, ocasionando el fenómeno denominado cambio climático y da como resultado un elemento negativo en las enfermedades respiratorias en la población; es por ello, que en este capítulo se explicó la importancia que tiene este fenómeno de estudio, pues la ZMT es un territorio con muy mala calidad de aire, como se explicó. Asimismo, se hace mención de los elementos de investigación y de la propuesta metodológica para este trabajo de investigación.

Capítulo II. Estado del Arte

Introducción

La literatura científica disponible nos muestra ampliamente los efectos que tiene la contaminación atmosférica, derivada de la emisión de gases de efecto invernadero, sobre la salud del ser humano, en este apartado se aborda la evidencia sobre el daño causado en la salud respiratoria. El presente capítulo, aborda algunos trabajos de investigación que muestran los efectos negativos de la contaminación partiendo desde la literatura existente, desarrollada en diversas partes del mundo, se detallan los trabajos realizados en América Latina, para puntualizar la literatura creada a partir de casos mexicanos y en la parte final, muestra los trabajos sobre el tema en cuestión, desarrollados en el estado de Hidalgo; en una línea cronológica, considerando principalmente aquellos que muestran la relación entre los niveles de contaminación con el desarrollo o agravamiento de enfermedades respiratorias y pulmonares.

2.1 Literatura Institucional sobre los Gases Efecto Invernadero al Cambio Climático

Desde mediados del siglo XX, la relación entre los gases efecto invernadero y el actual cambio climático ha sido demostrada por la comunidad científica, quienes de forma constante señalan el impacto que generan los GEI a las condiciones naturales de la Tierra, y alertan a gobiernos, comunidades científicas, académicas y sociales, sobre la importancia de tomar acciones para reducir drásticamente las emisiones antropogénicas. Se han creado instituciones especializadas, organismos nacionales e internacionales que han externado la preocupación por la constante emisión de gases efecto invernadero y el potencial daño que pueden causar tanto a las condiciones naturales del planeta como al bienestar de los seres vivos que en ella habitan. De forma constante, estos organismos generan conocimiento respecto al impacto directo que tienen las concentraciones de GEI con el calentamiento global, y como es que, durante los últimos años, cada año se genera un nuevo récord en las mediciones con respecto al ciclo anterior, posicionándose como el de mayor emisiones.

Desde el año 2006 se ha desarrollado y actualizado el Índice Anual de Gases de Efecto Invernadero por el Laboratorio de Monitoreo Global de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (2025) mediante el cual se sabe que el 96% del cambio energético sostenido de la Tierra es provocado por 5 gases efecto invernadero entre ellos se encuentran el metano, el dióxido de carbono y el óxido nitroso, el 4 % restante es causado por 17 diversos GEI. De manera anual, el Laboratorio publica los datos referentes al Índice Anual de Gases de Efecto Invernadero, en beneficio de la comunidad científica, para que ésta pueda observar el cambio del comportamiento de las emisiones.

Desde su conformación, en 1988, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático ha formulado conocimientos científicos, socioeconómicos y técnicos al respecto, señalando sus posibles causas, consecuencias y ejes de respuesta. En tenor de ello, el IPCC (2021) señaló que, durante la década de 1980, la concentración de CO₂ incrementó producto de la actividad humana, en un equivalente aproximada al 50%, registrando un aumento de 3.2 billones de toneladas de carbono, la tasa de crecimiento de metano fue de 37 millones de toneladas y la tasa de incremento de óxido de nitrógeno de situó en 3.7 millones de toneladas al año, además de que la emisión de aerosoles antropogénicos y percusores han aumentado en los últimos años. Con esta información se permite a los gobiernos y encargados de formular políticas públicas conocer la urgencia en la actuación para reducir las emisiones de GEI, mitigar sus efectos y entablar acciones de adaptación.

Otro organismo internacional que señala la relación de los gases en el cambio climático es la Organización Meteorológica Mundial [OMM], quien ha señalado un aumento sin precedentes de las concentraciones de gases efecto invernadero, que en especial, genera una gran preocupación debido al aumento del 11.4% de la presencia del CO₂, el cual tiene una alta persistencia en la atmósfera, haciendo inevitable el aumento de la temperatura en los años subsecuentes, sobrepasando la capacidad de los sumideros naturales de carbono, durante 2023 el aumento de los GEI con respecto a sus niveles preindustriales (antes de 1750) ha sido de 151% para el CO₂, 265% para el CH₄ y 125% para el N₂O; el año 2023 fue el 12° año consecutivo en que el aumento en la concentración de CO₂ en la atmosfera es mayor al año

que le precede (OMM, 2024), la situación se agrava a causa del Niño (fenómeno meteorológico) y de incendios forestales, además, la Organización señala que si incluso se alcanzara el cero neto de emisiones, el problema del nivel de temperatura persistiría varias décadas a causa del periodo extremadamente prolongado de persistencia del CO₂.

Mediante su programa Acción por el Clima, la ONU, ha reconocido al dióxido de carbono y el metano, como los principales GEI que generan cambio climático, señalando su origen antropogénico debido al uso de gasolina, la degradación de bosques, desmonte de tierras, la agricultura, la energía, la industria, el transporte y el uso de petróleo y gas; las consecuencias del fenómeno climático incluyen sequías intensas, escasez de agua, incendios severos, aumento en el nivel del mar, deshielo de los polos árticos, inundaciones, severas tormentas y disminución de la biodiversidad (ONU, 2024).

En años recientes ha sido mayor el enriquecimiento de la literatura emanada desde organismos internacionales pues se ha elaborado diversa información con rigurosa metodología y bases científicas, respecto al efecto de la emisión de GEI en el cambio climático acelerado por la actividad humana, en niveles preocupantes, instando a las naciones a tomar medidas para disminuir las emisiones y frenar el calentamiento. Mediante dichas instancias, se ha enriquecido de forma oficial la información respecto al fenómeno del cambio climático, dotando a gobiernos, sociedad y comunidad científica y académica, de datos, proyecciones y sugerencias de ejes de acción al respecto. Así mismo, sirven de referente, especialmente para la comunidad científica para enriquecer la literatura mediante el estudio del fenómeno cambio climático y sus implicaciones en diversas disciplinas y temporalidades.

2.2 Modelos Matemáticos o Probabilísticos para el Cambio Climático y ER

Además de la información emanada desde instancias oficiales tanto internacionales como nacionales, la comunidad científica continuamente aborda el tema del cambio climático y la emisión de GEI, y sus consecuencias para el ser humano, en especial, en la salud respiratoria. Se han desarrollado diversos estudios empíricos sobre el impacto que tienen los GEI en las enfermedades respiratorias. En razón de ello, se ha realizado la búsqueda de evidencia

científica que respalde la conjetura principal de esta investigación, por lo que se presentan los principales estudios desarrollados al respecto a nivel mundial y nacional, resaltando su metodología y principales resultados. A pesar de existir diversas investigaciones, a nivel local, este tipo de exploraciones son mínimas, con lo que se resalta la importancia que tiene este trabajo a nivel regional.

2.2.1 Contexto Internacional

En el ámbito internacional, se encuentran investigaciones relacionadas a grupos considerados de mayor vulnerabilidad por pertenecer a ciertos rangos de edad o padecer algunas morbilidades, al respecto, resalta el trabajo realizado por Botas, Rendon y Neria, quienes con la intención de determinar la asociación entre la contaminación ambiental y el agravamiento de infecciones respiratorias en niños, toman una población de 38 menores de 16 años, caracterizados por ser atendidos en el área de urgencias de un hospital español, debido a complicaciones por infección en vías respiratorias bajas, los investigadores logran identificar una asociación entre los ingresos al hospital y el máximo de contaminantes a los que el menor había estado expuesto durante las 48 horas previas a su ingreso al hospital, con el estudio se logra identificar una tendencia entre los niveles de ozono y la gravedad de la afección en vías respiratorias bajas, aunque no se logra demostrar una relación estadísticamente significativa (Botas, Rendón y Neria, 2010).

Determinar la ubicación espacial de la información acerca de las enfermedades permite mayor perspectiva de la incidencia de ciertas enfermedades, por su importancia, destaca un estudio español, es el presentado por Ortega-García, López-Hernández, Sobrino-Najul, Febo y Fuster-Soler (2010), quienes a través de un estudio descriptivo y de georreferenciación buscan la creación de mapas de incidencia de enfermedades vinculado a la historia ambiental pediátrica, los autores refieren que la integración de esta información permitiría un sistema de vigilancia medio ambiental con el cual se pondere la importancia de los factores de riesgo asociado.

Abonando a la literatura desarrollada en España, Monsalve (2011), desde el campo de la física, busca determinar y caracterizar las relaciones existentes entre las variaciones de

morbilidad y mortalidad diarias registradas en Castilla-La Mancha, durante el periodo comprendido entre los años de 2000 a 2006, considerando enfermedades cardiovasculares y respiratorias, mediante información proveniente de hospitales, y considerando variables atmosféricas (temperatura, presión, media, presión, humedad relativa y radiación). En términos generales, la investigación determina que la incidencia se registra mayormente para la población mayor a 65 años, tanto en enfermedades cardiovasculares como para enfermedades respiratorias, registrándose un ingreso significativamente más alto de lunes a jueves, en comparación con los fines de semana.

Entre la literatura disponible, resalta un estudio desarrollado en un espacio geográfico amplio, realizado por Gasparrini y otros (2017), con datos de 451 lugares de 23 países, con información del año 1984 hasta 2015, los investigadores han estimado la relación temperatura-mortalidad, mediante series temporales de dos tiempos, entre sus resultados se encuentra una relación del aumento neto del exceso de mortalidad relacionado con la temperatura bajo un escenario (hipotético) de altas emisiones de GEI, en regiones más cálidas como el centro y sur de América o Europa se proyecta un aumento en los impactos producidos por el calor, bajo un escenario de altas emisiones destacan los autores impactos desproporcionados en regiones más cálidas y de mayor pobreza en el mundo, por lo que se enfatiza en la necesidad de políticas de mitigación para reducir el calentamiento global y sus efectos al ser humano.

La autora, Pérez (2017), con el objetivo de encontrar la conexión entre las enfermedades y los tipos de condiciones atmosféricas, utiliza datos de admisión hospitalaria asociados a patologías cardíacas, así como datos de clasificación de patrones de contaminación atmosférica y variables meteorológicas en Galicia, el periodo de estudio abarcó de 2001 a 2011 en dos estaciones: en verano, de abril a septiembre, y en invierno, de octubre a marzo. Pérez analiza la frecuencia de aparición de las enfermedades en estos periodos, como resultado, la investigación mostró que los hombres son más vulnerables a sufrir patologías cardiovasculares; en invierno se observó aún mayor número de ingresos, en tanto que, la población más afectada fue la que tenía 65 años o más, la autora refiere que la humedad del invierno y las temperaturas elevadas en verano puedan ser las causantes de estos

ingresos, referente a los factores atmosféricos, el dióxido de nitrógeno puede afectar sobre todo en el verano al número de ingresos, debido a que su concentración es alta e influye en los ingresos por afecciones a su salud en hospitales ubicados en Galicia, España.

En el continente asiático, Chen y otros (2018), tras recopilar información de 104 ciudades de China durante el periodo de abril 2013 a octubre de 2015, mediante simulaciones de Monte Carlo, estimaron los excesos de mortalidad aguda anual y estacional futura relacionada con el ozono atribuible al cambio climático, los autores han estimado que para el periodo de 2053-2055, bajo un escenario de calentamiento global y altas emisiones, se produciría un exceso de muertes no accidentales, enfermedades cardiovasculares (de 5 a 8 veces mayor que a causa de enfermedades respiratorias), en concordancia, sugieren la necesidad de aplicar medidas de mitigación del cambio climático para prevenir aumento en la carga sanitaria a causa de la exposición a la contaminación ambiental.

Achebak, Devolder y Ballester (2018), tras la recopilación de información relativo a la temporada de verano en 47 ciudades españolas, de 1980 a 2015, han estimado la variación temporal de la mortalidad relacionada con el calor, mediante la aplicación de un modelo estándar de regresión cuasi-poisson, entre sus resultados obtenidos, los autores señalan muertes atribuibles al calor en mayor proporción en mujeres que en varones, debido a causas circulatorias así como causas respiratorias.

Los autores Esteban, Bote-González, Alexandre, Balaguer y Jordán (2019), abonan a las investigaciones disponibles sobre el tema de estudio, pues con la intención de verificar la influencia del clima y la contaminación atmosférica sobre las enfermedades en infantes, especialmente de enfermedades respiratorias, a modo de estudio piloto utilizan una muestra de 391 pacientes del área metropolitana de Barcelona con ingresos hospitalario por bronquitis en un periodo de 2011 a 2016. Tomando también valores de la calidad del aire de 10 días previos a la fecha del ingreso del paciente y aplicando análisis de series temporales. Obtienen por resultado que el contaminante con mayor asociación a la frecuencia de los casos de bronquitis fue el NO_2 .

Resaltan investigaciones que proyectan los efectos del cambio climático a finales del siglo XXI, tal es el caso del estudio realizado por Neuman y otros (2019), quienes considerando los impactos proyectados del cambio climático en la exposición futura del polen (causante de episodios de asma alérgico) en Estados Unidos, prevén un aumento en las visitas a urgencias del 14% en el año 2090, ante un escenario de altas emisiones de gases efecto invernadero, en cambio, para escenarios con emisiones moderadas de gases, el crecimiento en las visitas a urgencias sería del 8%.

Ortega-García, y otros (2020), han contribuido a la evidencia empírica, aplicando un estudio ecológico con datos de 2015, referente a las visitas a hospitalarios de menores de 17 años en Murcia, debido a patologías respiratorias, los autores generaron una regresión logística para el riesgo de ingreso hospitalario asociado a los promedios diarios de los contaminantes atmosféricos NO₂, O₃ material particulado 10 y SO₂, tomando en consideración variables como edad, temperatura ambiental media diaria y estación del año. Como resultado, los investigadores han definido que de un total de 12,354 niños con patologías respiratorias que llegaron al área de urgencias, la contaminación atmosférica urbana aumenta el ingreso hospitalario en pediatría por este tipo de patologías, particularmente por crisis de asma bronquiolitis, por lo que urgen a poner en marcha medidas preventivas y ampliar este tipo de estudios.

Utilizando estimaciones del método generalizado de momentos, Taghizadeh-Hesary y otros (2021), investigan la relación existente entre el consumo de combustibles fósiles y los problemas de salud, con información recopilada de 18 países asiáticos, caracterizados por tener ingresos bajos y medios, tomando como periodo de estudio el comprendido entre los años de 1991 a 2018, mediante el estudio, los autores obtienen hallazgos en los que destaca el efecto significativo de las emisiones de CO₂ y el consumo de combustibles fósiles en tasas de desnutrición y mortalidad, generando riesgo de enfermedades pulmonares y respiratorias, los autores concluyen en que transitar a fuentes de energía renovables puede minimizar los impactos negativos en la salud humana.

Rahman y otros (2022), evalúan la asociación a corto plazo de la variación de la temperatura (efecto de la emisión de GEI), con las visitas diarias al servicio de urgencias médicas debido a enfermedad cardiovascular y enfermedad respiratoria, con datos de 2014 a 2017, a través de desviaciones estándar, los autores obtienen como resultado que el aumento de un grado Celsius de temperatura se asocia con el incremento del 2.77% en visitas a urgencias por enfermedades respiratorias, encontrando variaciones según la edad, siendo los adultos mayores quienes presentaron mayores afectaciones (pacientes mayores de 50 años). El estudio se resalta el impacto del aumento en la temperatura en la incidencia de enfermedades respiratorias, considerando que el cambio climático causado por la excesiva emisión de gases efecto invernadero a la atmósfera se encuentra estrechamente relacionado con el calentamiento global, es decir, el aumento de temperatura es inherente a la emisión de GEI.

Mediante el desarrollo de investigación doctoral, Ruiz (2022), con el objetivo de analizar la relación entre el número de ingreso diario al área de urgencias por asma y la concentración media diaria de PM_{2.5}, PM₁₀, dióxido de nitrógeno y ozono, establece la hipótesis de que el incremento de la concentración de los contaminantes puede asociarse con el aumento de las exacerbaciones por asma en la población adulta, el autor desarrolla un estudio ecológico retrospectivo de series temporales, considerando pacientes mayores de 14 años que visitaron urgencias por asma durante el período de 2010 a 2018 a través de un modelo lineal generalizado y un análisis de caso cruzado. Teniendo una muestra de 2,527 ingresos a urgencias por asma, correspondiente a 1588 pacientes, observando una asociación positiva significativa entre la contaminación por NO₂ y las visitas a urgencias por asma, siendo la población mayor de 50 años la más susceptible además señala que se observa una tendencia de asociación entre el material particulado 2.5 con el ingreso a urgencias

En la región latinoamericana algunos de los trabajos de investigación que por su importancia destacan es el realizado por De la Pava, Salguero y Fernández (2008), quienes diseñan un modelo matemático cuya finalidad es relacionar enfermedades pulmonares, particularmente asma, bronquitis e infecciones respiratorias agudas, con la concentración de material particulado PM₁₀, contenido en la atmósfera de la ciudad de Cali, Colombia, para lo

cual divide la población muestra en tres grupos: población susceptible, población con enfermedades pulmonares y población de enfermos, con ello, los autores concluyen en la existencia de una correlación entre la presencia de PM_{10} y las enfermedades pulmonares presentadas en la población, las cuales mantienen un nivel más alto en los sectores con mayor presencia de material particulado, en relación con los sectores con menor concentración de PM_{10} .

Los autores Estrella y otros (2000), con el propósito de determinar la influencia de la contaminación atmosférica proveniente de la combustión vehicular, en la incidencia de enfermedades respiratorias en niños que habitan zonas urbanas y rurales de Quito, Ecuador, toman una muestra de 906 niños, durante un período de 3 meses los niños fueron frecuentados por pediatras para determinar infección respiratoria teniendo como resultado que los niños que se encontraban en la región centro registraron afectación, siendo notorio que a mayor contaminación, los residentes del área presentan mayor incidencia de enfermedades respiratorias.

Otro estudio realizado en Latinoamérica es el realizado por Solarte, Caicedo y Restrepo (2002), con el objetivo de encontrar la asociación entre las fluctuaciones de concentración del material particulado 10 y la morbilidad por enfermedad respiratoria presentada en menores de 14 años en 5 regiones de Santa Fe, Bogotá, durante un período de 6 meses del año de 1999. Los autores realizan un estudio de observación analítico y un estudio de cohorte prospectivo, para lo cual escogieron dos áreas residenciales, que mostraban diferencias en sus niveles de contaminación, teniendo un grupo expuesto a altos niveles y un grupo expuesto a bajos niveles de material particulado, para ello, el grupo de estudio debía tener la característica de estar la mayor parte del tiempo en su vivienda, en su centro educativo o en su zona; tras realizar las mediciones, los autores concluyen que se puede afirmar que las concentraciones de material particular 10 en los sitios analizados superan los máximos permisibles anuales, en razón de ello, el número de consultas de niños menores de 14 años se encuentra asociada con la concentración de material particulado en los días precedentes un aumento en la presencia de este material produce un aumento de por lo menos el 8% en el número de consultas por afecciones respiratorias.

Los autores Alem, Luján y Bascopé (2005), evalúan el impacto de la contaminación sobre casos de enfermedades respiratorias atendidas en el centro pediátrico Albina Patiño ubicado en Cochabamba Bolivia, durante el año 2004, para lo cual han aplicado un estudio ecológico de series de tiempo, con la finalidad de asociar los niveles de contaminación por dióxido de nitrógeno y ozono en consultas externas a causa de enfermedades respiratorias, tomando en consideración cuatro patologías: asma, bronquitis, bronquiolitis y neumonía-bronconeumonía; haciendo uso de un modelo de regresión de Poisson, han encontrado que la mayor asociación de los contaminantes a los efectos de la salud proviene del NO₂ y del ozono.

Hernández, Aristizábal, Salgado, Cantor, Medina, Barrera y Bayona (2009), con la intención de determinar la relación entre contaminación del aire extra e intramuros debido a la presencia de partículas PM₁₀, y su asociación con síntomas respiratorios, en una población compuesta por niños menores de 5 años en Colombia, toman una muestra conformada por menores de prescolares ubicados en las localidades de Puente Aranda, Kennedy y Fontibón, Distrito Capital, Colombia, cuya residencia fuera menor a 1km del centro educativo y su permanencia en el mismo ocurriera de 7:00 a 17:00 hrs; para lo cual, los autores han diferenciado entre una muestra de 300 individuos en cohorte expuesta y 300 en no expuesta, apoyados por monitores del material particulado en intramuros y extramuros, en el periodo comprendido de julio a diciembre de 2007; aplicando un análisis multivariado, los autores identificaron los factores asociados a los síntomas respiratorios: tos y flemas de tres o más días de evolución, expectoración y silbidos, tos y ahogo, síndrome ONG (ojos, nariz tapada, mocos, fiebre y dolor de cabeza); evidenciando factores ambientales influyentes para el desarrollo de dichas afecciones, tales como la cercanía a fuentes de emisión provenientes del tráfico, edificaciones o inmuebles en vías de construcción ubicados a menos de 100mts de la vivienda de los menores, tabaquismo, fabrica o negocio dentro de la vivienda. Con ello, los autores evidencian una asociación entre la contaminación atmosférica debido a la presencia de PM y el ausentismo escolar a causa de enfermedades respiratorias en la población objeto de estudio.

Destaca el estudio realizado por Jiménez (2011), elaborado con la intención de evaluar la asociación entre los niveles de PM_{10} y las consultas respiratorias en menores de 15 años y población adulta mayor a 60 años, así como las muertes generadas por afectaciones respiratorias, durante el período comprendido entre los años 2010 y 2011, para lo cual la autora toma medidas de la concentración diaria de PM_{10} y considera variables meteorológicas, así como las consultas respiratorias diarias registradas en instituciones de salud y cifras de mortalidad. Para desarrollar un estudio ecológico mediante series de tiempo. La autora encuentra una asociación significativa entre la variación diaria PM_{10} y las enfermedades respiratorias en niños y adolescentes menores de 15 años.

Los autores Hernández-Flórez y otros (2013), a través de un estudio de cortes con una población de 315 niños y niñas de jardines (preescolar) ubicados en zonas de mayor exposición a material particulado 10, toman una muestra de 304 niños y niñas de jardines escolares ubicados en zonas de menor exposición a materia particulado, además de considerar síntomas respiratorios y mediciones de PM_{10} en aire intramuros y extramuros; los investigadores han relacionado la prevalencia y asociación entre variables con el objetivo de determinar la incidencia entre la contaminación del aire extramuros e intramuros a causa del material particulado PM_{10} con síntomas respiratorios en niños de 5 años o menos residentes de Distrito Capital, Bogotá Colombia. Como resultado, los autores señalan una diferencia de promedios del material particulado intramuros, concluyendo que un niño menor de 5 años expuesto a PM_{10} tiene 1,7 veces más riesgo de presentar ausentismo escolar debido a enfermedad respiratoria aguda, así mismo señalan que reducir la presencia de material particulado 10 reduciría en un 41.1% el ausentismo escolar derivado por afecciones respiratorias.

Otro estudio empírico que destaca, es el realizado por Duque y Herrera (2015), con el objeto de identificar la influencia del clima en la incidencia del dengue en departamentos del Centro-Occidente y la Orinoquía Colombiana, a través de un estudio metodológico cuantitativo, ecológico exploratorio, realizan una comparación de tasas de incidencia de infección por dengue en entre los departamentos Orinoquía y Centro Occidente, en Colombia; para ello ocuparon datos de morbilidad y mortalidad, así como factores climáticos

(altitud, latitud, longitud, temperatura, precipitación, humedad relativa). Los autores concluyen que, el clima influye en la incidencia del dengue en los departamentos sujetos a estudio, evidenciando una relación significativa entre las tasas de incidencia y las variables climáticas consideradas.

Por su parte, los autores Sarmiento, Hernández, Medina, Rodríguez y Reyes (2015), desarrollan un estudio de cohorte dinámica, aplicado en territorio colombiano, específicamente en cinco localidades pertenecientes a Bogotá, durante el periodo comprendido de 2008 a 2011, considerando una muestra de 33,278 niños, divididos en dos grupos de acuerdo a la exposición con material particulado atmosférico; los autores logran identificar mayor incidencia de tos en niños con mayor exposición al material particulado, así como mayor presencia de casos de expectoración y silbancias, además, los autores infieren que los efectos de la contaminación ambiental se potencializan por las condiciones socioeconómicas y laborales del entorno de la población muestra.

Otro estudio que destaca en el ámbito internacional es el realizado por Martín y Sánchez (2017), elaborado con la intención de estudiar la relación que existe entre los niveles de contaminación atmosférica y la demanda de consultas pediátricas de atención primaria por enfermedades respiratorias, los autores aplican un estudio ecológico en el que la variable dependiente ha sido la demanda de consultas pediátricas durante un período de 3 años que abarca de 2013 a 2015, tomando en consideración las consultas por bronquitis, episodios broncoespasmos y procesos respiratorios de vías altas, además, toma como variables independientes los valores de contaminación ambiental, para el estudio calculan coeficientes de relación y regresión lineal múltiple, comparando el promedio de consultas cuando los valores de dióxido de nitrógeno son superiores e inferiores a los permitidos; la muestra fue conformada por 6,473 consultas pediátricas por procesos respiratorios. Como resultado, los autores encontraron una correlación positiva entre los niveles de SO₂, CO, NO₂, NO_x y benceno, con el número de consultas por complicaciones respiratorias. Así mismo, encontraron una correlación negativa con el número de consultas y la temperatura y los registros de ozono.

Otro estudio desarrollado en materia es el de Fabra-Arrieta y Mejía-Toro (2019), quienes aúnan a la literatura colombiana, elaborada con la intención de determinar la asociación entre los factores ambientales y sanitarios y su influencia en las afecciones respiratorias, aplicando un estudio descriptivo con análisis correlacional tomando como muestra a 493 habitantes de 18 o más años en Tres Veredas del municipio Colombiano de Guarne, durante la segunda mitad del año 2015, los autores identifican una asociación estadísticamente significativa entre las afecciones respiratorias y el residir cerca de industrias o fábricas y cerca de aguas negras o basurero, la comunidad refirió mayor prevalencia de asma y EPOC.

De manera más reciente, los autores Rodríguez-Camargo, Sierra-Parada y Blanco-Becerra (2020), desarrollan su investigación con el objetivo de estimar las superficies de concentración de PM_{2.5} en Bogotá, Colombia, entre 2014 y 2015, de acuerdo a las directrices de la OMS para enfermedades cardio pulmonares a través de un estudio ecológico, los resultados evidencian una posibilidad en el aumento en la mortandad cardiopulmonar en el corto y largo plazo.

Los autores Grisales-Romero y otros (2021), suman a la literatura desarrollada en la región colombiana, al desarrollar su investigación con el objetivo de establecer el efecto de la contaminación, específicamente del material particulado PM_{2.5}, sobre las enfermedades respiratorias agudas en menores de 5 años y personas de 65 años y más, considerando además variables meteorológicas y climáticas de los municipios que conforman el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, consideran para su estudio el periodo comprendido de 2008 a 2015, mediante la aplicación de un estudio ecológico, con ello, los autores encontraron un aumento en los casos de enfermedad respiratoria aguda de forma significativa en menores de 5 años en dos de los municipios estudiados y en mayores de 65 años en el municipio de Medellín a partir del 15vo día de exposición en el incremento del material particulado, entre sus hallazgos se encuentra una mayor afección para el municipio de Medellín y municipios de la zona sur del área metropolitana, resaltando la afectación a la salud en dos semanas posteriores a la exposición a los contaminantes ambientales.

Destaca también el estudio elaborado por Matus y Oyarzún (2019), quienes han desarrollado su investigación con la intención de valor la influencia de la contaminación atmosférica por material particulado de 2.5 micrómetros, en las hospitalizaciones de enfermedades respiratorias en niños, estudio que fue desarrollado considerando el periodo comprendido durante el período de 2001 a 2005 en la región metropolitana de Chile, para lo cual tomaron una muestra de 72,479 casos de hospitalizaciones públicas y privadas, de diferentes enfermedades respiratorias en niños y adolescentes menores de 15 años, residentes en la región Metropolitana de Chile, aplicando un estudio de caso de control, alternante con estratificación temporal, teniendo en consideración las enfermedades respiratorias como la neumonía, el asma, la bronquitis y los contaminantes MP_{10} , $MP_{2.5}$, ozono, además de las condiciones ambientales, obteniendo como resultado que un aumento en la concentración de $PM_{2.5}$ con dos días de rezago es asociado con el incremento en hospitalizaciones por enfermedades respiratorias, mostrando un incremento de 2% a 5% cuando la exposición es con 8 días de rezago.

A través de una tesis doctoral, Betetta (2021), desarrollada con el objetivo de determinar los efectos de la polución ambiental, $PM_{2.5}$ y PM_{10} en la presencia de enfermedades respiratorias en la población que habita el distrito de Ate, ubicado en Perú, tomando una muestra de 191 pacientes con afecciones respiratorias, entre los hallazgos, identifica que la contaminación ambiental influye en los padecimientos de asma, rinitis-faringitis, así mismo incide en la frecuencia de consultas hospitalarias, dejando en manifiesto que los niveles de contaminantes presentes en el medio ambiente, superan los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

En la parte norte del continente americano se encuentra el estudio desarrollado en ciudades medianas y grandes de Estados Unidos, en el que se ha encontrado evidencia sólida de la relación que las actividades de sostenibilidad mantienen con la salud en las ciudades más pequeñas de la muestra (Swann, Brixey, & Wöhler, 2019), en el análisis se asocian las actividades locales encaminadas a reducir GEI, la energía, transporte alternativo y políticas de uso de suelo y su relación con la prevalencia de enfermedades relacionadas con la obesidad y enfermedades respiratorias.

Los contaminantes provenientes de vertederos de residuos sólidos contribuyen a los efectos negativos de los GEI, en la región peruana de Ucayali, los autores De la Cruz y Limache (2020), han analizado la emisión de metano y su incidencia en enfermedades respiratorias, observando que en su mayoría las enfermedades se presentan en los habitantes que viven en el área circundante al vertedero, además de intoxicación presentan dificultad para respirar, alergia, gripe y asma, destacando un área de incidencia de hasta un kilómetro a la redonde en la que trasciende la emisión de metano.

Dentro de la literatura peruana, se encuentra el trabajo realizado por Panduro (2020), quien, con la intención de conocer los efectos de la contaminación originada por materia particulada 10 y su relación con la salud de la población residente del distrito de Yarinacocha durante el periodo de 2017, el autor diseña un estudio descriptivo explicativo, bajo la hipótesis de que existe un efecto significativo de la contaminación atmosférica en la salud de los habitantes del Yarinacocha. Los resultados del estudio muestran como los contaminantes presentes en el material particulado de 10 micrómetros se relaciona con diversas afecciones en las vías respiratorias, encontrando que el cromo se relaciona en un 97% con la bronquitis aguda y 95% con bronquitis no especificada crónica, el molibdeno se relaciona en el 98% con asma y 96% con bronquitis no especificada crónica, el arsénico se relaciona en un 94% con infección aguda en vías respiratorias interiores, el mismo porcentaje se relaciona el plomo con enfermedades de la tráquea y bronquios, el litio se relaciona en similar medida con bronquiolitis, así mismo, el arsénico se relaciona en un 94% con infección aguda en vías respiratorias.

Los autores Ventura, Morales y Gelabert (2020), abonan a la literatura aplicando un estudio ecológico observacional en la población urbana de la ciudad de Cochabamba, durante el período comprendido entre el 1 de enero de 2012 al 31 de diciembre de 2016, los autores se plantean el objetivo de asociar los niveles de contaminación atmosférica y la morbilidad respiratoria, para lo cual toman datos de la red de monitoreo de calidad del aire de Cochabamba y los casos semanales de enfermedades respiratorias, obteniendo como resultado que el promedio de casos de enfermedades respiratorias presentó una correlación positiva baja con el promedio de partículas PM_{10} de las estaciones de monitoreo atmosférico.

También presentó una correlación positiva, baja con el promedio de NO₂. En términos generales los autores, observan una correlación lineal positiva baja entre los ingresos por enfermedades respiratorias y el promedio de contaminantes atmosféricos de la ciudad de Cochabamba, Bolivia.

Aunando a la literatura latinoamericana existente en materia, los autores Cifuentes, Rodríguez-Fernández, Luengo y Tapia (2020), realizan una investigación con la intención de indagar la relación entre los niveles de contaminación ambiental por material particulado, específicamente PM_{2.5} y las consultas por enfermedad respiratoria registradas en los servicios de salud de urgencias de dos comunas de la región chilena de Ñuble, durante el periodo comprendido de 2016 a 2017, a través de un estudio ecológico, apoyado de análisis estadísticos de correlación Spearman y Cross-Correlation, test estadísticos Dickey-Guller y Anova, hallan una correlación positiva entre los niveles de contaminación y el número de consultas registradas al día siguiente y al noveno día posterior al registro de una emergencia ambiental, identificando que ésta correlación se encontraba asociada también a la edad de los usuarios de los servicios médicos.

Mejorar el ingreso per cápita en países en desarrollo de Asia y usar energías limpias son factores que influyen de forma positiva para mejorar la salud humana, al respecto, Alharthi & Hanif (2021), han establecido un impacto significativo en los riesgos a la salud que mantienen con las variables: energía contaminante, el agotamiento de los recursos naturales y las emisiones de carbono.

Por su parte, Arbo, Sanabria y Martínez (2022), presentan un estudio descriptivo observacional aplicado en territorio paraguayo, con la intención de analizar y contrastar el número de casos de dengue y su interrelación con el clima, lluvias y temperatura, derivado de los efectos del cambio climático, para lo cual han considerado la incidencia durante el periodo de 2012 a 2014, logrando identificar un patrón de ocurrencia sobre el incremento en los casos de dengue y los periodos con mayores variaciones climáticas, tanto en temperatura como en épocas de mayor precipitación de lluvia siendo esta última variable la que presenta mayor correlación.

Montero y otros (2020), desarrollan una investigación en la que se proponen determinar la asociación entre la contaminación ambiental y las afecciones respiratorias que aquejan a dos sectores de Riobamba en Ecuador, para lo cual realizan un estudio de casos y controles, a través de un muestreo no probabilístico, diferenciando dos grupos poblacionales, uno con mayor exposición a la afluencia vehicular y el segundo con menos exposición en relación al primer grupo, durante los meses de diciembre 2018 y enero 2019, en el que identificaron una mayor presencia de afecciones respiratorias en el grupo que se encontraba con mayor exposición al tráfico vehicular, hallando una asociación significativa entre estos factores y el tiempo de exposición de las personas, siendo no significativo el género de la población muestra.

Se encuentra también el trabajo realizado por Goethe (2021), con el objetivo de evaluar la asociación entre el síndrome metabólico en adultos y la exposición a contaminantes atmosféricos y aplicando un meta-análisis sobre la incidencia de la exposición a contaminantes atmosféricos presentes en el aire y el síndrome metabólico, considera estudios de otros autores y considerando la evidencia científica contenida en los mismos concluye que la presencia de $MP_{2.5}$ sugiere un mayor riesgo a desarrollar el síndrome metabólico en adultos.

En un estudio acerca de la carga de las infecciones de las vías respiratorias inferiores y su asociación entre el material particulado mediante modelos de poisson aditivos generalizados sobredispersos, realizado en Guangzhou, China, por Liang y otros (2021), se concluyó en que el aumento de $10 \mu g/m^3$ en los promedios de material particulado presente en la atmósfera durante 3 días, se encuentra asociado de manera significativa con los registros de visitas ambulatorias por neumonía, bronquitis y asma, los autores señalan que en el caso de neumonía las visitas ambulatorias fue más evidente en hombres y en las estaciones del año más frías.

En el continente Europeo, las zonas de bajas emisiones se han establecido como forma de reducir los efectos negativos a la salud relacionados con la contaminación atmosférica producida por el tráfico, en un estudio realizado en Malmö, Suecia, a través de

un modelo de dispersión gaussiana, Flanagan, Malmqvist, Gustafsson y Oudin (2022), estiman que al establecer a Malmö como una zona de bajas emisiones reduciría anualmente 12 hospitalizaciones a causa de enfermedades respiratorias, 8 casos de asma en infantes y 9 trastornos hipertensivos del embarazo, lo que sugiere que mejorar la calidad del aire mediante la reducción de los gases efecto invernadero, puede proteger la salud pública y mejorar la calidad de vida de las personas.

Sobre la literatura más reciente existente sobre el tema se encuentra el trabajo de los autores Buffone y Romano (2023), quienes desarrollan su investigación con la intención de describir las características de las consultas por enfermedades respiratorias agudas en niños y adolescentes menores de 15 años y la asociación en los niveles de PM en el aire; en el sector de bahía blanca durante el periodo comprendido entre abril de 2019 a marzo de 2020; aplicando un estudio ecológico de series temporales y grupos múltiples, así como un análisis descriptivo y un modelo de correlación y regresión lineal generalizado con un total de 4,787 consultas por rinitis, broncoespasmos y otras afecciones respiratorias, mediante el estudio se logra evidenciar que un aumento del 10% de $PM_{2.5}$ refleja un incremento de 1.3% en consultas totales, en áreas industriales, este aumento llega al 2.1%, referente a la presencia de PM_{10} , el aumento llega a ser de 10% en áreas cercanas a sectores industriales y un aumento general de 1.8% en las consultas por afecciones respiratorias.

Por su importancia, resalta el trabajo realizado por González y otros (2023), quienes desarrollan su investigación con la finalidad de evaluar el impacto que tiene la contaminación del aire en consultas por infecciones respiratorias agudas de menores de 2 años, en la ciudad de Buenos Aires, mediante un estudio ecológico de series temporales. Los autores utilizan las variables de predicción niveles diarios CO_2 , NO_2 y material particulado 10 de las estaciones de monitoreo ambiental de Buenos Aires, así como el número de consultas totales y consultas por infecciones respiratorias agudas; entre sus principales hallazgos, los autores identificaron que el 30% de las 80,287 consultas correspondieron a consultas por infección en vías respiratorias aguda, teniendo una correlación con los valores promedios en materia particular 10 y NO_2 .

En el caso de Malasia, mediante su plan de movilidad de baja emisiones en carbono se han fijado la meta de desplegar 88,500 vehículos eléctricos para 2030, al respecto, Kwan y otros (2023), cuantifican los cobeneficios que el plan puede generar a la salud a través de sus impactos en la calidad del aire, mediante una modelación y escenarios de combinación de generación de electricidad, con ello encontraron que una disminución en las emisiones de carbono podría significar una reducción de la mortalidad respiratoria por NO_x y SO₂ para 2040, al tiempo que se generarían ahorros por concepto de costos de salud derivados de la baja e mortalidad respiratoria de hasta 7,500 millones de ringgit malasio (moneda nacional de Malasia).

En los municipios cubanos de Centro Habana y Cerro se ha estudiado la incidencia de la contaminación atmosférica en enfermedades respiratorias durante el periodo comprendido entre los años 2015 y 2017, mediante un estudio descriptivo observacional, considerando los contaminantes SO₂, NO₂ y PM₁₀, el estudio de los autores Reyes y otros (2023) confirman una relación positiva y significativa entre las enfermedades y los contaminantes, además el aumento en el riesgo de morbilidad y mortalidad, afectando principalmente a poblaciones vulnerables.

A consecuencia del cambio climático, la temperatura puede llegar a presentarse en formas extremas influyendo en la morbilidad, en la ciudad de Shanghái, Liang y otros (2024), han proyectado la carga de morbilidad futura, que se relacionará con el efecto producido por la combinación de humedad y altas temperaturas, bajo distintos escenarios de emisiones de GEI través de un modelo no lineal de retardo distribuido, aunque los autores lograron establecer un incremento en la carga de morbilidad a causa de las condiciones de clima establecidas, resalta el hecho de que bajo un escenario de altas emisiones de gases efecto invernadero, las noches húmedas-calientes podrían ser las causantes de mayores riesgos a la salud en especial causando enfermedades respiratorias por ser consideradas como enfermedades sensibles al calor.

Los GEI provenientes de la combustión de combustibles fósiles además de dañar el medio ambiente impactan en la salud humana causando enfermedades respiratorias e infecciosas, en Australia, la literatura muestra el trabajo de Li y otros (2024), quienes han

estimado el número de casos de salud relacionados con la contaminación generada por el sector del transporte, mediante una función de exposición - respuesta epidemiológica, para lo cual, han tomado como referencia los contaminantes PM_{10} , con ello, encontraron que en 2018, las emisiones referidas contribuyeron entre 1,000 y 2,550 muertes prematuras e incidieron en 26,700 casos de hospitalizaciones por afectación cardiovascular, ataques de asma, y episodios de enfermedad pulmonar obstructiva crónica, además de los efectos que conlleva a la salud pública, se impacta el gasto público, pues se estimó que estas afectaciones a la salud representaron un gasto de 910 millones de dólares australianos.

Eficientar los procesos de generación de energía eléctrica mediante una estrategia de bajas emisiones de carbono puede generar mejores condiciones en la calidad del aire que a su vez puede asociarse en beneficios para la salud. Se estima que en la ciudad de Taiwan, al implementarse una estrategia de bajas emisiones de carbono en la industria eléctrica, ayudaría a disminuir la contaminación del aire previniendo 1,012 muertes, al tiempo que produciría un ahorro por 49.9 millones de nuevos dólares taiwaneses por gastos asociados a la salud, además se estima que bajo ésta estrategia se lograría en el corto plazo una reducción de 45 pacientes hospitalizados a causa de enfermedades respiratorias, esto de acuerdo al estudio realizado por Lai y otros (2024).

La contaminación atmosférica es considerada con un factor de riesgo a la salud y el bienestar humano, particularmente resalta su incidencia en enfermedades cardiorrespiratorias. En Aburrá, los autores López, Henao y Aristizábal (2025) presentan la correlación de valores medidos de contaminantes con el número de consultas en los meses de contingencia atmosférica de los años 2016 y 2017, los autores encontraron un retraso de dos días entre la exposición al $PM_{2.5}$ y PM_{10} y las consultas por enfermedad respiratoria aguda, de cinco días para enfermedad respiratoria baja crónica-agudizada por exposición a $PM_{2.5}$ y 6 días después de la exposición a NO_x , $PM_{2.5}$ y PM_{10} para la presencia de enfermedad respiratoria alta aguda.

2.2.2 Contexto Nacional

En el ámbito nacional son pocas las investigaciones recientes que permiten observar las relaciones que mantienen los altos índices de contaminación atmosférica, derivada de la emisión de gases de efecto invernadero y su impacto en la salud humana, los trabajos encontrados al respecto, permiten identificar la incidencia de los GEI en la presencia de enfermedades respiratorias, principalmente en grupos de mayor vulnerabilidad, como lo es la población infante, adultos mayores y grupos de personas con alguna patología en preexistente.

La literatura muestra el estudio realizado por Ramírez-Sánchez, Andrade-García, González-Castañeda y Celis-De la Rosa (2006), con la intención de describir las relaciones con los niveles de contaminantes presentes en la atmósfera y el número de consultas por infecciones agudas en vías respiratorias en infantes de 5 años o menos, los autores implementan un estudio ecológico transversal mediante el cual describen la correlación entre las modas promedio mensuales de los contaminantes y las consultas mensuales registradas por infecciones agudas en vías respiratorias en menores de 5 años, obteniendo como resultado que los contaminantes atmosféricos, principalmente el monóxido de carbono y el dióxido de nitrógeno, tienen una correlación significativa con las infecciones agudas en vías respiratorias en infantes menores a 5 años, pese a que los contaminantes se encuentran por debajo de los niveles establecidos por las norma oficiales éstos contaminantes llegan a perjudicar la salud de la población infantil que reside en el área urbana de Guadalajara.

En este sentido, Hernández-Cadena y otros (2007), elaboran su estudio con el objetivo de evaluar el impacto de los contaminantes presentes en la atmósfera, sobre la salud en infantes residentes en Ciudad Juárez, Chihuahua, considerando consultas en el área de urgencias hospitalarias debido a afecciones en vías respiratorias altas, bajas y asma, contrastando los datos con los registros de ozono y PM_{10} , así como las condiciones meteorológicas, a través de un modelo aditivo generalizado, utilizando la distribución de Poisson; tras el estudio, los autores avocan una asociación significativa entre las concentraciones de ozono y las consultas a urgencias por las afecciones previamente referidas, indicando mayor afectación en niños de 5 años o menos, en tanto para los menores

de 6 a 16 años, las afecciones mostraron un retraso de tres días en presentar la afectación a la salud.

Se encuentra también el estudio de Ramírez-Rembao, Rojas y García-Cueto (2009), con la intención de identificar la relación entre los contaminantes ozono, monóxido de carbono, PM_{10} , temperatura y humedad con la incidencia de morbilidad por IRAs [Infecciones Respiratorias Agudas] en el municipio de Mexicali, BC., para el periodo de 2001 a 2005, los autores aplican un modelo de regresión lineal simple y múltiple con variables meteorológicas y climáticas, evidenciando que los niveles de contaminantes atmosféricos superan los niveles máximos establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas en materia; con ello logan identificar que el monóxido de carbono contribuyó al aumento de incidencias de morbilidad por IRAs, el ozono mostró cifras bajas en su relación con incidencias de IRAs, en tanto que no relacionan la incidencia de las enfermedades de estudio con la presencia de PM_{10} .

2.2.3 Contexto Estatal

Las investigaciones realizadas en los municipios del estado de Hidalgo que relacionan la presencia de los gases efecto invernadero y las implicaciones a la salud pública son pocas, entre ellas se encuentra el estudio realizado por Rivera (2013) llevado a cabo con la intención de conocer la relación entre la exposición a contaminantes atmosféricos y las consultas hospitalarias en menores de 5 años a causa de enfermedades en vías respiratorias bajas y asma, la autora, diseña un estudio ecológico en serie de tiempo para el periodo comprendido entre 2004 a 2011 en la Zona Metropolitana del Valle de México, conformada por 75 municipios y/o delegaciones, exceptuando el municipio de Tizayuca Hgo., bajo la hipótesis de que a mayores niveles de contaminantes atmosféricos los siguientes seis días será mayor el número de ingresos hospitalarios debido a enfermedades en las vías respiratorias bajas y asma en infantes menores de 5 años; obteniendo datos históricos del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, en torno a los datos de monitoreo atmosférico, así como datos históricos de la base del Subsistema Automatizado de Egresos Hospitalarios. La autora logró determinar que la presencia de material particulado 2.5 y 10 se encuentran por encima de los niveles permisibles en el mayor periodo de estudio, encontrando una asociación

estadísticamente significativa entre las hospitalizaciones por causa respiratoria y la presencia de los contaminantes PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 y NO_2 , señalando un incremento del riesgo de hospitalización por cada 10 partes por billón de un incremento en los niveles de ozono. Si bien este estudio no se realiza en municipios hidalguenses, resulta de importancia debido a que el área geográfica considerada en la investigación es colindante a la ZMT.

Con la intención de revisar los efectos del cambio climático en la salud de la población mexicana y en la epidemiología del virus del dengue, los autores Zamora-Ramírez y otros (2020), analizan estudios acerca del cambio climático y su urgencia en la propagación del virus del dengue, identificando en estos estudios que el factor climático, especialmente la temperatura tiene una influencia directa en la biología del ciclo de vida del dengue lo cual incrementa su reproducción y por tanto la prevalencia del enfermedad.

Un estudio que resalta por su importancia, es el realizado por Guerrero y López (2020), con el objetivo de estimar las repercusiones que generan los gases de efecto invernadero (dióxido de azufre, dióxido de carbono, óxido de nitrógeno, óxidos nitrosos y metano), sobre la salud pública de la población que reside en el estado de Hidalgo, diseñan un modelo que referencia el valor esperado de casos de cáncer de los municipios que conforman la entidad, el estudio considera datos del año 2015, los autores construyen un modelo probabilístico, en el que estiman el grado de incidencia del óxido de nitrógeno sobre el número de casos de cáncer en la entidad, con ello, han encontrado, entre otros hallazgos, que los municipios de Tula de Allende, Atotonilco de Tula y Tepeji del Río presentan alta incidencia en los casos de cáncer con un alto riesgo, infiriendo que este comportamiento podría darse debido a las características de desarrollo económico de la zona, pues en ella que se ubica una termoeléctrica, una refinería y tiene fuerte presencia de actividad cementera; mediante la investigación los autores han comprobado, que los gases efecto invernadero son detonantes de enfermedades cancerígenas particularmente, los NO_x provenientes de maquinarias e industrias de transformación de energía fósil, en un escenario en que a mayor emisión de óxidos de nitrógeno mayor será el número de casos de cáncer en el estado de Hidalgo, más importante aún, es que particularmente los habitantes de los municipios de Tula de Allende Atotonilco de Tula y Tepeji del Río presentan mayor probabilidad de riesgo en

desarrollar una enfermedad cancerígena debido a las altas emisiones de NOx, producto de fuentes antropogénicas.

Se encuentra también el estudio realizado por los autores Peña-Zarco, Gutiérrez-Fuentes y Cervantes-Serrano (2020), con la intención de analizar los riesgos de salud ocasionados por la contaminación atmosférica en la región de Tepeji del Río, estado de Hidalgo, identificando las causas principales de las enfermedades respiratorias, para lo cual establecen la hipótesis de que los problemas de infecciones respiratorias que afectan a la población que habitan la zona de Tepeji del Río son originados por la contaminación; toman como variables la contaminación, las enfermedades de la población y la percepción de enfermedades respiratorias, a través de un sistema de aplicación de encuesta en la que los resultados muestran que la población tiene la percepción sobre las infecciones respiratorias a causa de la contaminación.

Conclusión

En conclusión, la literatura existente muestra cómo se relaciona la concentración de los GEI en la incidencia de diversas enfermedades, particularmente, de enfermedades respiratorias, que merman la calidad de vida y desarrollo personal, también se muestra la relación que tienen con otras variables como condiciones climáticas y de temperatura, además de mostrar los grupos de mayor vulnerabilidad a sus efectos.

Capítulo III. Marco Conceptual

Introducción

En el presente capítulo se aborda el tema de estudio desde tres apartados que son considerados relevantes para comprender el fenómeno de estudio, en primer instancia, se presenta el Marco Conceptual de los gases efecto invernadero, desde la connotación conceptual de diversos organismos internacionales, que por su importancia, se consideran como términos guía, tal es el caso de los aportados por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en el tenor de las Conferencias de las Partes de la Convención, organismo derivado de los Estados Miembros de la Organización de las Naciones Unidas, se consideran también los términos oficiales referenciados la normativa mexicana.

En segunda instancia, se presenta el Marco Normativo que sintetiza los puntos que resultan de mayor relevancia para el desarrollo del fenómeno de estudio, de tal forma que, se presenta en primer instancia la Carta de los Derechos del Hombre, que garantiza los derechos fundamentales para el ser humano sin distinción alguna y de forma irrevocable, así como los documentos emanados de distintas convenciones de organismos internacionales, de manera posterior, se presentan las regulaciones a nivel nacional comenzando por la Carta Magna y proseguido por leyes federales y programas federales en materia, así mismo, se presenta en el ámbito estatal, al pertenecer los cinco municipios en cuestión al estado de Hidalgo, para finalizar con un breve señalamiento referente a las normativas municipales de cada jurisdicción.

Relativo al Marco Teórico se presenta la teoría del cambio climático seguido del contexto en términos de políticas públicas aunando en la teoría de la Nueva Gestión Pública, partiendo su concepción desde el neoliberalismo y su aplicación en materia ambiental y de salud en México, se concluye el apartado haciendo referencia al argumento del mercado ambiental global.

En conjunto, los tres apartados señalados conceptualizan el contexto actual de las políticas públicas relativo a cambio climático generado por la emisión de gases efecto

invernadero y sus efectos en la calidad de vida del ser humano, particularmente en su influencia en enfermedades respiratorias.

3.1 Marco Conceptual de los Gases Efecto Invernadero

Se llaman gases de efecto invernadero a aquellos gases presentes en la atmósfera con la capacidad de atrapar el calor, evitando que el calor salga de la tierra y ésta se caliente generando el efecto invernadero. Como se ha referenciado de manera previa el resultado de la actividad humana genera una mayor emisión de estos gases afectando el cambio climático e impactando en las condiciones de vida del ser humano y demás organismos vivos que habitan en el planeta. En tenor de mejorar la calidad de vida del ser humano, reconocida como un derecho universal, la Organización de las Naciones Unidas pone especial énfasis en sus acciones para contrarrestar la emisión de estos gases y otras sustancias tóxicas emanadas a la atmósfera cuyo origen es antropogénico, y que resultan perjudiciales para el ser humano, parte fundamental de afrontar el problema es su identificación, por lo que los gobiernos toman como guía la clasificación emitida por la ONU en sus distintas convenciones y cumbres.

3.1.1 Definiciones de los Gases Efecto Invernadero

Fue en la Convención de 1998 el momento en el que se enlistó como GEI los siguientes:

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Metano (CH₄)
- Óxido nitroso (N₂O)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF₆) (ONU, 1998)

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2023), y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2022), describen las principales características de los gases contaminantes y su origen primordial, haciendo énfasis en su origen antropogénico, así como los principales daños a la salud derivado de su exposición:

- Partículas suspendidas de 2.5 y 10 micrones (PM_{2.5} y PM₁₀), son una mezcla de compuestos microscópicos en forma de líquidos y sólidos suspendidos en el aire, constituidas principalmente por metales, compuestos orgánicos, material de origen biológico, iones, gases reactivos y la estructura misma de las partículas. Su origen principal es en zonas urbanas, derivados por los procesos de combustión incompleta de combustibles fósiles, así como de origen térreo de procesos eólicos. *Daños a la salud: muerte prematura en personas con enfermedades cardiacas o pulmonares, infartos de miocardio no mortales, asma agravada, función pulmonar reducida, síntomas respiratorios aumentados (irritación en las vías respiratorias, tos o dificultad para respirar).*
- Dióxido de carbono (CO₂), formado por un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno, cuyas características son: inodoro, incoloro, ligeramente ácido, no inflamable, soluble en agua a presión constante. Es producto de los procesos de fotosíntesis, específicamente mediante la respiración, e incendios forestales. A través de la actividad humana se origina por la combustión combustibles fósiles. *Una elevada concentración, puede causar hiperventilación, pérdida de conocimiento, taquicardia y dolor de cabeza.*
- Metano (CH₄), se trata de una sustancia incolora, no polar, a temperatura y presión ordinaria se presenta en forma de gas, de baja solubilidad en fase líquida y elevada persistencia en la atmósfera. Es generado por los procesos digestivos y defecación (especialmente del ganado: vacas, cerdos, ovejas y cabras), también es producto de la descomposición de residuos orgánicos, extracción de combustibles fósiles (producción, procesamiento, almacenamiento, transmisión, distribución de gas natural; y producción, refinación, transporte y almacenamiento de petróleo crudo), se encuentra también en rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales. *En grandes concentraciones puede originar asfixia, esto debido a la disminución de oxígeno.*
- Óxido nitroso (N₂O), es un gas volátil, incoloro, olor dulce, ligeramente tóxico. Su origen viene de los procesos de agricultura intensiva (manejo de estiércol, quema de

residuos agrícolas), quema de combustibles fósiles, producción de fertilizantes nitrogenados, así mismo, es producto del tratamiento de aguas residuales domésticas. *Entre los principales daños causados a la salud se encuentran alucinaciones y estado eufórico.*

- Los Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC), Hexafluoruro de azufre (SF_6) y Trifluoruro de nitrógeno (NF_3), son gases de alta persistencia en la atmósfera en su mayoría con tiempo elevado de presencia en la atmósfera de 740 a 50,000 años. De forma antropogénica se originan debido al uso de refrigerantes (sistemas de aires acondicionado), fabricación de aluminio y semiconductores, procesos siderúrgicos de fusión de magnesio y sus aleaciones. *Estos gases en grandes concentraciones causan asfixia en las poblaciones.*
- Ozono (O_3), es un contaminante secundario, presente en forma de gas que se forma en la atmósfera por la radiación solar, principalmente por los óxidos de nitrógeno (los cuales son procedentes, en su mayoría, de las emisiones de vehículos automotores, la industria e inclusive de la actividad biogénica) y de los compuestos orgánicos volátiles (emitidos, principalmente, por los vehículos automotores, la industria, evaporación de solventes, así como la actividad biogénica). *Entre sus afecciones a la salud se encuentran la irritación del sistema respiratorio, agrava los padecimientos de asma y de enfermedades pulmonares crónicas, además de reducir la función pulmonar.*
- Dióxido de azufre (SO_2), gas incoloro con un olor penetrante e irritante, no inflamable. Su principal fuente antropogénica es la quema de combustibles fósiles (carbón e hidrocarburos) para la generación de electricidad y en los vehículos de motor a diésel, también es originado debido a la fundición de minerales que contienen azufre. Afecta mucosidades y pulmones. *La exposición en grandes concentraciones durante periodos cortos puede irritar tracto respiratorio (la nariz, la cavidad nasal, la boca, la garganta y la laringe), causa y agrava la bronquitis y reacciones asmáticas.*

- Dióxido de nitrógeno (NO₂), gas irritante y oxidante de color amarilloso, tóxico. Principalmente es producido por fuentes de emisión antropogénica durante los procesos de combustión (calefacción, generación de electricidad y motores de vehículos). *Los daños a la salud son principalmente efectos corrosivos para la piel y tracto respiratorio de forma prolongada y su exposición puede afectar el sistema inmune y pulmonar.*
- Monóxido de carbono (CO), está presente como un gas incoloro, inodoro e insípido, tóxico y muy inflamable. Es producto principalmente de una combustión incompleta de los motores de los vehículos que emplean gasolina como combustible y derivados del petróleo. Otras fuentes de producción son los incendios forestales y las quemas a causa de la actividad agrícola. *Reduce la capacidad para transportar oxígeno de la sangre y hace que las células no puedan utilizar el oxígeno, por lo que ocasiona: confusión mental, vértigo, dolor de cabeza, náuseas, debilidad y pérdida del conocimiento.*

3.2 Marco Normativo del Cambio Climático ante los Gases Efecto Invernadero

Limitar el calentamiento global ha sido un tema prioritario para la mayoría de las naciones, lo que les ha llevado a generar acuerdos coordinados de acción para frenar la emisión de GEI de origen antropogénico, dichos acuerdos toman un carácter normativo que marca una línea de acción desde el ámbito internacional y que en el estado mexicano se replica en su legislación desde el ámbito federal y baja (o debería bajar), hasta instancias locales y municipales. Cabe resaltar la relación existente entre los acuerdos y normativas encaminados a la mitigación de emisiones, con otras normativas, como lo es el reconocimiento de los derechos fundamentales del ser humano.

3.2.1 Normativas Internacionales

Desde el ámbito internacional, a través de la 177^a sesión plenaria, la Asamblea General de las Naciones Unidas se aprueba y proclama la Declaración Internacional de los Derechos del Hombre, documento en el que se plasma el ideal compartido por los pueblos y naciones para garantizar en los territorios que conforman los Estados Miembros de la ONU la promoción

y respeto a los derechos y libertades contenidas en ella, a través de medidas progresivas de aplicación universal, su articulado dota de igualdad entre los seres humanos, de un estado personal de no discriminación, libertad, personalidad jurídica, libertad de tránsito y residencia, derecho de nacionalidad, libertad de pensamiento, entre otros y no menos importantes derechos humanos contenidos en sus 30 artículos, sin menoscabo de lo anterior, es su artículo 25, la Declaración establece el derecho humano “*a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar*” (Asamblea General de las Naciones Unidas, 1948), ideológicamente, la Declaración es de aplicación universal y base de algunos tratados en materia de derechos humanos, al ser identificado como problema público, tema central de la presente investigación, las enfermedades respiratorias causadas por la emisión de GEI en la Zona Metropolitana de Hidalgo, infiere una violación a esta garantía universal contenida en la Declaración, tanto en términos de salud como de bienestar personal.

En 1988, es creado el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático su objetivo es ser facilitador de evaluaciones integrales acerca de conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos entorno al cambio climático, así como sus causas, repercusiones y estrategias de respuesta (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2024), aunado a ello, realiza publicaciones de informes especiales en temas como desastres, energías renovables, GEI, océanos, impactos del calentamiento global de 1.5°C, etc., enfoca publicaciones a responsables de políticas públicas a manera de sustento.

En 1992 surge la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático, en medio de un reconocimiento a la necesidad de cooperación amplia entre los países para afrontar el tema del cambio climático, señalando que la mayor parte de emisiones de GEI son provenientes de países desarrollados y que sus consecuencias afecta a todas las naciones, sin distinción de su economía o desarrollo, siendo más vulnerables a sus efectos los países de baja altitud, países insulares, países con zonas áridas, zonas expuestas a inundaciones y países en desarrollo. El objetivo de su creación es alcanzar la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera, a un nivel que no sea perjudicial al sistema climático, en un plazo adecuado que permita la adaptación de los ecosistemas y el desarrollo

económico sostenible (Naciones Unidas, 1992). En ella, las Partes adquieren compromisos sobre la aplicación de los términos de la Convención y la transmisión de información acerca de su aplicación. Los Estados Unidos Mexicanos no fue Parte integrante de la Convención de 1992.

Fue hasta la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático de 1997, cuando México se integró como Parte firmante de la Convención, cuyo principal producto fue el Protocolo de Kyoto, este instrumento fue creado con la intención de reducir las emisiones de GEI de acuerdo a los compromisos derivados de la Convención, su aplicación, para el caso mexicano fue en 2005 y tuvo una vigencia a 2020. Entre sus resultados se encontró la generación y adecuación de leyes y políticas ambientales, influencia en empresas durante la toma de decisiones de inversión y fomentó la creación del mercado del carbono cuyo fin era la reducción de las emisiones en un costo menor (SEMARNAT, 2016).

Para su 13° periodo de sesiones de la Conferencia de las Partes, en el año 2007, surge el Plan de Acción de Bali, que contempla intensificar la medición del cumplimiento de los acuerdos tomados en las distintas Conferencias que le preceden, a través de la COP 13, nombre con que se le conoce a la Conferencia, las partes reconocen, resaltan y urgen la necesidad de adoptar nuevas medidas para reducir la emisión de GEI, en especial los producidos por la deforestación y la degradación de bosques en países desarrollados. (ONU, 2008).

En su 16ª versión la COP, celebrada en Cancún, México, en el año 2010, nuevamente se resaltó la necesidad de tener fuertes reducciones de las emisiones mundiales de GEI para mantener el aumento de la temperatura por debajo de los 2°C en relación a los niveles preindustriales a través de medidas con una visión a largo plazo, tomando en consideración los conocimientos científicos disponibles, mediante una cooperación de los países, las Partes, además reconocieron que el desarrollo económico y social, así como la erradicación de la pobreza son prioridad para conseguir un desarrollo sostenible, también tocó temas relativos a la intensificación de la labor entorno a la adaptación a los efectos que genera el cambio climático, así como a su mitigación, como resultado de la Convención, se crea el Fondo

Verde para el Clima cuyo objetivo es el respaldo a través de financiamiento a proyectos, programas, políticas y demás actividades para los estados miembros en desarrollo, por lo que las Partes acuerdan destinar una cantidad significativa de la financiación multilateral para la adaptación (ONU, 2011).

La COP 17°, desarrollada en 2012, amplía la vigencia del Protocolo de Kyoto, debido a que los avances en la reducción de emisiones de GEI no se presentaban como los esperados, en cuanto a México, se anunciaba en la Conferencia la previsión para que éste contara con una ley especial para abordar el tema de cambio climático, así como instrumentos legales que obligarían a los principales emisores a llevar a cabo acciones de mitigación (Cámara de Diputados, LXI Legislatura, 2012)

En su versión 18°, la Convención, nuevamente plantea objetivos de talla mundial proyectados a largo plazo, con el fin de reducir las emisiones de GEI, en un acuerdo en que las Partes se comprometen a trabajar para lograr este fin y hacer lo posible por mantener el aumento de la temperatura media del planeta por debajo de los 2°C en relación a la temperatura de los niveles preindustriales, basados en un punto de equidad de acuerdo a las condiciones particulares de cada país; resalta la importancia de destinar el financiamiento proporcionado por el Fondo Verde para el Clima a acciones de adaptación y mitigación (ONU, 2013).

Para su 20° periodo de Sesiones, la COP, resalta la importancia de la educación, en todas sus formas, así como programas de sensibilización para promover actitudes y comportamientos a fin de preparar a las sociedades para la adaptación a los efectos del cambio climático, mediante un ejercicio en que la sociedad comprenda la necesidad de una transformación real, para evitar consecuencias a futuro, las cuales se proyectan cada vez mayores, de tal forma que es importante su participación (de la sociedad) en la elaboración de políticas efectivas enfocadas a mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático. En razón de ello, las Partes, expresan su voluntad y se comprometen para la cooperación e interacción a través de iniciativas multilaterales, bilaterales y regionales enfocadas a la concientización y educación en temas de cambio climático, efectos, adaptación, oportunidades y beneficios secundarios (ONU, 2015).

Producto de la Cumbre de las Naciones Unidas, los Estados miembros aprueban el 25 de septiembre de 2015 la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que se presenta como un plan de acción en favor del planeta (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015). En ella se plantea una alianza de colaboración en favor de personas, del planeta y de la prosperidad, aunque la erradicación de la pobreza es señalada como el mayor desafío mundial ante el desarrollo sostenible, la Agenda 2030 contiene 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible [ODS], en conjunto, integran 169 metas, que de forma integral abarcan las tres dimensiones del desarrollo sostenible: la económica, la social y la ambiental, tomando en consideración la existencia de particularidades de cada país, que puedan significar un obstáculo en el cumplimiento de las metas.

En un ambiente de reconocimiento de las Convenciones Macro de la ONU en materia de Cambio Climático, establece como objetivo en su numeral 13, adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, mediante tres metas: la primera se enfoca en el fortalecimiento de la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos inherentes al clima y desastres naturales, la segunda refiere el incorporar medidas en torno al cambio climático en políticas, estrategias y planes nacionales de los Estados miembro; referente a la tercer meta, se encamina a temas de educación, sensibilización y capacidades para mitigar los efectos del cambio climático y la adaptación al mismo, en un compromiso de financiamiento del Fondo Verde para el Clima, en medio de una preocupación de los Estados miembros por limitar el calentamiento global a 1.5 grados centígrados. Durante el mismo año, 2015, se celebró la COP 21, de la cual emana el Acuerdo de París, considerado como un tratado internacional de carácter jurídico, al que se suscribieron 196 Partes de la Convención, cuyo objetivo se formuló para reforzar la respuesta mundial ante el peligro del cambio climático, en un ámbito de desarrollo sostenible y erradicación de la pobreza, por lo que se buscó, nuevamente, limitar el aumento de la temperatura a 1.5°C, aumentar la capacidad de adaptación a los efectos del cambio climático y promover desarrollo con bajas emisiones de GEI sin comprometer la producción de alimentos; además se determinó que cada Parte informaría su contribución de emisiones a nivel nacional con una periodicidad de cinco años; el acuerdo reconoce la importancia de considerar las necesidades particulares de los países

en vías de desarrollo y países con mayor vulnerabilidad ante los efectos negativos del cambio climático (Convención Marco de las Naciones Unidas, 2015).

En su edición 22, la COP, realiza la Proclamación de Acción de Marrakech para el clima y el desarrollo sostenible, mediante la cual, los Jefes de Estado, Gobierno y de las delegaciones presentes en la Conferencia, señalan el inicio de una nueva era de acción para el clima y del desarrollo sostenible, ratificando su anexión al Acuerdo de París, subrayando el compromiso político y la solidaridad con países de mayor vulnerabilidad, además del apoyo a iniciativas para erradicar la pobreza y garantizar la seguridad alimentaria, en vista del reto que representan los efectos del cambio climático para el desarrollo de la agricultura (ONU, 2017).

Para el año 2019, en su edición 25, la COP, reconoce la influencia e importancia de la información científica disponible en la consecución de medidas más eficaces para hacer frente al cambio climático en medio de una preocupación en que los esfuerzos de las Partes urjan sus acciones entorno a la mitigación y adaptación de forma intensiva y resaltando las dificultades de los países más vulnerables para adaptarse a los efectos adversos del cambio climático (ONU, 2020).

Celebrada en Glasgow, la COP 26, emite el Pacto de Glasgow para el Clima, en el que reconoce (y reitera) la necesidad de reducir de forma rápida y sostenida la emisión de GEI a nivel mundial para limitar el calentamiento global a 1.5°C, en un escenario en que la reducción del dióxido de carbono necesita ser del 45% a nivel mundial para 2030, con respecto a 2010, hasta llegar a 0 para la mitad del siglo XXI, así como la reducción de los otros GEI, como el metano. Exhorta a las Partes a una transición a sistemas energéticos de bajas emisiones, energías limpias, la eliminación gradual de energía del carbono y el uso de combustibles fósiles; solicita a las partes al aumento en la planificación local nacional y regional de medidas de adaptación, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático (ONU, 2021).

Para 2023, en su edición 28, la COP acuerda y declara el principio del fin de la era de los combustibles fósiles y una migración más rápida, justa y equitativa para reducir las

emisiones antes de terminar la presente década, por lo que insta a convertir los compromisos en resultados reales, ampliando sus objetivos, previendo una nueva aplicación del Acuerdo de París, de cara al futuro. Crea un espacio de colaboración para el intercambio de conocimiento para los responsables de formular políticas y regulaciones alineadas a una política de emisiones netas cero (ONU, 2023).

3.2.2 Normativas Nacionales

En el ámbito nacional, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, ley suprema que fija las bases de acción y conformación en la República Mexicana, se encuentra en concordancia con los tratados institucionales a los que está suscrito México, garantizando el derecho a la salud en su artículo cuarto, en donde también se establece el derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, por su parte, en su artículo 25 hace mención a la correspondencia del Estado sobre la rectoría del desarrollo nacional de forma integral y sustentable, que permita el pleno ejercicio de libertad y dignidad de individuos, grupos y clases sociales en un conjunto de condiciones que permitan competitividad a través de mayor crecimiento económico, inversión y generación de empleo (CPEUM, arts. 4° y 5°, 2024).

En tenor de regular estas garantías otorgadas por la Constitución a los mexicanos, en el año 2012, se promulga la Ley General de Cambio Climático mediante la cual se delega a los municipios las atribuciones relativas a la formulación, conducción y evaluación de la política en materia de cambio climático a nivel municipal alineada a la política estatal y nacional, así mismo señala como atribución del gobierno municipal el formular e instrumentar políticas y acciones enfocadas a enfrentar el cambio climático alineadas al Plan Nacional de Desarrollo, a la Estrategia Nacional y por ende, al Programa Estatal en materia de cambio climático, dando apertura a la asociación de los municipios, con la previa aprobación de los ayuntamientos para eficientar la implementación de dichas previsiones. Con respecto a los derechos humanos, la política nacional debe observar los principios de: sustentabilidad, correspondencia Estado-sociedad y en general, precaución, prevención, adopción de patrones de producción y consumo, integralidad y transversalidad, participación ciudadana, responsabilidad ambiental, uso de instrumentos económicos en la mitigación,

adaptación y reducción a la vulnerabilidad ante el cambio climático, transparencia, conservación de los ecosistemas y su biodiversidad, compromiso con la economía y el desarrollo económico actual y progresividad. La política mexicana enfocada en atender el tema del cambio climático debe estar sustentada en los instrumentos de diagnóstico, planificación, medición, monitoreo, reporte, verificación y evaluación para lograr: reducir la vulnerabilidad de la sociedad y los ecosistemas ante los efectos del cambio climático, fortalecer la resiliencia y resistencia de los sistemas naturales y humanos, minimizar daños y riesgos en un panorama actual y futuro, identificar la vulnerabilidad y capacidad de adaptación de los sistemas ecológicos, establecer mecanismos de atención en zonas de impacto debido al cambio climático y facilitar y fomentar la seguridad alimentaria y preservación de ecosistemas y recursos naturales. De acuerdo al artículo 33 de la Ley General de Cambio Climático, las políticas públicas enfocadas a la mitigación de los efectos del cambio climático requieren un enfoque a la promoción de un medio ambiente sano, al desarrollo sustentable y a la mitigación de emisiones de contaminantes, fomentando la transición a economías sustentables, competitivas y de bajas emisiones de carbono; a la sustitución gradual del consumo de combustibles fósiles por fuentes de energía renovables; a la promoción de tecnologías de mitigación, a revertir la deforestación y la degradación de los ecosistemas; a estimular de forma económica y fiscal el desarrollo de empresas socialmente responsables con el medio ambiente; así como a la promoción de la participación de la sociedad y de sectores públicos y privados en el desarrollo de las políticas y acciones de mitigación y en su diseño, promoviendo que la industria nacional satisfaga la demanda del país para evitar la entrada de bienes que generen emisiones en sus lugares de origen. La legislación en mención, refiere a la Estrategia Nacional como eje rector de la política nacional la cual debe proyectarse a mediano y largo plazo para la transición de una economía competitiva sustentable de bajas emisiones de carbono (LGCC, 2012).

Alienado a lo anterior, la Ley de Planeación establece que ésta normativa deberá alinearse a los fines y objetivos contenidos en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, debiendo diseñarse con carácter político, social, cultural, ambiental y económico;

posibilitando la coordinación entre autoridades de todos los órdenes de gobierno en las acciones de planeación (Ley de Planeación, 1983).

Por su parte, el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 a través de su numeral II relativo a Política Social, específicamente en lo concerniente a desarrollo sostenible, manifiesta el compromiso del gobierno mexicano en el impulso al desarrollo sostenible, a través de la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las capacidades de satisfacción de necesidades de las generaciones futuras, por lo que para la consecución de este objetivo plantea que el gobierno deberá considerar en todo momento el impacto de sus políticas y programas en el tejido social, ecológico, político y económico del país, formuladas bajo la idea de un desarrollo que subsane las deficiencias sociales sin afectar la convivencia pacífica y sin impactar a la diversidad (Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, 2019), así mismo, el Plan traza un impulso al desarrollo sostenible mediante la producción de energías a través de fuentes renovables, estimulando una transición energética que incorpore a las poblaciones y a las comunidades, alentando la reindustrialización del país.

Referente al Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024 procedente del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, formulado a través de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, la cual es conformada por las Secretarías de; Gobernación, Marina, Bienestar, Economía, Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, Salud, Turismo, Relaciones Exteriores, Hacienda y Crédito Público, Energía, Agricultura y Desarrollo Rural, Educación Pública, Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, y de Seguridad y Protección Ciudadana, con apoyo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía; el Programa establece cuatro objetivos prioritarios, el primero pretende disminuir la vulnerabilidad tanto de la población, el ecosistema y la biodiversidad, a los efectos del cambio climático, impulsando y fortaleciendo los procesos de adaptación y resiliencia, ante escenarios cada vez más extremos como la sequía, que impacta en la reducción de cosechas, en la producción forestal y de pastizales, propiciando la generación de incendios, además de impactar en la mortandad de ganado, vida silvestre y pesquera, pérdida de arrecifes coralinos, generando desgaste económico en la población, sin restar importancia al desgaste del ecosistema y el

equilibrio de la vida, por lo que el primer objetivo del plan contempla estrategias de adaptación y resiliencia, a través de las cuatro fases de adaptación que son: análisis de la vulnerabilidad actual y futura, diseño e implementación de medidas de adaptación y monitoreo y evaluación. Resalta en este primer objetivo la participación social y demás actores clave, en apego al respeto de derechos humanos y perspectiva de género, contribuyendo a disminuir las brechas de desigualdad existentes en México. El segundo objetivo prioritario se enfoca en la reducción de emisiones de GEI, generando un desarrollo bajo en carbono apoyado en el conocimiento científico, con una visión de reducir el 22% de las emisiones de GEI para 2030 y 51 % de carbono negro, para lo cual se impulsan acciones en el sector económico, enfocadas a la adopción de energías limpias para reducir la intensidad de carbono, a la modernización de infraestructura para el tratamiento de aguas y manejo de residuos, así como el procesamiento de petróleo; impulsando políticas, proyectos y acciones encaminadas a la reducción de emisiones a través de un desarrollo con bajo carbono, y bajos impactos ambientales y sociales, teniendo en cuenta la relevancia de la coordinación intersectorial. El tercer objetivo del Programa, se enfoca en impulsar acciones y políticas sinérgicas entre adaptación y mitigación, dando atención a la crisis climática en un sistema de beneficios ambientales, sociales y económicos; a través de acciones de fortalecimiento a los procesos de adaptación y reducción de GEI que presenten beneficios en problemáticas ambientales heredadas, buscando el incremento y la preservación de sumideros naturales de carbono, la restauración y conservación del ecosistema marino-costero, estimulando el desarrollo de una agricultura sostenible, el tratamiento de los cuerpos de agua, la conservación del suelo, etc., acompañados de resiliencia ante los impactos negativos del cambio climático, creando sinergia para la creación de ciudades sostenibles a través de: infraestructura verde, fuentes renovables de energía eléctrica, el desarrollo de un transporte público sostenible, de la gestión de la calidad de aire y el ahorro y eficiencia en el consumo de agua. Referente al cuarto objetivo, el Programa busca fortalecer los mecanismos de coordinación, financiamiento y medios de implementación entre los distintos órdenes de gobierno para la instrumentación de la política de cambio climático, dando prioridad a la co-creación de capacidades e inclusión de los sectores de la sociedad, sin perder de vista el enfoque en derechos humanos, resaltando que para lograr cumplir este objetivo es importante

el fortalecimiento entre los tres órdenes de gobierno, la sociedad civil, el sector privado, pueblos y comunidades indígenas y demás sectores, desde distintos ejes de transversalidad disciplinaria para la implementación de políticas públicas basadas en el conocimiento científico acompañado del principio de máxima gobernanza. El Plan contempla el cumplimiento de los compromisos adoptados en acuerdos internacionales en materia climática, durante el marco de la Cumbre sobre Acción Climática de 2019, que busca lograr la neutralidad del carbono para 2050 a nivel global. Para lograr el cumplimiento de estos cuatro objetivos, el Programa establece acciones puntuales y estrategias prioritarias coordinadas entre las distintas dependencias federales. (Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024, 2021)

3.2.3 Normativas Estatales

En el ámbito estatal, la Constitución Política del Estado de Hidalgo a través de su artículo quinto garantiza el derecho a un medio ambiente sano, para el desarrollo y bienestar de las personas, así mismo, marca la obligatoriedad para conservarlo. El artículo en referencia, delega a las autoridades estatales y municipales la aplicación de planes, programas y acciones enfocadas en la preservación y aprovechamiento racional de los recursos naturales ubicados dentro del territorio hidalguense; en su artículo 139 delega a los municipios las funciones y servicios en cuanto a la protección de flora, fauna y medio ambiente (Constitución Política del Estado de Hidalgo, 2021).

En concordancia con la Constitución local, la Ley de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático para el Estado de Hidalgo, en su articulado número 10, establece como función de cada municipio la atribución de formular conducir y evaluar la política municipal enfocadas a la mitigación y reducción del cambio climático alineadas tanto a la política nacional como a la política estatal; así como formular e instrumentar políticas y acciones encaminadas a enfrentar el cambio climático, las cuales deberán guardar congruencia con el Plan Estatal de Desarrollo, así como con la Estrategia y el Programa, para lo cual, cada Ayuntamiento deberá elaborar el Reglamento de Acción Ecológica y Mitigación de los Efectos del Cambio Climático, manteniendo una relación transversal con la normativa en materia de prestación de servicio de agua potable, ordenamiento ecológico, desarrollo

urbano, recursos naturales, protección al ambiente, protección civil, manejo de residuos sólidos urbanos, transporte público sustentable y eficiente de pasajeros y demás servicios públicos municipales que generen emisiones de GEI a la atmósfera. En este sentido, la política de adaptación a los efectos del cambio climático tendrá como objetivos, de acuerdo a la Ley en mención, reducir la vulnerabilidad de la sociedad y los ecosistemas, fortalecer la resiliencia y resistencia, minimizar riesgos y daños, considerando el escenario actual y el escenario futuro, además de identificar la vulnerabilidad y capacidad de adaptación y transformación de los sistemas, aprovechando las nuevas oportunidades provenientes de las condiciones climáticas, establecer mecanismos de atención inmediata y expedita en las zonas con mayor impacto y fortalecer y fomentar la seguridad alimentaria, de producción primaria, ecosistemas y recursos naturales (Ley de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático para el Estado de Hidalgo [LMAECCEH], 2023).

En temas de mitigación de GEI, la LMAECCEH prevé que la política estatal de desarrollo deberá incluir un diagnóstico con escenarios de líneas base generales y líneas base por sector para lograr la reducción de emisiones específicas de forma gradual, promoviendo la reducción de emisiones en los sectores de: energía, transporte y agropecuario, preservación de ecosistemas biodiversidad, forestal, residuos, procesos industriales, así como en educación y cambios de patrones de conducta, consumo y producción; teniendo una Ley de Mitigación que prevea tres instrumentos de planeación de la política estatal de cambio climático, los cuales son el Programa Estatal, La Estrategia Estatal y los Programas Municipales.

Por su parte el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Hidalgo tiene como objetivo integrar los instrumentos técnicos para la conformación del Programa, que incluye la variabilidad climática y su comportamiento, la detección de las principales fuentes de emisión de GEI, así como su inventario, el balance energético del estado, las predicciones de escenarios climáticos, aspectos sociales y económicos, que permitan proponer medida de mitigación y adaptación principalmente en las regiones de mayor vulnerabilidad. Las áreas de mayor énfasis para el Programa son: consumo y producción de energía, industria manufacturera, transporte terrestre y aéreo, agricultura, ganadería, vegetación y uso del suelo

y desechos. El Programa se traza con una visión de metas a corto plazo, en el que pretende disminuir el 8% de emisiones de GEI, a mediano plazo, a 2030, previendo reducir de forma significativa la emisión de GEI a través del fomento de un uso eficiente de combustibles fósiles, coadyuvando a la transición de un modelo socioeconómico sustentable con menor dependencia del carbono; a largo plazo, se propone como meta contribuir a la reducción del 50% de las emisiones de GEI en el país, poniendo énfasis a nivel estatal de las emisiones provenientes de los sectores energéticos, industriales, de desechos, agropecuario y referente al uso de suelo, cambio de uso de suelo y la silvicultura (Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Hidalgo, 2013).

Referente a la Estrategia Estatal de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático de Hidalgo se han localizado diversos trabajos académicos que proponen la metodología para la construcción de la Estrategia, sin embargo, no se ha localizado un documento oficial, del estado, en que se desarrolle.

En el ámbito local también resalta la Ley para la Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo que confiere al Ejecutivo del Estado a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo la formulación, conducción y evaluación de la política ambiental del estado aplicando los principios e instrumentos señalados en la Constitución del Estado y en la Carta Magna, compete también a la secretaría regular y controlar las actividades riesgosas para el ambiente, atiende la afectación del ambiente de dos o más municipios en coordinación con los respectivos Ayuntamientos y prevé el funcionamiento de la Procuraduría Estatal de Protección al Ambiente como órgano desconcentrado, quien deberá atender y dar seguimiento a los actos de posible violación a las disposiciones establecidas para la protección al ambiente, recursos naturales y el medio, verificando, supervisando, vigilando y en su caso sancionando la contaminación del agua, aire y suelo en el ámbito estatal. Relativo a la competencia municipal, la Ley en mención delega a los Ayuntamientos la formulación, conducción y evaluación de la política ambiental municipal a través del programa municipal de protección al ambiente (del cual ninguno de los cinco municipios de la ZMT tiene), la aplicación de principios e instrumentos de política ambiental marcados en la propia ley, la aplicación de disposiciones jurídicas en lo relativo a

prevención y control de la contaminación atmosférica proveniente de fuentes fijas, también confiere la facultad de requerir a quienes realicen actividades contaminantes, equipos de control de emisiones, siempre que no sean de jurisdicción federal o estatal; dota de la posibilidad de establecer convenios de colaboración con la Federación, el Estado y sectores sociales y privados, en materia de protección al medio ambiente (Ley para la Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo, 2024)

En el Plan Estatal de Desarrollo 2022-2028, como resultado del proceso de consulta a diversos grupos sociales, por parte del Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado de Hidalgo y con la intención de fortalecer la planeación de desarrollo del mismo, integra mediante propuestas de mejora del entorno provenientes de la participación ciudadana para la construcción de políticas públicas; producto de la mesa temática de trabajo denominada Acuerdo para el Desarrollo Sostenible e Infraestructura Transformadora, se engloban los temas de medio ambiente, movilidad y transporte, infraestructura, desarrollo y territorio urbano, recursos naturales y desarrollo regional. Cabe destacar que, del total de propuestas recibidas en los foros, cuyas categorías se engloban en cuatro acuerdos fundamentales, las propuestas enfocadas a desarrollo sostenible e infraestructura transformadora agrupan el 40.39%. Entre los puntos principales que recopila el acuerdo se encuentran: incrementar la cobertura de servicios básicos y su calidad; promover una política en materia de ordenamiento territorial, tomando en cuenta los recursos naturales y las necesidades; fomentar la movilidad urbana sostenible; promover una gestión del medio ambiente con visión a futuro, restaurar y proteger los recursos naturales de la entidad; dotar de mayor impulso a la ciencia y tecnología y a los derechos humanos en pro de un desarrollo sostenible en la entidad (Plan Estatal de Desarrollo 2022-2028, 2023).

3.2.4 Normativas Municipales

En el ámbito municipal, se ha corroborado la inclusión y delegación de responsabilidad de los municipios para la protección de los recursos naturales en los respectivos Bandos de Policía y Gobierno, en una forma general, en ellos, señalan la vigilancia y toma de medidas pertinentes ante el deterioro ambiental, la disposición de residuos sólidos urbanos y sanciones para empresas que dañen el medio ambiente. Sin embargo, los municipios que integran la

Zona Metropolitana de Tula, Hgo, carecen de Programas Municipales de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático.

3.3 Teoría del cambio climático

El planeta Tierra, a lo largo de su historia, ha transitado por diversas eras glaciares y periodos de calor (efecto invernadero), considerados como periodos naturales del planeta mismos que se han desarrollado con duraciones de miles de años, a pesar de considerarse las variaciones de temperatura como un proceso natural de la tierra, el actual incremento en la temperatura promedio del planeta ha preocupado a la comunidad científica, pues su aumento se ha visto acelerado de forma preocupante, la actividad antropogénica se considera como la principal responsable de este incremento. En los últimos 800,000 años se han registrado ocho ciclos de glaciaciones y periodos cálidos, la última glaciación, terminó hace aproximadamente 11,700 años y a partir de ello comenzó la era climática moderna y la civilización humana, y aunque estos cambios se debieron a pequeñas variaciones en la órbita terrestre, el actual proceso de calentamiento global avanza a un ritmo sin precedentes a causa de las actividades del ser humano (National Aeronautics and Space Administration, 2024).

Crutzen y Stoermer (2000) enfatizan el papel central del ser humano en la actividad geológica y ecológica del planeta, por lo que proponen el término “Antropoceno” para denominar la era geológica actual, la cual, de acuerdo a las consideraciones de los autores, comenzaría a partir de finales del siglo XVIII, y aunque utilizan el término para denominar una era geológica, es necesario destacar la idea principal en la que señalan la actividad humana como factor de cambio en el sistema natural del planeta a partir de la edad contemporánea en el que toma auge a nivel mundial un sistema económico capitalista y el desarrollo de la era industrial.

De acuerdo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (ONU, pp3, 1992) el término cambio climático hace alusión a *“un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante*

periodos de tiempo comparables”. El cambio climático se encuentra relacionado al efecto invernadero causado por los gases efecto invernadero.

Explicado por el IPCC (1995), la radiación solar es la principal fuente energética para el clima y el tiempo, una parte de la radiación es absorbida por la superficie y la atmósfera terrestre y se equilibra con la radiación saliente, de la cual, una parte es atrapada por los gases de efecto invernadero naturales, entre los que se encuentra el CO₂, O₃, CH₄, y el N₂O, en un proceso natural, sin embargo un cambio en la radiación genera un forzamiento radiactivo que perturba el equilibrio entre la radiación entrante y saliente, un forzamiento positivo tiende a calentar la superficie, de acuerdo a estimaciones del propio IPCC de 1990 duplicar el CO₂ generaría un aumento de la temperatura superficial media global entre 1.5 y 4.5 °C, con una estimación óptima de 2.5°C.

De acuerdo al IPCC (2019), un calentamiento global entre 1.5°C y 2°C generaría en la mayoría de las regiones habitadas episodios de calor extremo, precipitaciones intensas en varias regiones y aumentaría la probabilidad de sequías en algunas regiones, con un incremento global de 1.5°C, el incremento de la temperatura en días de extremo calor podría ser de 3°C, lo cual aumentaría a 4°C si el calentamiento global fuera de 2°C, acompañado de temperaturas extremadamente frías por la noche, se prevé que con el calentamiento global en la mayoría de las regiones el número de días cálidos aumente generando además riesgos debido a sequías, episodios de precipitaciones intensas y por ende aumente el riesgo de inundaciones, aunado a ello, se espera una irreversible pérdida de la capa de hielo de Groenlandia, generando aumento del nivel del mar en varios metros, afectando zonas costeras bajas e islas pequeñas; con el aumento de 1.5°C se espera que la pérdida del alcance geográfico de 6% de los insectos, el 8% de las plantas y el 4% de los animales vertebrados generando una transformación en los ecosistemas; en el entorno marino; mantener el aumento en 1,5°C reduciría el aumento en la temperatura oceánica, en su acidez y en la disminución de su oxígeno; también, se espera que el calentamiento genere pérdida de recursos costeros, pesqueros y acuícolas, además de una disminución de los arrecifes de coral. Los riesgos a la salud, a los medios de subsistencia, a la seguridad alimentaria, al suministro de agua, a la seguridad humana y al crecimiento económico, también aumentarían con un calentamiento

global de 1.5°C y serían aún mayores si este rango de temperatura aumentara tan solo medio grado Celsius, afectando en mayor proporción a las poblaciones desfavorecidas y vulnerables, previendo que la pobreza y desventajas aumenten en algunas poblaciones; en cuanto a la salud del ser humano, se prevé una repercusión negativa a causa de la morbilidad y mortalidad relacionadas con el calor y con la presencia de ozono, además de aumentar los riesgos en enfermedades transmitidas por vectores; en cuanto a la seguridad alimentaria se espera una reducción neta en el rendimiento de los cultivos de trigo, maíz, arroz y algunos otros cereales, además de afectaciones en el ganado y la disponibilidad de recursos hídricos.

Las proyecciones sobre aumento global en la temperatura de 1.5°C con respecto a los niveles preindustriales muestran afectaciones tanto en el clima, en los ecosistemas y en la salud y seguridad alimentaria del ser humano, mismas que, de acuerdo a las estimaciones realizadas, estas afectaciones se agravarían si el calentamiento global fuera de 2°C, es decir, el aumento de medio grado centígrado más de lo esperado, causaría afectaciones aún mayores (PNUMA, 2022), con las políticas actuales entabladas por las naciones, sin alguna acción adicional, se espera que para finales del siglo XXI, el aumento de la temperatura global llegue a alcanzar los 2.8°C, en tenor de ello, implementar escenarios específicos de determinaciones de contribuciones nacionales podría reducir el aumento global de la temperatura a un rango entre 2.6 y 2.4 °C, sin embargo, para intentar limitar el calentamiento global a 1.5°C las emisiones anuales globales deben reducir un 45% de lo proyectado actualmente a 2030 y continuar en una veloz reducción para evitar agotar el presupuesto de carbono. Por ello es necesario redoblar los esfuerzos de las naciones y fortalecer las políticas de mitigación de emisiones.

EL CO₂, el CH₄ y el N₂O son considerados GEI de larga vida, pues al no ser químicamente estables, persisten en la atmosfera por periodos de tiempo que van desde décadas o hasta siglos, por lo que sus emisiones representan gran influencia en el clima a largo plazo, sus características permiten que se mezclen rápidamente en la atmosfera y se eliminen de forma lenta, en el caso del dióxido de carbono, su ciclo atmosférico en los océanos y en la biosfera, dificulta determinar su periodo de vida; en el caso del CO₂ y CH₄ se ha confirmado que el aumento de los gases en el periodo posindustrial no proviene de

mecanismos naturales, el aumento de estos gases no tiene precedente en los últimos 10,000 años, de manera alarmante se ha estimado que el aumento atmosférico del CO₂ ha pasado de un aproximado de 280 partes por millón [PPM] en la época preindustrial a 379 ppm en 2005, que resulta alarmante comparado con el aumento de los 8 mil años previos a la industrialización, periodo en el que solo aumento en una total estimado de 20 ppm (IPCC, 2018). El aumento en la emisión de estos gases no tiene precedente en la historia reciente del planeta, por lo que preocupa a la comunidad científica. En el informe de 1994, la estimación del incremento fue de pasar de 280 ppm en la era preindustrial a 356 ppm (IPCC, 1995), lo cual establece un crecimiento de 23 ppm en tan solo 13 años.

La quema de combustibles fósiles y el cambio en el uso de suelo están relacionados con el incremento de las concentraciones de CO₂. Para 2019, los registros señalaron la existencia de un promedio de 410 ppm de CO₂, el aumento en un par de años supera el crecimiento registrado en los últimos 8 mil años, previos a la era industrial, además las últimas décadas han sido sucesivamente, las más calientes que cualquiera anterior a 1850 y se estima que los gases de efecto invernadero mezclados homogéneamente hayan sido el principal responsable del calentamiento de la troposfera desde 1979, además se calcula como muy probable que la actividad humana haya influenciado en la disminución de la superficie de los hielos marinos del ártico, en la tendencia de los cambios observados en las precipitaciones desde mediados del siglo XX, en la fusión superficial del manto de hielo de Groenlandia y en la pérdida de masa del manto de hielo de la Antártida, de forma que la influencia humana ha generado el calentamiento en el clima de una forma insólita en los últimos 2,000 años (IPCC, 2021). Siendo el último par de siglos, el periodo en que mayor daño se ha causado.

El CO₂ es considerado como el mayor GEI generado (de forma natural y antropológica), por lo que es tomado como referencia en equivalencia para otros contaminantes. En este sentido el presupuesto de carbono refiere a la cantidad de CO₂ que se emite mediante las actividades antropogénicas y en relación a ello, calcular en cuanto se deberá reducir en un futuro la emisión por cada actividad de las naciones, para alcanzar un escenario de emisiones netas cero; en las proyecciones futuras, el índice más bajo de

emisiones de GEI implica un bajo crecimiento demográfico y económico, así como eliminación de la energía nuclear (IPCC, 1995). Lo cual resulta difícil de alcanzar si se considera la tasa actual de crecimiento y el enfoque capitalista que profesa la mayoría de las naciones.

El Foro Económico Mundial (2024) estima que para la próxima década (de 2024 a 2034), los fenómenos meteorológicos extremos serán aún más graves, representando el principal riesgo para dicho periodo de tiempo, además de generar cambio en los sistemas de la tierra, pérdida de biodiversidad, colapso de los ecosistemas, escasez en los recursos naturales, migración involuntaria y aumento de la contaminación. Migrar a un panorama en que se reduzcan las emisiones de carbono parece ser el único medio de detener el calentamiento global, por lo que llegar a un desarrollo con emisiones cero es el objetivo planteado desde instancias internacionales y adoptado por las naciones como medida de mitigación y adaptación al cambio climático en un panorama en el que la especie humana se encuentra en riesgo de desaparecer si no se adoptan medidas para enfrentar el cataclismo a efecto del cambio climático, de una forma más grave que lo causado por la pandemia de coronavirus de 2020 (Padilla, pp. 48, 2021,).

Para lograr migrar a un escenario de emisiones cero es necesario hacer grandes cambios en tres aspectos fundamentales: en primer lugar, evitar el estancamiento, por lo que es necesario actuar en el presente para afianzarse en un futuro de alta energía y consumo de carbono, planificando la infraestructura en miras a una transición energética a largo plazo; en segundo lugar, comenzar con avances tecnológicos de cero emisiones de carbono, eliminando de forma gradual las industrias existentes de uso de combustible fósiles al tiempo en que amplíen las alternativas cero emisiones; y en tercer lugar, mantener las reducciones profundas (PNUMA, 2022).

3.4 Políticas Públicas

3.4.1 Introducción a las Políticas Públicas

Con la finalidad de comprender el termino política, es necesario distinguirlo de su connotación partidista, en este sentido, Lerner & Lasswell (Aguilar , 1992) refieren el

término ciencias de política (policy sciences) en la designación del contenido específico que la orientación hacia las políticas alcanza en un momento determinado y que incluyen: métodos de investigación de la problemática de la política, los resultados de los estudios y los descubrimientos de las disciplinas que pueden aportar contribuciones importantes a las necesidades e inteligencia. En el entender de que, si se quiere mejorar la racionalización del proceso político, se debe dar espacio al estudio de la “función-inteligencia”, afinando los métodos de información genuina, e interpretación confiable, aunado al juicio del decisor. Los autores hacen una distinción de la palabra “política” de policy, que refiere la designación de elecciones importantes de la vida organizada y privada, utilizada para referir política gubernamental, política empresarial, etc., y difiere del significado de la palabra “política” proveniente de *politics*, utilizada frecuentemente para referir partidarismos y corrupción. De manera similar como Lasswell y Lerner atribuyen multidisciplinariedad a las ciencias de las políticas, el proceso de las políticas públicas requiere de diversas disciplinas de acuerdo al contexto en el que se apliquen, se requiere de la localización e interpretación de datos/información sobre los asuntos relevantes de problemas fundamentales y con frecuencia no reconocidos.

No solo basta con definir y aplicar las políticas públicas, resulta necesario profundidad en su contenido y del contexto en el que se desarrolla, en este sentido, para Garson (Aguilar 1992), la complejidad del análisis de las políticas públicas crece a medida que se agregan nuevas dimensiones, en términos de procedimiento, nivel función, secuencia, contexto y criterios normativos; los debates teóricos representan una parte pequeña del alcance potencial que tiene el análisis de políticas como disciplina.

A manera de definición, Lahera menciona que “Las políticas públicas son cursos de acción o flujos de información relativos a un objetivo público. Estos son desarrollados por el sector público con la frecuente participación de la comunidad o el sector privado” (Lahera, 1999), en un sentido utópico, no obstante, es posible encontrar políticas que carezcan de algún elemento, sean confusas o que no se hubiesen articulado de forma correcta; refiriéndose a cursos de acción y flujos de información relativos a un objetivo público, que enuncian un proceso dinámico y un resultado. Desde la perspectiva de Lahera, las elecciones serían el

principal método de evaluación de las políticas públicas, ya que desde algunas perspectivas corresponde al Estado la responsabilidad de determinar por sí mismo y ejecutar dichas políticas. No obstante, hoy por hoy, una característica fundamental de la política pública es la inclusión del sector social y en algunos casos del sector privado en el diseño, gestión y evaluación de ellas. De acuerdo al autor, se incluyen orientaciones, instrumentos/mecanismos y definiciones o modificaciones institucionales, de forma clara, consistente y articulada en un margen tanto político como financiero designando recursos además de financieros, humanos y tecnológicos para lograr un mejor cumplimiento de las políticas en un esquema de jerarquización, tomando en consideración que para los gobiernos las necesidades son muchas y los recursos escasos y es su deber hacer uso eficiente de ellos. Antecediendo la creación de políticas públicas se encuentra la agenda pública, vinculada a las relaciones de poder, el sistema político y la relación Estado – sociedad civil, en un debate en el que pueden conjugarse alternativas de políticas públicas articulando aspectos técnicos y políticos considerando términos ideológicos o filosóficos traducidos a las actitudes de un mundo real. Diseño y evaluación juegan un papel de igual importancia, Lahera apunta a que se gobierna para obtener resultados, pero sin evaluación, no habría forma de saber los resultados, por tanto, no habría un punto de partida para mantener, modificar o eliminar las políticas públicas.

La problemática que surge en torno al diseño, implementación y evaluación de políticas públicas no solo es propio de grandes grupos sociales y gobiernos de grandes naciones, desde el punto de vista de Aguilar (1992), aun con un gobierno pequeño, los problemas públicos siguen siendo grandes, por lo que la complejidad para la creación, implementación y evaluación de las políticas públicas no deja de ser un proceso con cierta complicación. En el contexto de México y América Latina, la magnitud de sus problemas, rezagos, el estatus de su justicia social y sus características tanto políticas como económicas, plantea el reto al Estado sobre la forma de gestión, tanto de política como en políticas, ante una sociedad cada vez más autónoma compleja y controversial.

La conceptualización del término no solo se ha acuñado por teóricos, desde el sistema gubernamental mexicano se considera como una política pública aquella que implica el

establecimiento de una o más estrategias orientadas a la resolución de problemas públicos y/o a la obtención de mayores niveles de bienestar social, a través de procesos de toma de decisiones en el que se involucra gobierno y sociedad civil, siendo el producto de los procesos de la toma de decisiones del Estado referente a determinados problemas de índole público, como parte de una obligación inherente al quehacer gubernamental por lo que se constriñe a implementar el proceso de políticas públicas, desde su diseño, elaboración, implementación y evaluación (H. Cámara de Diputados, 2024).

3.4.2 Las Políticas Públicas como un Sistema de Acción

Aunado a su definición conceptual, las políticas públicas deben considerarse como un proceso decisional en el transcurso de un proceso temporal y considerar como lo señalan algunos autores, “[]”, y para ser considerada pública una política, debió generarse bajo el marco de procedimientos, instituciones y organizaciones gubernamentales y demás actores, la acción de gobierno se expresa a través de sus resultados, aquello que está haciendo (Pallarés, 1988).

Considerado un sistema de acción pública, la política pública se compone de tres subsistemas: subsistema de actores, sistema de actividades y sistema de proceso.

Para que pueda accionar en la sociedad, la política pública requiere la participación de diversos actores en ciertas circunstancias. La acción de gobernar, dirigir, conducir y coordinar a la sociedad se conoce como gobernanza pública, esta coordinación directiva surge de la coordinación entre gobierno y sociedad, a través de acuerdos que redefinen la sociedad en sus valores, objetivos y rumbo; en un nuevo enfoque de cogobierno, en el que intervienen múltiples agentes: gobiernos estatales, federales y locales, funcionarios, actores políticos, organizaciones civiles, organismos internacionales, redes de información, centros de investigación, organizaciones civiles, etc., conjugados en un sistema multiactor y multinivel; con una exigencia de racionalidad y objetividad en el diálogo público (Villanueva, 2024).

3.4.3 Políticas Públicas en la Nueva Gestión Pública

Se trata de un enfoque relativamente nuevo en que la administración pública busca una modernización, orientado a resultados, bajo la premisa de una gestión eficaz y eficiente, incorpora el tema de gobernanza.

3.4.3.1 Partiendo del Neoliberalismo. Como corriente de pensamiento, el neoliberalismo toma fuerza en los 90's, en una reacción teórica y política contra el Estado intervencionista, para dar pie a un nuevo capitalismo duro y libre de reglas, para teóricos como Von Hayek, el papel del Estado en un sistema capitalista, debía permanecer limitado, comparando incluso el Estado de bienestar con la dictadura. De acuerdo al neoliberalismo el Estado debe mantener un papel activo en ciertos aspectos, siendo el marco legal uno de ellos, sin embargo, da primacía al resguardo de la libre competencia y la propiedad privada; algunos teóricos más, como Friedman, opinaron que el poder gubernamental es necesario pero peligroso, por lo que éste debería ser limitado y descentralizado, optando por un libre desarrollo del mercado, considerando la pobreza como inherente al sistema económico, sin embargo, el libre mercado, de forma histórica produce menos desigualdades y genera una distribución más amplia de la riqueza y menor pobreza que cualquier otra forma de organización económica. La política neoliberal se establece como un nuevo modelo cuya inclinación se orientaba a la no intervención estatal, la privatización, así como a la liberación de los mercados, mayoritariamente del financiero. Paradójicamente, el pensamiento neoliberal logró incrementar el crecimiento económico en América Latina sin embargo fue precedido por un aumento de la pobreza, cuya tendencia fue ascendente, creando nuevas realidades de los escenarios en los distintos ámbitos de la sociedad que debe ser abordado para procurar el acceso a una vida digna (Calvento, 2006).

Los procesos característicos del neoliberalismo, como la privatización, comodificación, regulación y desregulación propiciaron el crecimiento fenomenológico de las organizaciones no gubernamentales internacionales, fondos y fideicomisos privados para la conservación, además del establecimiento de productos financieros exclusivos para la conservación del medio ambiente a manera de reparación; considerado como un ámbito de resistencia a la economía capitalista, la conservación ambiental transitó a modelos de

conservación hacia esquemas más democráticos que enfatizan la participación local en el diseño (Durand, 2014)

Bajo la teoría de que el neoliberalismo ha propiciado las condiciones para el surgimiento de una crisis mundial tanto económica como ambiental, Pérez (2010), considera fundamental promover el desarrollo de las naciones bajo un esquema sustentable en el presente y con miras al futuro, en el que tanto las políticas económicas como las políticas ambientales sean compatibles entre sí, ya que observa un fracaso en la economía de mercado referente a la asignación de recursos naturales, reflejado en el grave estado de degradación del medio ambiente, por lo que los agentes económicos, empresas, gobierno, consumidores, etc., requieren incorporar los costos sociales de la degradación ambiental que genera su actuar.

Para Vargas-Alzate & Velázquez (2014), el papel de organismos no gubernamentales ha sido factor influyente en la intención de solucionar los problema medioambientales, convirtiéndose en actores que han sumado a nivel mundial por medio del llamado y acciones de cabildeo que marcan influencia en decisiones políticas con tendencia a la solución de problemas ambientales, por su parte, los partidos verdes intentaron, de forma fallida, establecer una vía entre el capitalismo y el socialismo en una utopía ideológica; las políticas verdes surgen como respuesta a problemas que alteran las relaciones políticas, económicas y sociales a nivel global. Para los autores, es tiempo de dar un paso a una visión biocéntrica, en el que el centro de todo sean los recursos naturales y su conservación, señalando que la problemática ambiental abarca diversos matices, tratándose de un asunto transfronterizo cuya corresponsabilidad implica sociedad, empresas y gobiernos, tiene una visión antropocéntrica en la que el modelo industrial y de consumo que refleja un impacto negativo, además, la problemática ambiental se presenta como un tema vital para futuras y presentes generaciones, por lo que puede generar conflictos sociales y militares e incluso convertirse en asuntos supranacionales.

De acuerdo a Fernández (2014), la inclusión de la sustentabilidad y de la integración de la política ambiental como eje rector gubernamental en los planes nacionales de desarrollo no refleja resultados en el mandato político integral y global, particularmente en el sector

agropecuario, a través de instrumentos críticos de integración de la política ambiental y sectorial se manifiestan ausentes estos aspectos. La política gubernamental centra sus esfuerzos en el combate a la delincuencia y la pobreza dejando en segundo plano los temas ambientales, por lo que la integración de la política ambiental en el ámbito agropecuario no ha rendido resultados sustanciosos, en donde la voluntad política juega un papel de importancia.

Es necesario fortalecer la capacidad ejecutora, de contratación, vigilancia y control, y de planificación ambiental para articular la política ambiental en los planes municipales de desarrollo (Molina, 1995). Fortalecer y respaldar su actuar no solo en lo normativo, también se requiere una aplicación efectiva.

Desde un enfoque panóptico, las ciencias sociales borraron de su horizonte la previsión de la crisis ambiental producto de un comportamiento normalizado y racionalizado de la sociedad, por lo que su aparición entre los años 60's y 70's irrumpe este enfoque de progreso sin límites, permitiendo el surgimiento de un saber ambiental que cuestiona el modelo de la modernidad (Leff, 2011).

La integración de políticas ambientales, particularmente en la Unión Europea, son respaldadas por un fuerte compromiso político, en especial en los estados industrializados, no obstante, se visualizan pocas mejoras prácticas que puedan compartirse entre jurisdicciones. Un enfoque de integración de políticas ambientales puede apoyarse en la estructura de un sistema político a través de sus instituciones, el contexto político, las condiciones sociales, legales y administrativas, así como de las predisposiciones cognitivas con que cuenta un sistema de gobierno (Jordan & Lenschow, 2010).

Lo Vuolo (2014), señala la naturaleza “entrópica” del proceso económico y en particular de la actividad industrial en el que las emisiones de CO₂ son un factor inevitable, dejando en evidencia la necesidad de políticas que terminen con la dependencia entrópica que muestra el actual sistema productivo y de consumo, de forma inmediata. En un sistema de desmercantilización del capitalismo industrial, hay que considerar que la capacidad individual y colectiva para responder a los desafíos del cambio climático difieren según las

estructuras sociales, las instituciones vigentes y las relaciones de poder, entre otros factores. Desde la perspectiva del autor, en América Latina, converge un contexto de desigualdad y problemas estructurales, no se genera un campo propicio para el discurso ambiental como consecuencia del régimen económico actual.

3.4.3.2 Mercado Ambiental Global. Producto de un mundo globalizado, en un sistema capitalista en el que se privilegia el crecimiento económico en un libre mercado, el cuidado del medio ambiente toma relevancia al observarse el deterioro de los recursos naturales y el peligro potencial para la continuidad humana en términos de disposición de los recursos, derivado de ello, diversos autores contextualizan la problemática en una relación desarrollo-economía-sustentabilidad.

Para Micheli (2002) el mercado global resulta de una construcción social de fin del siglo XX, centrado en la crisis ambiental integrada por la relación naturaleza-economía-sociedad; y la idea de superación a través del paradigma de la sustentabilidad, integrado por la acción económica y política de actores vinculados por la preservación del medio ambiente, capaces de generar innovaciones institucionales frente y con la política ambiental. Al tratarse de un mercado, interactúan ofertas y demandas sociales, políticas y económicas. Se distinguen tres etapas del mercado ambiental: la de los 70's, con la construcción inicial de la idea de crisis economía-naturaleza; los 80's, la conciencia de crisis ambiental global; y la de la década de los 90's, de la búsqueda de factores de rentabilidad como solución a la crisis ambiental.

En términos de Carrillo y Hernández (2009), los mercados ambientales involucran principalmente productos tecnológicos, inversiones, programas de gestión ambiental, servicios de asesoría y servicios de consultoría, en relación a sus factores sustantivos involucran: aire, agua, residuos y energía; a partir de la década de los 80's, producto del creciente interés de forma internacional por establecer mecanismos regulatorios sobre las acciones de los agentes económicos da pie a la política ambiental, con un enfoque sancionador y de vigilancia. Aunado a ello, crece la demanda de consumidores, de un comportamiento menos agresivo con el ambiente por parte de las empresas productoras de bienes y servicios.

En un contexto similar, Vargas-Hernández (2008), enlaza la política ambiental con una dimensión económica, conceptualizando la economía política ambiental, que, de acuerdo al autor, refiere el enfoque del análisis económico de los procesos a través de las decisiones políticas relacionadas con la protección ambiental, relacionándose con la creación y atribución del valor. Requiere de la participación de diversos agentes y actores locales, coordinados mediante estrategias económicas que demandan mecanismos de decisión democrática participativa, con metas compartidas en el ámbito económico, social y ambiental. De acuerdo al autor, en una perspectiva internacional, la protección ambiental representa un bien público, por lo que es necesario una acción colectiva internacional con incentivos hacia las naciones para iniciar nuevas medidas de protección ambiental, el carácter del bien público, bien ambiental, determina bajo qué circunstancias los países actúan solos o lo hacen de forma colectiva para que la acción sea potencialmente más eficiente. En razón de ello, una política ambiental debiera partir de una realidad sociocultural, en un proceso de participación comunitaria concerniente a la transformación económica, política, social y cultural en las esferas de producción, distribución y consumo encaminadas a una mayor equidad y mejor calidad.

3.4.4 El Progreso de la Política Ambiental en México

Previo a la década de los 70's el gobierno mexicano era ajeno a los temas ambientales, su actuar se centraba en incursionar a un sistema de globalización, sin embargo a principios de la década, la presión de la opinión pública respecto a los altos niveles de contaminación de la ahora Ciudad de México generó que el tema se contemplara en la agenda pública, dando lugar a la creación de normativas e instituciones que ponen en contexto a la contaminación como un problema ambiental, inicialmente de carácter sanitario, pues se crea la Subsecretaría del Medio Ambiente dependiente de la Secretaría de Salubridad y Asistencia. Para la década de los 80, el enfoque cambia al ámbito de ecología, con la aparición de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología y el Programa Nacional de Ecología, llegando a considerarse de forma constitucional la obligación de preservación y restauración del equilibrio ecológico en una coordinación de los tres niveles de gobierno dando pie a nuevas normativas; hacia la década de los 90's se establecen los ejes rectores de política ambiental vigente con la

promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente proseguido de leyes locales y reglamentos referentes a la evaluación del impacto ambiental, residuos peligrosos, transporte terrestre de residuos peligrosos, contaminación atmosférica y contaminación de vehículos en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, además de la creación del Instituto Nacional de Ecología y la Procuraduría Federal de Protección al Medio Ambiente, abarcando aspectos como la protección e áreas naturales protegidas, prevención y control de la contaminación atmosférica, de suelo, agua y control de residuos y materiales peligrosos, (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sostenible y la Soberanía Alimentaria, 2016).

En términos jurisdiccionales, corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales la formulación, conducción y evaluación de la política en materia de recursos naturales, así como en materia de ecología, saneamiento ambiental, agua, regulación ambiental del desarrollo urbano y de la actividad pesquera; la coordinación y ejecución de proyectos de formación, capacitación y actualización para la mejora de la capacidad de gestión ambiental; además de la evaluación de la calidad del aire, entre otras atribuciones. (Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 2023)

Micheli (2002), refiere que la visión de sustentabilidad se concreta a espacios definidos en nuevas particularidades de las regiones dando lugar a una nueva geografía ambiental, la cual es definida por la acción respecto al mercado ambiental desde una perspectiva tanto global como nacional y en el ámbito mexicano, precedido de la incapacidad institucional para la atención de catástrofes naturales, la emergencia del modelo neoliberal en la estrategia de desarrollo económico y social del país y el afianzamiento de tendencias internacionales respecto a la creación de un mercado ambiental. El autor señala que las regiones urbanas están expuestas a diversas crisis ambientales en todos sus niveles, por contaminación tanto del suelo, aire y agua, percibido como un riesgo inherente a vivir en entornos urbanos, siendo las zonas metropolitanas quienes demanden mayor presión para el poder político.

Para Ángeles, Rovalo y Tejado (2021), los instrumentos de política pública legitiman la intervención del Estado en cuanto a la protección del ambiente, de forma general se clasifican en: instrumentos de regulación directa, que son dependientes de la promulgación de normas y mecanismos de sanción; instrumentos administrativos, emanados mediante el otorgamiento de licencias y permisos para el uso de recursos naturales; instrumentos económicos, los cuales son encaminados a que las fuerzas de mercado propicien el cumplimiento de la normativa ambiental, de carácter fiscal a través de estímulos, de carácter financiero mediante créditos, fianzas, seguros de responsabilidad civil, fondos y fideicomisos y de mercado, mediante concesiones, licencias y permisos de emisiones de contaminantes o de aprovechamiento de los recursos naturales; e instrumentos educativos, que son relativos a acciones de educación, investigación y asistencia técnica de información para el involucramiento social.

Guevara (2005), hace referencia de la confrontación que suele darse en algunas naciones, debido a que el deseo de tener un ambiente en buen estado no compagina con el crecimiento económico, a fin de subsanar esta perspectiva, surge en el siglo XX un nuevo ámbito de política, la política pública ambiental, que pretende dar respuesta a las exigencias de la ciudadanía en el entorno nacional e internacional para atender y revertir el daño al medio ambiente. A través de una tendencia global a la institucionalización de la política ambiental, México ejerce una presión sobre el capitalismo natural, los asuntos relacionados con el medio ambiente se consideran en la agenda pública haciendo este rubro inherente al estado. Equivalente a una depreciación, los costos de agotamiento de los recursos se reflejan en términos monetarios. Como punto de referencia, el tema de política ambiental a nivel ministerio, marcó los principios de funcionamiento institucional en términos de política ambiental y las estrategias seleccionadas. Respaldada en instrumentos legales, la política ambiental busca regular el comportamiento (aprovechamiento) ambiental a través de normas e instrumentos diseñados considerando la experiencia adquirida. La transversalidad de las políticas aun presenta grandes carencias debido a la poca fuerza política que se le atribuye al sector ambiental, en un sistema gubernamental que se caracteriza por ser de gobierno tradicional (derecha-capitalista).

La política ambiental implementada en México pretende responder a las necesidades de una economía emergente, sin embargo, aun presenta debilidades y puntos de oportunidad, requiere de una formulación multi e interdisciplinaria y multi e inter organizacional, además de la intervención de agentes que fungirán como creadores y partícipes de la política pública *ambiental*.

3.4.5 El Desarrollo de la Política Sanitaria en México

3.4.5.1 Contexto Internacional. Reconocido y respaldado por las naciones, el derecho a la salud y a la asistencia médica, proclamado mediante la Declaración Universal de Derechos Humanos desde 1948, ha figurado en la agenda pública global, bajo la directriz de la Organización Mundial de la Salud. La Organización promueve la salud a través de un esfuerzo por ampliar la cobertura a nivel mundial mediante metas basadas en políticas y programas respaldados en la ciencia (OMS, 2025), considerando factores sociales y ambientales de influencia en el estado de salud como es el aire limpio, agua saludable, red viaria segura, alimentación saludable, ejercicio físico y prevención de la violencia y traumatismos. En sus inicios, la OMS tuvo entre sus prioridades la atención de malaria, salud de mujeres y niños, enfermedades venéreas, tuberculosis, nutrición y las afectaciones debido a la contaminación, en forma posterior, a estas prioridades se sumó la atención de VIH/SIDA, cáncer, diabetes y enfermedades emergentes; durante la emergencia sanitaria por enfermedad por coronavirus (COVID-19), la Organización fue el ente que dirigió las acciones respuesta ante un escenario de amenaza, primero de emergencia sanitaria y posterior de pandemia, proveyendo de respuestas integrales a las naciones.

Con sede principal en la ciudad de Ginebra, Suiza, la OMS cuenta con oficinas regionales en las que agrupa a los países de cada una de ellas, en el caso de la Oficina Regional de la OMS para las Américas, se encuentra afiliada la Organización Panamericana de Salud, realizando un trabajo en conjunto en beneficio de la salud de los habitantes de la región, mediante una cooperación técnica y fomentando el trabajo colaborativo entre estados, organizaciones de la sociedad civil, instituciones educativas y demás agentes públicos y privados que puedan contribuir a alcanzar las metas establecidas, promoviendo la inclusión de temas de salud en las políticas bajo una priorización sanitaria regional, visibiliza a las

poblaciones vulnerables como los de mayor inequidad en el ámbito de la salud, víctimas de la disparidad y desigualdades estructurales entre sociedad e instituciones, que a su vez se agrandan debido a la falta de capacidad tanto estructural como técnica de los servicios sanitarios. Si bien la OPS es una organización regional de los estados, funge como sede regional de la OMS y tiene su oficina en Washington. En su Plan Estratégico, la OPS se plantea el compromiso de los Estados para alcanzar los objetivos de salud de contenidos en los ODS y la Agenda de Salud Sostenible para las Américas [ASSA2030] 2018-2030; tras reconocer los grandes retos que supone superar las disparidades de salud en la región, intensificados debido a la falta de capacidad de los sistemas sanitarios por detectar, prevenir y controlar enfermedades a causa de la mala ejecución de las políticas, debido a que las naciones no han desarrollado procesos claros de gobernanza acerca de la salud pública ambiental, ni priorizado en la agenda pública (OPS, 2020).

La ASSA2030, se creó bajo un contexto socioeconómico regional de desaceleración económica con mayor pronunciamiento que el promedio mundial, conjuntándose con el hecho de tener la primer y decima economía mundial en el momento, Estados Unidos y Canadá; ante una creciente en la población mayor de 79 años y con un incremento en la esperanza de vida promedio regional; e inequidades en la distribución de los servicios de salud, diferencias entre los países y dentro de los mismos debido a factores como género, etnicidad, edad, ubicación geográfica, riqueza y educación, en el marco de una concepción moderna que relaciona el medio ambiente y la salud humana (OPS, 2017). Bajo un esquema de interrelación la ASSA2030 contiene las metas comunes planteadas por la Organización Mundial de la Salud, la Organización Panamericana de la Salud y los Objetivos de Desarrollo Sostenible que instan a los Estados Miembros de forma particular y colectiva, a priorizar el tema de salud en sus agendas públicas, con miras brindar el mejor grado de salud posible, de forma equitativa en su población; en un sentido de continuidad y mejora a los objetivos planteados en la Agenda de Salud Para las Américas 2008-2017. La salud, se ha mostrado como tema de interés para algunos otros organismos internacionales, que desde su trinchera, han visibilizado el problema en torno a ello, desde la generación de información basada en la ciencia o exhortando a las naciones a tomar acciones en favor del tema, uno de

estos organismos es la Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], que a partir un rubro financiero analiza las tasas de crecimiento de los índices de cobertura de los servicios de salud, visto desde el impacto en el gasto que realiza la población en salud de forma directa, al respecto señala que para alcanzar un nivel muy alto de cobertura sanitaria se estima que debe destinarse en el gasto público para el sistema sanitario el equivalente al 6% del PIB en los países de la región, y un 6.7% para impactar en protección financiera de la población para que ésta pueda tener un gasto menor en salud (CEPAL, 2025), haciendo un llamado para fortalecer y aplicar reformas estructurales en los sistemas sanitarios considerando elementos de los escenarios actuales a los que se enfrentan; otro organismo internacional que promueve políticas en materia de salud como forma adyacente de trabajar en su principios básicos es la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO] que resalta a los gobiernos la necesidad de priorizar la agenda educativa y mejorar la calidad en los servicios de salud de forma holística, para llegar a los alumnos marginados y lograr un entorno de seguro y saludable de aprendizaje, promoviendo la salud física, mental y el aprendizaje en la escuela (UNESCO, 2025).

Claramente existe una visibilidad global acerca de la necesidad urgente de atender los temas de salud desde las políticas implementadas por los gobiernos nacionales, exhortados mediante los objetivos y metas planteados en la Agenda 2030 mediante los Objetivos de Desarrollo Sostenible que pretenden articularse en las políticas sociales de cada país como fin principal en sus programas y políticas de salud, y como objetivo colateral en las políticas cuya principal orientación es distinta a la salud pública.

Para Franco-Giraldo (2016) es necesario construir una nueva configuración de salud pública global, con instituciones supranacionales que provean un sistema de salud universal, acompañado de una reconfiguración en la gobernanza global en salud. Jamison y otros (2015), señalan que la mejor forma de brindar apoyo a los países por parte de la comunidad internacional es financiando investigaciones sobre políticas y la implementación de la cobertura universal de salud.

Bajo el argumento de los derechos humanos, existe una vía de transformación social que es vista como herramienta para el desarrollo de políticas públicas con orientación a

mejorar las condiciones de salud, considerado como un derecho humano y como un eje de acción de las políticas públicas, la salud pública global requiere mecanismos de acción ciudadana y participación política (Franco-Giraldo y Álvarez-Dardet, 2008). Fracasos en la cobertura efectiva y eficiente de los sistemas de salud no debiera solo verse como un fallo en el sistema gubernamental en el que se califique con más o menos puntos en una escala de medición, es necesario visibilizar el problema desde su punto más crítico, el impacto real que sufre la población que deja en mayor desventaja a los sectores de por sí ya desfavorecidos, empujándolos a situaciones aún más complicadas en lo social y en lo económico, víctimas de un sistema que poco hace en su beneficio, de acuerdo a las Naciones Unidas (2023), durante 2019, el 4.9% de la población mundial fue empujadas o cayó más en la pobreza extrema a causa de los gastos directos para la salud, a esta situación, se suma un deterioro en la cobertura sanitaria universal como efecto de la pandemia por COVID-19, reflejado en la disminución del índice de cobertura e interrupciones en la prestación de servicios esenciales de salud, falta de atención y dificultades económicas por el elevado y empobrecido gasto directo en salud. Las deficiencias en el sistema de salud agravan las condiciones de vulnerabilidad de los sectores menos favorecidos, en un sistema influenciado por una ideología neoliberal.

3.4.5.2 Contexto Nacional. En México, la política sanitaria ha pretendido tener una cobertura universal del servicio sufriendo transformaciones a lo largo del tiempo, aunque dicha cobertura se ha visto apoyada por los servicios privados de salud, y aun cuando se hablase de cobertura pública, la universalidad no refiere precisamente a la gratuidad para la población.

En 1934 por decreto del Presidente Constitucional Substituto de los Estados Unidos Mexicanos, se decreta la Ley de Coordinación y Cooperación de Servicios Sanitarios en la República, en ella se declara como de interés público la salubridad general de la República, así como la unificación, coordinación y cooperación en materia, además se dio apertura a sociedades nacionales y extranjeras y demás particulares para dedicarse a actividades de higiene bajo la vigilancia del Estado, resalta la coordinación de servicios entre autoridades del orden federal, estatal y municipal con el objetivo de aplicar la política sanitaria general,

la observancia de principios técnicos uniformes y la unificación de procedimientos a seguir por parte de las autoridades sanitarias en todo el país (Ley de Coordinación y Cooperación de Servicios Sanitarios en la República, 1934).

Desde su creación, la actual Secretaría de Salud ha sido la encargada de establecer la política de salud a nivel nacional, abanderada por la ideología del acceso a la salud como un derecho de la población. Inicialmente llamada Secretaría de Salubridad y Asistencia fue fundada en 1943, conjuntamente con el Instituto Mexicano del Seguro Social [IMSS] y el Hospital Infantil de México. En el mismo año, durante el mandato de Manuel Ávila Camacho, surge la Ley del Seguro Social como mecanismo de cobertura para “trabajadores que prestan a otra persona un servicio en virtud de un contrato de trabajo” (Ley del Seguro Social, 1943), bajo este sistema se incluía la asistencia sanitaria requerida en caso de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales además de enfermedades no profesionales y maternidad, bajo un sistema de aportación de cuotas por parte del trabajador y del patrón, siendo éste último el encargado de su entero ante el Instituto, en un inicio la Ley contempló la cobertura del servicio sanitario mediante el Instituto también para trabajadores de la administración pública, hasta que el 30 de diciembre de 1959 surge la Ley del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado y por consiguiente el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado [ISSSTE], durante el mandato de Adolfo López Mateos; al igual que la ley del IMSS, la Ley del ISSSTE contempló cobertura sanitaria para enfermedades no profesionales y de maternidad, así como seguro de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, esta ley de 1959 fue abrogada en 1983 por la Ley del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores al Servicio del Estado durante el mandato de Miguel de la Madrid Hurtado, en ella se contemplaba la cobertura sanitaria mediante medicina preventiva, seguros de enfermedad y maternidad, además de servicios de rehabilitación física y mental; y posteriormente, en 2007 Felipe de Jesús Calderón Hinojosa decreta la Ley del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado, que en el ámbito sanitario continúa en medicina preventiva y rehabilitación física y mental, así como medicina curativa y de maternidad; si bien esta última reforma, la de 2007 ha causado gran polémica entre sus agremiados, las

disruptivas no topan en cuestiones de cobertura sanitaria, sino en lo relativo a prestaciones sociales.

De acuerdo al INEGI (2020), el 8.8% de la población cuenta con derechohabientica a los servicios del ISSSTE, 1.3 % a los servicios de salud para los trabajadores de Petróleos Mexicanos [PEMEX] o al Instituto de Seguridad Social para las Fuerzas Armadas Mexicanas [ISSFAM], el 35.5% con afiliación al Instituto de Salud para el Bienestar (o seguro popular) y el 51% tenía afiliación a los servicios del IMSS. Es necesario hacer hincapié que en el caso de los servicios sanitarios proporcionados por PEMEX y por el ISSFAM tienen una cobertura exclusiva para los trabajadores y familias de los mismos del instituto de Petróleos Mexicanos y de las Fuerzas Armadas de México, respectivamente, aun con ello representa un cargo en el gasto del erario público. De acuerdo a las cifras antes referidas, es el IMSS la institución que cubre en mayor medida de población referente a las afiliaciones a un sistema sanitario.

Para 1973, a la política sanitaria le acontece un cambio, pues la Ley del Seguro Social sufre una reforma, en la que se contempló el régimen obligatorio y el régimen voluntario, el régimen obligatorio incluyó el aseguramiento por enfermedad y maternidad, así como medicina preventiva en beneficios del asegurado, el pensionado, la esposa del asegurado, la esposa del pensionado, hijos menores de 16 años del pensionado, hijos menores de 21 años del asegurado, padre y madre del pensionado y del asegurado (Ley del Seguro Social, 1973), la cobertura sanitaria ofrecida por la Ley del 73 duro hasta 1997, tras la abrogación de la misma y la emisión de la nueva Ley del Seguro Social, conocida como la ley del 97, pues fue el año en que entró en vigor, dos años después de su promulgación, entre sus objetivos se plasmó el garantizar el derecho a la salud y la asistencia médica, (Ley del Seguro Social, 1995), continuó bajo el esquema de incorporación obligatoria y voluntaria, es el esquema de seguridad sanitario vigente y funciona en parte por las cuotas obrero patronal, actualmente el Instituto ofrece servicios sanitarios para el grueso de la población asalariada e incluso para el sector estudiantil para quien el servicio no tiene costo.

No obstante, a pesar de existir varios esquemas de cobertura, se encontraba en la incertidumbre la población que por sus condiciones laborales o sociales, no podía acceder a algún esquema de seguridad social en la que se incluyese la cobertura sanitaria, ante esta

situación en 1979 nace el IMSS-COPLAMAR que fue una combinación del IMSS con la infraestructura y programas de la Coordinación General del Plan Nacional de Zonas Deprimidas y Grupos Marginados [COPLAMAR], entre 1985 y 1987 se descentralizan los servicios de salud a población abierta, por lo que en 14 estados se transfieren a los gobiernos estatales la infraestructura local y operación del IMSS-COPLAMAR, continuando su operación en los demás estados hasta 1989, año en que cambia su nombre por IMSS-Solidaridad, financiado por transferencias federales a través del Ramo 12 Salud, su objetivo fue proporcionar servicios de salud de nivel 1 y 2 a la población abierta, es decir a aquella que no tuviese acceso regular a los servicios de salud, particularmente en zonas rurales marginadas, bajo un Modelo de Atención Integral a la Salud, atendiendo problemas prioritarios de salud (ACUERDO por el que la Coordinación General del Programa IMSS-Solidaridad publica las Reglas de Operación del Programa IMSS-Solidaridad, 2000). Para 1997 surge el Programa de Educación, Salud y Alimentación, conocido como PROGRESA, orientado a familias en condición de pobreza extrema, fruto de la política social implementada en su momento, conjugaba sus componentes con política de salud, pues incorporaba de forma gratuita el paquete básico de salud dentro del cual se incluyó el saneamiento básico a nivel familiar, el manejo de infecciones respiratorias agudas y la prevención de la tuberculosis pulmonar (Lineamientos Generales para la Operación del Programa de Educación, Salud y Alimentación (PROGRESA), 1999). En 2002 el programa PROGRESA se convierte en el Programa de Desarrollo Humano Oportunidades, conocido como Oportunidades, bajo la misma tónica de cubrimiento de un esquema básico de salud y en 2014 se transforma a Prospera hasta su extinción en 2018. Además de estos programas, la política de salud también incluyó el Seguro Popular, fruto del Programa Nacional de Salud 2001-2006, que a diferencia de PROGRESA y de IMSS-Solidaridad, buscaba ampliar el servicio sanitario, ofreciendo atención hospitalaria, fortalecer servicios de primer nivel, ampliar la cobertura y reducir los gastos catastróficos en salud (Programa Nacional de Salud 2001-2006, 2001), no obstante, cobertura no significó gratuidad, pues el servicio requirió una aportación económica como forma de afiliación familiar, que si bien no representaba el sostén del programa, pretendía fomentar la cultura de la prevención del riesgo y la solidaridad, la forma para designar la cuota de afiliación se apoyó de estudios

socioeconómicos y ésta tenía una naturaleza progresiva (Acuerdo por el que la Secretaría de Salud da a conocer las Reglas de operación e indicadores de gestión y evaluación del Programa Salud para Todos (Seguro Popular de Salud), 2003). En 2020 se reforma la Carta Magna mexicana para incluir el sustento de un sistema de salud para el bienestar, para garantizar la atención integral y gratuita de las personas que no se encuentren bajo un esquema de seguridad social (CPEUM, 2024), de esta forma se fortalece legislativamente el derecho humano a la salud, de modo que la política sanitaria transita hacia el Modelo de Salud para el Bienestar en busca de una atención integral y no solo de un conjunto de enfermedades, sin embargo este sistema se vio debilitado, pues durante su periodo de arranque tuvo que afrontar las complicaciones originadas por la emergencia sanitaria mundial y en 2022 tras reconocerse que los resultados obtenidos no habían sido los esperados, se migra hacia el IMSS-Bienestar, cuyas principales características que lo abanderan son la gratuidad, accesibilidad y cobertura universal.

El esquema sanitario en el Estado de Hidalgo se respalda en el 8 de la Constitución Política del Estado, y se regula por la Ley de Salud para el Estado de Hidalgo, en ella se regula la prevención, orientación, control y vigilancia en materia de enfermedades respiratorias, entre otras afecciones. En octubre de 2023, el Gobierno del Estado de Hidalgo se integra al Acuerdo Nacional para la Federalización del Sistema de Salud para el Bienestar, que busca consolidar la operación integral del sistema sanitario mediante el IMSS-BIENESTAR, bajo el esquema de atención integral médica gratuita, hospitalaria y medicamentos, así como demás insumos asociados al servicio, teniendo entre sus principios la gratuidad, cobertura universal, oportunidad y calidad (Acuerdo Nacional para la Federalización del Sistema de Salud para el Bienestar, 2023). Por lo que la política sanitaria del Estado corresponde a la política sanitaria federal, por consiguiente, el aspecto municipal no cobra mayor trascendencia en este sentido.

La política sanitaria en México ha sufrido grandes cambios, transitando de un sistema de cobertura a otro, en el que las familias que no cuentan con una relación laboral formal, carecen del acceso a los servicios de salud y se encuentran a la deriva, intentando adaptarse

a las “nuevas” formas de trabajo que trae consigo el cambio administrativo del ejecutivo federal.

Los sistemas sanitarios implementados para la atención de enfermedades respiratorias del colectivo social desprotegido se han caracterizado por ser de naturaleza reactiva, es decir, se han enfocado en la atención tras presentar los padecimientos y poco han dirigido su actuar a la parte preventiva desde sus factores de incidencia como la contaminación atmosférica por gases efecto invernadero, esto a pesar de ser reconocido desde instancias internacionales y sustentado abundantemente con investigaciones científicas, el impacto de la contaminación y el calentamiento global en la salud respiratoria de la población.

Urge a los gobiernos globales, nacionales, estatales y municipales, la reconversión de las políticas públicas, para prevenir el daño a la salud humana, en especial al sistema respiratoria, a causa de la emisión de GEI, a través de una formulación integral interdisciplinaria y multienfoque.

3.4.5 Acciones Puntuales Exitosas

La Organización Mundial de la Salud, ha establecido el enfoque práctico para la salud pulmonar, que representa una estrategia para atender pacientes de enfermedades respiratorias de mayor prevalencia (neumonía, bronquitis aguda, otras infecciones respiratorias agudas, tuberculosis y enfermedades respiratorias crónicas como asma, EPOC y bronquitis crónica) en centros de atención primaria; provee un manual de acción para la atención primaria de salud.

Durante el periodo 2013-2018, la política sanitaria en México incluyó mediante el Plan Sectorial de Salud, el programa de acción específico denominado, Prevención y control de las enfermedades respiratorias e influenza, en el cual se reconoce la “Falta de proyectos de investigación enfocados en estrategias para mejorar la prevención y control de las ER e influenza” (Secretaría de Salud, pp 46, 2013), sin embargo las metas no contemplaron acción alguna para estimular la investigación y prevenir las ER desde su origen; las acciones contempladas para la prevención de ER e influenza se encaminan a hábitos alimenticios y acciones al estornudar y limpieza de manos, por tanto se podría decir que la política sanitaria

mexicana ha sido reactiva y no preventiva, en cuanto a la atención de enfermedades respiratorias.

El caso japonés podría considerarse como un caso favorable en cuanto a la atención de enfermedades respiratorias desde su prevención mediante acciones de mejora del medio ambiente, reconociendo la influencia que éste tiene en la salud humana. El país se encuentra en camino a una economía verde de cero emisiones, en el que se reconoce la importancia para la salud respiratoria que tiene este modelo.

Las acciones emprendidas para reducir las emisiones de contaminantes ha incluido la transición a energías eficientes, apostando por mejoras tecnológicas en la producción energética, el desarrollo industrial y vehículos menos contaminantes, aunado a ello, se ha eficientizado el manejo de residuos y fomentado el reciclaje de residuos y la circulación de residuos, las políticas de reducción en la generación de residuos domésticos se encuentra por debajo de dos tercios del promedio de los miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], la Ley de Circulación de Plásticos ha permitido disminuir la generación de residuos plásticos y fomentar su reutilización, se han instalado sistemas de depósito y reembolso de residuos plásticos, por otra parte se ha fomentado la agricultura sostenible a través de la estrategia para los sistemas de alimentación sustentable, se han implementado medidas regulatorias para el tratamiento de aguas residuales para disminuir la contaminación hídrica, desde el gobierno se subsidia sistemas avanzados descentralizados de tratamiento de aguas residuales en áreas rurales; a pesar de contar con infraestructura y vehículos eficientes de bajo consumo de combustible, el país se encuentra en transición hacia una electromovilidad; los compromisos de Japón se basan en la sinergia entre los objetivos de mitigación al cambio climático, conservación ambiental y economía circular (OCDE, 2025), aunque aún hay puntos en los que debe fortalecer sus acciones como lo es el mejorar el reciclaje de residuos electrónicos.

La lucha del país asiático para mitigar los efectos del cambio climático responde a una política integral que busca reducir los impactos del cambio climático sobre el país, que debido a su ubicación geográfica y sus condiciones naturales ha sufrido los estragos con gran intensidad a causa de eventos extremos provocados por la fuerza de la naturaleza

potencializada por el cambio climático, aunque su política de mitigación atiende a la preservación ambiental y la reducción de desechos para reducir las emisiones, también apunta la importancia de atender este problema debido a la influencia que tiene en la salud de su población, entre la que se encuentra la salud respiratoria, con mayor impacto en poblaciones vulnerables, es decir población infantil de menos de 5 años, adultos mayores y personas con patologías preexistentes.

Es necesario enfatizar que el éxito del país nipón en su lucha ante el cambio climático se debe a las acciones establecidas desde los programas japoneses, que juegan un rol importante al ser parte de una normativa nacional y que se han desarrollado a lo largo de décadas, sin embargo, el punto crucial para lograr resultados favorables que han llevado a la nación a reducir sus niveles de contaminantes se debe a su ejecución de forma eficiente. Resalta este punto, ya que puede ser ejemplo de acción para otras regiones, que aunque ya tengan estrictas normativas para la reducción de contaminantes en beneficio de la salud de la población, su cumplimiento no llega a ser tan eficaz y por ende el impacto no es el esperado; aunque la falta de cumplimiento pudiese estar dependiente de factores diversos como la falta de financiamiento suficiente o la inadecuada aplicación de la normativa, diagnósticos erróneos, proyectos no acoplados a la realidad de la zona, etc. Considerando que la salud respiratoria se convierte en un problema social, las políticas llegan a no tener los resultados esperados, Cárdenas y otros (pp 2539,2023) señalan como parte del problema que “la falta de visión y diagnósticos oportunos derivan en objetivos o metas que no resuelven problemas sociales”. La salud respiratoria debe ser atendida con una visión multidisciplinaria y con perspectiva global.

Conclusión

A partir de la adopción de tratados internacionales en materia ambiental, los Estados Unidos Mexicanos, han alineado su normativa, para dar cumplimiento a lo pactado como parte firmante de los diversos convenios, de tal forma que se observa una alineación reglamentaria desde el ámbito federal hasta el ámbito estatal, sin embargo, en lo municipal es posible distinguir algunas omisiones en cuanto a su alineación y por ende cumplimiento.

Por otra parte, a pesar de tener alineada la normativa mexicana, el cumplimiento en cifras, para la mitigación y reducción de contaminantes llega a ser cuestionable, por lo que analizar a profundidad la funcionalidad de las políticas implementadas resulta fundamental para poder emitir mejoras al respecto. En cuanto a la política sanitaria se ha impulsado una cobertura universal mediante los diversos sistemas de seguridad social para trabajadores y se ha buscado cubrir el servicio con esquemas sanitarios complementarios dirigidos a personas no derechohabientes en otros sistemas de seguridad social, sin embargo, existen áreas de oportunidad para desarrollar políticas que mitiguen la emisión de GEI como forma de disminuir la incidencia en enfermedades respiratorias.

Capítulo IV Modelamiento de Enfermedades Respiratorias en Función de Gases Efecto Invernadero

Introducción

En este capítulo se trabaja con las variables “gases efecto invernadero”, “sector económico” y “municipio”, son variables que impactan en enfermedades respiratorias agudas, Covid-19 y otras enfermedades. Se realizaron dos modelos, el primero una técnica de Escalamiento Multidimensional y el segundo una Regresión Canónica. La construcción de estos modelos tiene el propósito de saber que variables predictoras inciden en el fenómeno de estudio de esta investigación, la información generada en el presente apartado permitirá visualizar de forma real el problema central de la investigación y a partir del análisis de los parámetros producto de la correlación canónica, se podrá emitir una recomendación en materia de política pública para la Zona Metropolitana de Tula.

4.1 Metodología

Para la construcción de los modelos probabilísticos se ha sustentado en la Metodología de Investigación de Operaciones, la cual debe cumplir cinco etapas (Thierauf, 1982; Taha, 2012):

- Primera etapa (definición y delimitación del problema): se definen la población, la muestra y el instrumento, con la finalidad de obtener la información necesaria para construir los modelos.
- Segunda etapa (construcción o formulación del modelo): en esta sección se proponen matemáticamente las variables que participarán en la construcción de los modelos; con base en ciertas condiciones, se selecciona el modelo que logre un mejor ajuste.
- Tercera etapa (solución o estimación del modelo): una vez identificado el modelo, se realiza la estimación de parámetros.
- Cuarta etapa (validación del modelo): después de seleccionar el modelo, se lleva a cabo su validación mediante el cumplimiento de ciertas condiciones de inferencia estadística.

- Quinta etapa (implementación y análisis de resultados): en esta última sección, se interpretan los parámetros obtenidos.

Con la construcción de estos modelos, se implementan los elementos necesarios para prever el comportamiento del fenómeno a partir de la relación lineal entre la variable dependiente y las variables independientes (X_i , $i = 1, 2, 3 \dots k$). Lo que permitirá a partir del análisis de los parámetros obtenidos, dar recomendaciones de política pública ambiental en la ZMT.

4.2 Delimitación del Problema

De acuerdo a los objetivos y a la hipótesis, y con base al marco conceptual, las enfermedades respiratorias van estar en función de los altos grados de gases efecto invernadero, del sector económico y del número de habitantes.

Los GEI, son causantes del cambio climático, son la mayor amenaza para la salud a nivel mundial del siglo XXI; ya que, la salud es y será afectada por los cambios de clima a través de impactos directos (olas de calor, sequías, tormentas fuertes y aumento del nivel del mar) e impactos indirectos (enfermedades de las vías respiratorias y las transmitidas por vectores, inseguridad alimentaria y del agua, desnutrición y desplazamientos forzados) (Organización Panamericana de la Salud, 2020). Las altas temperaturas elevan los índices de mortalidad, y se ha identificado que hay un alto registro de causales como las enfermedades infecciosas, parasitarias, respiratorias y nutricionales (Ochoa, Muños y Freyermuth, 2020). Las enfermedades respiratorias y los GEI, se relacionan por la contaminación del aire, y esta incide directamente la salud de la población. Asimismo, la contaminación de la industria está relacionada con las enfermedades respiratorias, estas afectan al sistema respiratorio, provocando infecciones, inflamación crónica y reduciendo la función pulmonar, principalmente en niños, adultos mayores y personas con enfermedades degenerativas (OMS, 2021).

La Zona Metropolitana de Tula, ubicada en el estado de Hidalgo, se integra por los municipios de Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tlaxcoapan, Tlahuelilpan y Tula de Allende que se interrelacionan debido a su actividad comercial, y la cercanía de las poblaciones

colindantes; producto de ello, la ZMT es generadora de grandes cantidades de contaminantes ambientales, la emisión de PM, SO₂, CO₂, Nox, CH₄ y N₂O ha llevado a mermar la calidad del aire de forma recurrente en la zona, aunado a lo anterior expuesto, en los municipios señalados, los problemas de salud de la población han percibido un aumento, particularmente en vías respiratorias (Tabla 3).

Tabla 3
Enfermedades respiratorias asociadas a los Gases Efecto Invernadero

GAS CONTAMINANTE	ENFERMEDADES RESPIRATORIAS
Material particulado (PM _{2.5} y PM ₁₀)	Asma, bronquitis crónica, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), cáncer de pulmón, infecciones respiratorias agudas. Puede incidir en la severidad y el impacto del COVID-19.
Dióxido de azufre (SO ₂)	Irritación de vías respiratorias, bronquitis aguda, crisis asmáticas, disminución de la función pulmonar. Puede incidir en la severidad y el impacto del COVID-19.
Dióxido de carbono (CO ₂)	En concentraciones ambientales normales no causa enfermedad respiratoria directa, pero niveles elevados pueden causar hipercapnia, dificultad respiratoria y agravar enfermedades preexistentes.
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	Inflamación de vías respiratorias, asma, bronquitis crónica, reducción de la función pulmonar, aumento de infecciones respiratorias.
Metano (CH ₄)	No es tóxico directamente a concentraciones bajas, pero en ambientes cerrados puede desplazar el oxígeno causando hipoxia; la hipoxia puede provocar dificultad respiratoria.
Óxido nitroso (N ₂ O)	A concentraciones altas puede causar depresión del sistema nervioso y dificultad respiratoria; uso crónico asociado a daño pulmonar en entornos laborales. Puede incidir en la severidad y el impacto del COVID-19.

Fuente: (Organización Mundial de la Salud, 2018; Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2023).

De acuerdo a la literatura científica consultada en los capítulos previos, se han encontrado relaciones significativas entre los niveles de contaminación ambiental y las enfermedades del sistema respiratorio considerando enfermedades respiratorias, enfermedad COVID-19 y otras enfermedades respiratorias, notando una particular vulnerabilidad en grupos poblacionales específicos (infantes, adultos mayores y personas con enfermedades crónicas), también, diversos autores han referido mayor incidencia de afectaciones en poblaciones cercanas a fuentes constantes de emisión de GEI.

La igualdad algebraica del objeto de investigación:

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9$$

Donde:

- Y_1 son las Infecciones respiratorias agudas
- Y_2 Covid-19
- Y_3 Otras enfermedades respiratorias
- X_1 Sector económico (Primario, Secundario y Terciario)
- X_2 Municipio
- X_3 Población
- X_4 Material particulado (PM)
- X_5 Dióxido de azufre (SO₂)
- X_6 Dióxido de carbono (CO₂)
- X_7 Óxidos de nitrógeno (NOx)
- X_8 Metano (CH₄)
- X_9 Óxido nitroso (N₂O)

4.3 Formulación Matemática

En este trabajo se realizaron dos modelos, el primero es una técnica de Escalamiento Multidimensional y el segundo una Regresión Canónica.

La ecuación del Escalonamiento Multidimensional (Chen, 2020):

$$X = V_k \Lambda_k^{1/2}$$

Donde:

- X Es la matriz $n \times k$ de coordenadas en el espacio de dimensión reducida.
- V_k Es la matriz $n \times k$ de autovectores correspondientes a los k autovalores más grandes.
- Λ_k Es la matriz diagonal $k \times k$ de autovalores positivos.
- $\Lambda_k^{1/2}$ Indica la raíz cuadrada de los autovalores (escalado de los vectores).

La ecuación de la Regresión Canónica (Härdle & Simar, 2015):

$$a'X = b'Y$$

$$a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_pX_p = b_1Y_1 + b_2Y_2 + \dots + b_qY_q$$

Donde:

- $X = [X_1, X_2, \dots, X_p]$ variables independientes.
- $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_q]$ variables dependientes.
- $a = [a_1, a_2, \dots, a_p]'$ coeficientes canónicos para X.
- $b = [b_1, b_2, \dots, b_q]'$ coeficientes canónicos para Y.
- $a'X$ y $b'Y$ son las variables canónicas.

4.4 Estimación del Modelo Escalamiento Multidimensional

Indicando las coordenadas de los puntos $x_{(i)}, \dots, [x]_n$, en forma de matriz, los cuales representan los elementos $1, \dots, n$ de Ω .

Se representa como:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & \dots & x_{np} \end{pmatrix}$$

Donde:

- Cada fila representa un objeto en el nuevo espacio de dimensión k.
- Las coordenadas son los parámetros clave estimados.
- Matriz de productos escalares, se estima una matriz B a partir de la matriz de distancias al cuadrado, posterior se realiza una descomposición espectral (Arce, Francisco y Arce, 2010).

Parámetros a estimar:

- Coordinadas de objetos.
- Dimensión del espacio reducido.
- Función de transformación (en algunos casos).

La matriz de distancias $\Delta = (\delta_{ij})$ es euclídea si y solo si $B \geq 0$, es decir que los valores propios de B son no negativos, donde $B = HAH$, siendo H la matriz de centrado y $A = -\frac{1}{2}\Delta^{(2)} = -\frac{1}{2}(\delta_{ij}^2)$.

Donde:

- $\Delta^{(2)} = (\delta_{ij}^2)$ es la matriz de cuadrados de las distancias.

En la matriz, si particularmente se tienen las coordenadas principales la suma de varianzas es la suma de valores propios dividida por n , debido a que las columnas son componentes principales, sus varianzas son respectivamente máximas (Cuadras, 2014). La técnica de escalamiento multidimensional busca encontrar la estructura de un conjunto de medidas de distancia entre objetos o entre casos, en algunos casos, las dimensiones obtenidas son interpretables y ayudan a comprender mejor los datos, una medición objetiva permite el uso de la técnica para la reducción de datos (International Business Machines Corporation, 2024).

4.4.1 Escalamiento Multidimensional

Las técnicas de escalado multidimensional se presentan como una generalización de la idea de componentes principales, en el momento en que en lugar de disponer de una matriz de observaciones por variables se dispone de una matriz (D) cuadrada $n \times n$ de distancias entre los n elementos (Cuadras, 2014).

Las distancias pudieron obtenerse a partir de ciertas variables, o bien, pueden ser producto de una estimación directa (Cuadras, 2014). A partir de la matriz D se puede obtener una matriz X , de dimensiones $n \times p$, que pueda interpretarse como la matriz de p variables en

los n individuos y donde la distancia euclidiana entre los elementos aproximadamente reproduzca la matriz de distancias D iniciales (Peña, 2002).

Cuando son más de 2 las variables (p), pueden ordenarse de acuerdo a su importancia y hacer su representación gráfica en 2 o 3 dimensiones, lo que ayuda a la comprensión de la estructura existente. Aunque no siempre es posible encontrar p variables que exactamente representen las distancias iniciales, es común encontrar variables que representen las distancias iniciales en un aproximado.

$$\Omega = \{1, 2, \dots, n\}$$

De forma que:

$\Omega =$ un conjunto finito

$n =$ elementos diferentes

Sea $\delta_{ij} = \delta(i, j)$ una distancia o disimilaridad entre los elementos i, j de Ω

Se habla de distancia métrica cuando se cumplen tres condiciones:

- $\Delta(i, i) = 0$ para todo i .
- $\delta(i, j) = \delta(j, i) \geq 0$ para todo i, j .
- $\delta(i, j) \leq \delta(i, k) + \delta(j, k)$ para todo i, j, k (desigualdad triangular).

En caso de cumplirse solo las dos primeras condiciones, se establece que $\delta(i, j)$ es una disimilaridad. El objetivo de la técnica es encontrar la X más adecuada, partiendo de la matriz de distancias Δ .

Representación de la matriz de disimilaridades (distancias):

$$\Delta = \begin{pmatrix} \bullet_{11} & \bullet_{12} & \dots & \dots & \bullet_{1n} \\ \bullet_{21} & \bullet_{22} & \dots & \dots & \bullet_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bullet_{n1} & \bullet_{n2} & \dots & \dots & \bullet_{nn} \end{pmatrix}$$

Donde:

- $\Delta = (\delta_{ij})$ representa una matriz de distancias euclídeas si existen n puntos $X_1, \dots, X_n \in R^p$

Siendo:

$$\mathbf{x}_i' = (x_{i1}, \dots, x_{ip}), \quad \mathbf{x}_j = (x_{j1}, \dots, x_{jp})$$

Tal que:

$$\delta_{ij}^2 = \sum_{\alpha=1}^p (x_{i\alpha} - x_{j\alpha})^2 = (\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j)'(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j)$$

4.5 Estimación del Modelo de Regresión Canónica

La estimación de la regresión canónica implica encontrar combinaciones lineales de dos conjuntos de variables multivariadas (X y Y) que estén correlacionadas entre sí (Badii y Castillo, 2007).

Conjunto de variables:

$X = [X_1, X_2, \dots, X_p]$ conjunto de variables independientes

$Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_q]$ conjunto de variables dependientes

Donde:

- Estandarización recomendable. Las variables (X y Y) deben estar en la misma escala para que la estimación no se sesgue por diferencias de magnitud (Badii y Castillo, 2007).

Calculo matrices de covarianzas:

S_{xx} : covarianzas dentro del conjunto X

S_{yy} : covarianzas dentro del conjunto Y

S_{xx} y S_{yy} : covarianzas dentro del conjunto X y Y

Solución de problema de autovalores:

$$S_{YY}^{-1} S_{XY} S_{XX}^{-1} S_{YX} a = \lambda a$$

Donde:

- λ son los autovalores (la raíz cuadrada de cada uno es una correlación canónica).
- a contiene los coeficientes para la combinación lineal de X .

Semejantemente, se encuentra b para Y :

$$S_{YY}^{-1} S_{XY} S_{XX}^{-1} S_{XY} b = \lambda b$$

Construcción de las variables canónicas:

$$U = a'X \quad V = b'Y$$

Donde:

- U y V son las variables canónicas obtenidas por combinación lineal (Badii y Castillo, 2007).

4.5.1 Regresión Canónica

El análisis de correlación canónica es un tipo de análisis estadístico lineal de múltiples variables. Analiza la relación multidimensional entre múltiples variables independientes y múltiples variables dependientes (Pérez, 2004).

Es el método más generalizado de la familia de las técnicas estadísticas multivariante. Desarrolla varias funciones canónicas que maximizan la correlación entre combinaciones lineales, también conocidas como valores teóricos canónicos, que son conjuntos de variables dependientes e independientes (Pérez, 2004).

Cada función canónica se basa en la correlación entre dos valores teóricos canónicos, un valor teórico para las variables dependientes y otro para las variables independientes.

Los objetivos del método son:

- a) Determinar si dos conjuntos de variables, son independientes uno de otro, o inversamente, determinar la magnitud de las relaciones que pueden existir entre los dos conjuntos.
- b) Obtener un conjunto de ponderaciones para cada conjunto de variables criterio y variables predictoras, para que las combinaciones lineales de cada conjunto estén correlacionadas de forma máxima. Las funciones lineales adicionales que maximizan la restante correlación son independientes de los conjuntos anteriores de combinaciones lineales.
- c) Explicar la naturaleza de cualquiera de las relaciones existentes entre los conjuntos de variables criterio y variables predictoras, mide la contribución relativa de cada variable a las funciones canónicas (Pérez, 2004).

Las ecuaciones generales para realizar una correlación canónica son relativamente simples. Primero, se hace una matriz de correlación (R). Esto se compone de: correlaciones entre VDs (R_{yy}), correlaciones entre VIs (R_{xx}), y correlaciones entre VDs y VIs (R_{xy}).

La técnica estadística en el análisis de la relación entre múltiples variables dependientes métricas y varias variables independientes métricas. Consiste en utilizar las variables independientes (con valores ya conocidos), para predecir las variables criterio (Pérez, 2004).

Tiene como principio subyacente desarrollar una combinación lineal de cada conjunto de variables con la finalidad de maximizar la correlación entre ambos conjuntos, en su generalidad, cumple supuestos estadísticos básicos, se encuentra restringido a la identificación de relaciones lineales, es deseable que las variables cuenten con el supuesto de normalidad, ya que estandariza la distribución y permite una mayor correlación entre las variables, la homocedasticidad debe ser analizada debido a que disminuye la correlación entre las variables y la multicolinealidad entre algún conjunto de variables hace que la interpretación sea menos fiable; el nivel mínimo aceptable de significación es de 0.05, para considerar que un coeficiente de correlación es estadísticamente significativo (Hair, Anderson, Tatham, & Black, 1999).

Su expresión funcional es:

$$G(y_1, y_2, \dots, y_n) = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Ecuaciones canónicas:

$$W_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p$$

$$V_1 = b_{11}Y_1 + b_{12}Y_2 + \dots + b_{1q}Y_q$$

Con lo que se estima:

$$a_{11}, \dots, a_{1p} \text{ y } b_{11}, \dots, b_{1q} \text{ tal que } C_1 \text{ es máximo}$$

Donde:

- W_1 y V_1 son llamadas variables canónicas y C_1 es la correlación entre ellas, llamada correlación canónica.

4.6 Construcción de la Base de Datos GEIyER

La base de datos que se utilizó en este trabajo de investigación, lleva el nombre de Gases Efecto Invernadero y Enfermedades Respiratorias [GEIyER]. Se construyó de la siguiente manera.

Se pidió información de registros de enfermedades respiratorias ante la Subsecretaría de Salud del Estado de Hidalgo, proporcionaron datos del año 2022.

Las emisiones de los GEI, se obtuvieron del laboratorio de Análisis Territorial, Ambiente y Ciencias de Datos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

La información del sector económico de los municipios, se consiguió de la página *Data México*, esta permite la integración, visualización y análisis de datos públicos y diversificación de la economía mexicana.

Ya obtenidos los datos, se procedió a realizar la base de datos en Excel, se trabajó con los municipios de Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan, Tula de Allende; y con sus respectivas localidades. Como no se obtuvo datos (enfermedades) por localidades, se trabajó con proporciones tomando en cuenta al municipio.

Las variables originales utilizadas, se ordenaron de forma horizontal en Excel:

Tabla 4

Vista de variables para la elaboración de base de datos

Y ₁	Infecciones respiratorias agudas IRA “son enfermedades que afectan el tracto respiratorio, ya sea superior (nariz, garganta, laringe) o inferior (tráquea, bronquios, pulmones)”
Y ₂	Covid-19 “enfermedad respiratoria aguda causada por el virus SARS-CoV-2”
Y ₃	Otras enfermedades respiratorias OER (faringitis y amigdalitis; estreptocócicas neumonías y bronconeumonías; tuberculosis respiratoria; otitis media aguda)
X ₁	Sector económico (Primario, Secundario y Terciario)
X ₂	Municipio
X ₃	Población
G ₁	PM (Material particulado)
G ₂	Dióxido de azufre (SO ₂)
G ₃	Dióxido de carbono (CO ₂)
G ₄	Óxidos de nitrógeno (NOx)
G ₅	Metano (CH ₄)
G ₆	Óxido nitroso (N ₂ O)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recopilados

Las variables “Y” (dependientes), se organizaron de manera jerárquica, considerando su mayor número de casos, y el posicionamiento se dejó de la siguiente manera:

- Y₁ - Infecciones respiratorias agudas
- Y₂ - Covid-19
- Y₃ - Otras enfermedades respiratorias

4.7 Modelo de Escalonamiento Multidimensional

Se estandarizan los datos de gases y se calculan las distancias euclidianas entre ellos. Posteriormente, se realiza un análisis de escalamiento multidimensional para reducir la dimensión de los datos y representar las distancias en un espacio de menor dimensión (en este caso, 3 dimensiones).

4.7.1 Construcción de la Fase 1: Matrices de Correlación y Covarianza

Partiendo de la matriz de correlación, se observa que hay una alta correlación entre las variables que inciden en las enfermedades respiratorias (Figura 7):

En cuanto a las variables dependientes se observa que:

- Las infecciones respiratorias agudas (IRAs), identificadas como la variable Y_1 , presentan un coeficiente de correlación alto con los registros de enfermedad por Covid-19 (Y_2) de 0.94 y con Otras enfermedades respiratorias (Y_3) con un coeficiente de 0.98, lo que muestra una correlación estadísticamente significativa alta, por lo que, al aumentar los registros de IRAs, también aumentarán los registros de enfermedades de Covid-19 y Otras enfermedades respiratorias. Los registros de Covid-19 y Otras enfermedades respiratorias también muestran una relación estadísticamente significativa alta entre sí, con un coeficiente de 0.98. Por tanto, se puede decir que las variables dependientes se encuentran correlacionadas entre sí.

Referente al análisis de correlación de las variables independientes se observa que:

- El Material Particulado (G_1) muestra una correlación estadísticamente significativa alta con las variables independientes CO_2 (G_3), CH_4 (G_5) y con el sector económico (X_1) en que se ubican las comunidades, además presenta una correlación estadísticamente significativa media con el SO_2 (G_2), NO_x (G_4) y el N_2O (G_6).
- El SO_2 (G_2), además de la relación previamente señalada con el material particulado (G_1), tiene una correlación estadísticamente significativa total con los NO_x (G_4) y el N_2O (G_6), pues su coeficiente es 1, por lo que se infiere que al registrarse uno de estos gases, por consecuencia habrá registros de los otros dos gases. Aunado a lo anterior, el SO_2 , mantiene una correlación estadísticamente significativa media con el CO_2 (G_3), CH_4 (G_5) y de las tres variables independientes IRA's (Y_1), Covid-19 (Y_2) y con Otras enfermedades respiratorias (Y_3). En menor medida, mantiene una correlación con las variables independientes de Sector económico (X_1) y Municipio (X_2).

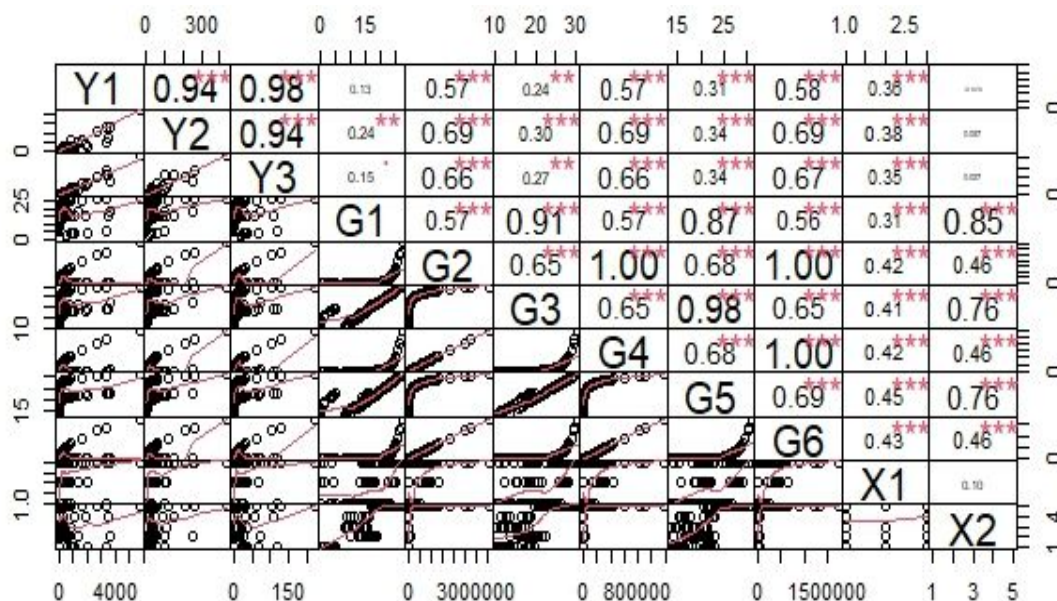
- El CO₂ (G₃), mantiene una correlación estadísticamente significativa más alta con el CH₄ (G₅) con un coeficiente de 0.98 y con las PM (G₁) con un valor de 0.91, no obstante, mantiene correlación estadísticamente significativa con las variables SO₂ (G₂), NO_x (G₄), el N₂O (G₆), el y Municipio (X₂) y en menor medida con Sector económico (X₁).
- Los NO_x (G₄), además de la anteriormente señalada correlación estadísticamente significativa total con el SO₂ (G₂), en similar medida se mantiene esta correlación con el N₂O (G₆), pues en ambos casos el coeficiente es 1, a efecto, al presentarse el registro de uno de estos gases, por consiguiente, se presentarán los otros dos gases. Además, los NO_x han registrado una correlación estadísticamente significativa media con todas las demás variables, tanto dependientes como independientes.
- El CH₄ (G₅), se encuentra correlacionado de forma significativa con todas las variables, siendo las independientes con las que mantiene una mayor relación, siendo los gases CO₂ (G₃) y PM (G₁), los que obtienen el mayor coeficiente con 0.98 y 0.87 respectivamente.
- El N₂O (G₆), mantiene una correlación estadísticamente significativa con todas las variables, sin embargo, con los NO_x (G₄) y con el SO₂ (G₂) esta correlación es total, debido a que su coeficiente es 1, lo que significa que al registrarse uno de estos gases también se registrarán los otros dos gases.
- El Sector económico (X₁) presenta una correlación estadísticamente significativa media con todas las variables (gases, enfermedades y municipio).
- El Municipio (X₂), mantiene una correlación estadísticamente significativa con los 6 gases: Material Particulado (G₁), SO₂ (G₂), CO₂ (G₃), NO_x (G₄), CH₄ (G₅) y N₂O (G₆), siendo la correlación más fuerte con el Material Particulado (G₁) cuyo coeficiente ha sido de 0.85.

Del análisis realizado se expresa que existe una correlación entre las variables, por lo que en medida en que alguna de ellas cambie en su valor, probablemente las otras variables tenderán a cambiar también. Las correlaciones no significativas han sido de Municipio (X₂)

con el Sector económico (X_1) y con las variables dependientes IRA's (Y_1), Covid-19 (Y_2) y con Otras enfermedades respiratorias (Y_3). También se mantiene como no significativa la relación entre Material Particulado (G_1) e IRA's (Y_1).

Figura 7

Matriz correlación y covarianza



Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de datos GEIyER.

El comportamiento de las variables que inciden en las enfermedades respiratorias ha presentado un crecimiento constante; ya que, las IRAs y la exposición al dióxido de azufre tienen una relación, pues el gas proviene de la quema de combustibles fósiles que tiene efecto en irritación en vías respiratorias (Romero-Placeres, Más-Bermejo, Lacasaña-Navarro, Rojo-Solís, Aguilar-Valdés, & Romieu, 2014).

Como se sabe, los niveles de gases de efecto invernadero contribuyen al aumento de la temperatura de la tierra y esto origina un calentamiento global, lo cual tiene efecto adverso en la salud de la población (IPCC, 2021). Los cambios climáticos potencializan la presencia de síntomas de infecciones respiratorias graves, especialmente tiene incidencia negativa en

niños, adultos mayores y en personas con enfermedades crónicas degenerativas (Health Effects Institute, 2020).

4.7.2 Interpretación y Nombramiento de las Dimensiones

Se agruparon los gases efecto invernadero en tres dimensiones:

1. IGQF (Gases por quema de combustibles fósiles)
2. IG PQ (Gases de producción química)
3. IGCT (Gases relacionados con concentración de monóxido de carbono)

De tal manera, que IGQF + IG PQ + IGCT son dimensiones que producen efectos negativos; es decir, la forma en que estos aumenten, las infecciones respiratorias graves aumentarían.

4.8 Selección del Modelo

En esta sección, ya creados las tres dimensiones de gases (IGQF, IG PQ, IGCT), a partir de la técnica multivariable escalamiento multidimensional. Se parte para aplicar una correlación canónica, para relacionar los indicadores IGQF, IG PQ e IGCT y el sector económico con tres tipos de enfermedades:

Variables dependientes:

- Y_1 Infecciones respiratorias agudas
- Y_2 Covid-19
- Y_3 Otras enfermedades respiratorias

Variables independientes:

- X_1 IGQF (Gases por quema de combustibles fósiles)
- X_2 IG PQ (Gases de producción química)
- X_3 IGCT (Gases relacionados con concentración de monóxido de carbono)

4.8.1 Predicción a Partir de las Variables Explicativas

La salida de R, de la variable dependiente Y_1 (Infecciones respiratorias agudas) es explicada por las variables independientes: **IGQF, IGPO y X_1** , se interpreta lo siguiente (Tabla 5):

- **Los tres coeficientes son significativos, pues son menores a ($p < 0.001$)** (Kutner, Nachtsheim, Neter y Li, 2004).
- **Se puede ver que la variable IGQF tiene un coeficiente² de 131.34, es decir, por cada unidad que aumente IGQF, Y_1 aumentara en promedio 131.34 unidades, manteniendo IGPO y X_1 constantes.** En otras palabras, al mantener los valores constantes del Índice de gases por producción química (IGPO) y de Sector económico (X_1), por cada unidad (aumento de 1) que aumente el Índice de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF) habrá en promedio 131.34 nuevos casos registrados de personas con Infecciones respiratorias agudas, IRA's.
- **La variable IGPO tiene un coeficiente de 319.22, por cada unidad que aumenta IGPO, Y_1 aumenta en promedio 319.22 unidades, manteniendo IGQF y X_1 constantes.** Lo que significa que al mantener constantes los valores del Índice de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF) y de Sector económico (X_1), por cada unidad que aumente el Índice de gases por producción química (IGPO) se registrarán en promedio 319.22 nuevos casos de IRA's (Y_1).
- **La variable X_1 tiene un coeficiente de 186.67, por cada unidad que aumenta X_1 , Y_1 aumenta en promedio 186.67 unidades, manteniendo IGQF e IGPO constantes.** En otras palabras, entre mayor cambie el sector económico al que pertenece la localidad, (de primario a secundario o de secundario a terciario) aumentarán en promedio 186.67 los registros de enfermos por IRA's (Y_1), manteniendo constantes los niveles de los índices de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF) y de gases por producción química (IGPO).

² Los coeficientes representan el cambio esperado en Y_1 por unidad de aumento en la variable correspondiente, manteniendo las otras constantes (Kutner, Nachtsheim, Neter y Li, 2004).

- Los p-value son estadísticamente significativos, ya que son menores a (< 0.05): **IGQF** (4.66e-07), **IGPQ** (1.31e-08) y **X₁** (1.70e-10).
- **El modelo tiene una variabilidad del 48.2% en Y₁, se explica por las variables independientes.** Por tanto, el modelo es explicado en un 48.2% por la variable correspondiente a Infecciones Respiratorias Agudas (Y₁) y las variables Índice de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF), Índice de gases por producción química (IGPQ) y el sector económico (X₁).
- IGPQ tiene más alto el coeficiente; es decir, es la variable con mayor efecto en Y₁ **continuado por la variable IGQF y X₁.**

Tabla 5

Corrida en Y₁

Response Y1:
Call:
lm(formula = Y1 ~ 0 + IGQF + IGPQ + X1, data = as.data.frame(data))

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-737.0	-345.4	-107.1	94.6	3350.5

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
IGQF	131.34	24.85	5.285	4.66e-07	***
IGPQ	319.22	52.87	6.038	1.31e-08	***
X1	186.67	27.09	6.891	1.70e-10	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 639.3 on 141 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.4827, Adjusted R-squared: 0.4717

F-statistic: 43.86 on 3 and 141 DF, p-value: < 2.2e-16

Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de datos GEIyER.

En la Tabla 6, la variable dependiente Y_2 (Covid-19), es explicada por las variables independientes: **IGQF, IG PQ y X_1** , se interpreta lo siguiente:

- **Los tres coeficientes son significativos, pues son menores a ($p < 0.001$)** (Kutner, Nachtsheim, Neter y Li, 2004).
- **Se puede ver que la variable IGQF tiene un coeficiente³ de 11.455, es decir, por cada unidad que aumente IGQF, Y_2 aumentara en promedio 11.455 unidades, manteniendo IG PQ y X_1 constantes.** En otras palabras, al mantener los valores constantes del Índice de gases por producción química (IG PQ) y de Sector económico (X_1), por cada unidad que aumente el Índice de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF) habrá en promedio 11.455 nuevos registros de personas enfermas por Covid-19 (Y_2) en la población.
- **La variable IG PQ tiene un coeficiente de 24.220, por cada unidad que aumenta IG PQ, Y_2 aumenta en promedio 24.220 unidades, manteniendo IGQF y X_1 constantes.** Es decir, que al mantener constantes los valores del Índice de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF) y de Sector económico (X_1), por cada unidad que aumente el Índice de gases por producción química (IG PQ) se registrarán en promedio 24.220 nuevos casos de Covid-19 (Y_2).
- **La variable X_1 tiene un coeficiente de 11.736,** por cada unidad que aumenta X_1 , Y_1 aumenta en promedio **11.736** unidades, manteniendo IGQF e IG PQ constantes. En otras palabras, entre mayor cambie el sector económico al que pertenece la localidad, (de primario a secundario o de secundario a terciario) aumentarán en promedio 11.736 los registros de enfermos por Covid-19 (Y_2), siempre que se mantengan constantes los niveles de los índices de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF) y de gases por producción química (IG PQ).
- Los p-value son estadísticamente significativos, ya que son menores a (< 0.05): **IGQF** (8.40e-13), **IG PQ** (1.10e-12) y X_1 (1.13e-11).

³ Los coeficientes representan el cambio esperado en Y_2 por unidad de aumento en la variable correspondiente, manteniendo las otras constantes (Kutner, Nachtsheim, Neter y Li, 2004).

- **El modelo tiene una variabilidad del 59.7% en Y_2 , se explica por las variables independientes.** A efecto, el modelo es explicado en un 59.7% por la variable correspondiente a Covid-19 (Y_1) y las variables Índice de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF), Índice de gases por producción química (IGPQ) y el Sector económico (X_1).
- IGPQ tiene más alto el coeficiente; es decir, es la variable con mayor efecto en Y_2 **continuado por la variable X_1 y posterior IGQF.**

Tabla 6

Corrida en Y_2

Response Y2:
Call:
`lm(formula = Y2 ~ 0 + IGQF + IGPQ + X1, data = as.data.frame(data))`

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-44.386	-21.002	-1.864	10.137	245.369

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
IGQF	11.455	1.455	7.872	8.40e-13	***
IGPQ	24.220	3.096	7.823	1.10e-12	***
X1	11.736	1.586	7.398	1.13e-11	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 37.44 on 141 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5972, Adjusted R-squared: 0.5886

F-statistic: 69.67 on 3 and 141 DF, p-value: < 2.2e-16

Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de datos GEIyER.

En la tabla 7, la variable dependiente Y_3 (Otras enfermedades), es explicada por las variables independientes: **IGQF, IGPQ y X_1 , se interpreta lo siguiente:**

- **Los tres coeficientes son significativos, pues son menores a ($p < 0.001$) (Kutner, Nachtsheim, Neter y Li, 2004).**

- **Se puede ver que la variable IGQF tiene un coeficiente⁴ de 5.4875, es decir, por cada unidad que aumente IGQF, Y_1 aumentara en promedio 5.4875 unidades, manteniendo IGPO y X_1 constantes.** Es decir, que al mantener los valores constantes del Índice de gases por producción química (IGPO) y de Sector económico (X_1), por cada unidad que aumente el Índice de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF) habrá en promedio 5.4875 nuevos registros de personas enfermas por Otras enfermedades respiratorias (Y_3) en la población de la ZMT.
- **La variable IGPO tiene un coeficiente de 13.0195, por cada unidad que aumenta IGPO, Y_1 aumenta en promedio 13.0195 unidades, manteniendo IGQF y X_1 constantes.** En otras palabras, al mantener constantes los valores del Índice de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF) y de Sector económico (X_1), por cada unidad que aumente el Índice de gases por producción química (IGPO) se registrarán en promedio 13.0195 nuevos casos de Otras enfermedades respiratorias (Y_3) en la ZMT.
- **La variable X_1 tiene un coeficiente de 5.9363,** por cada unidad que aumenta X_1 , Y_1 aumenta en promedio **5.9363** unidades, manteniendo IGQF e IGPO constantes. En otras palabras, entre mayor cambie el sector económico al que pertenece la localidad, (de primario a secundario o de secundario a terciario) aumentarán en promedio 5.9363 los registros de enfermos por Otras enfermedades respiratorias (Y_3) en la ZMT, manteniendo constantes los niveles de los índices de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF) y de gases por producción química (IGPO).
- Los p-value son estadísticamente significativos, ya que son menores a (< 0.05): **IGQF** (6.77e-11), **IGPO** (8.11e-13) y X_1 (9.03e-11).
- **El modelo tiene una variabilidad del 57.1% en Y_3 , se explica por las variables independientes.** A efecto, el modelo es explicado en un 57.1% por la variable correspondiente a Otras enfermedades respiratorias (Y_3), en y las variables Índice de

⁴ Los coeficientes representan el cambio esperado en Y_3 por unidad de aumento en la variable correspondiente, manteniendo las otras constantes (Kutner, Nachtsheim, Neter y Li, 2004).

gases por quema de combustibles fósiles (IGQF), Índice de gases por producción química (IGPQ) y el sector económico (X_1).

- IGPQ tiene más alto el coeficiente; es decir, es la variable con mayor efecto en Y_2 **continuado por la variable X_1** y posterior IGQF.

Tabla 7

Corrida en Y_3

Response Y3:				
Call:				
lm(formula = Y3 ~ 0 + IGQF + IGPQ + X1, data = as.data.frame(data))				
Residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-24.689	-10.932	-2.022	5.550	114.549
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
IGQF	5.4875	0.7767	7.065	6.77e-11 ***
IGPQ	13.0195	1.6526	7.878	8.11e-13 ***
X1	5.9363	0.8468	7.011	9.03e-11 ***
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 19.98 on 141 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0.5711, Adjusted R-squared: 0.562				
F-statistic: 62.58 on 3 and 141				
DF, p-value: < 2.2e-16				

Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de datos GEIyER.

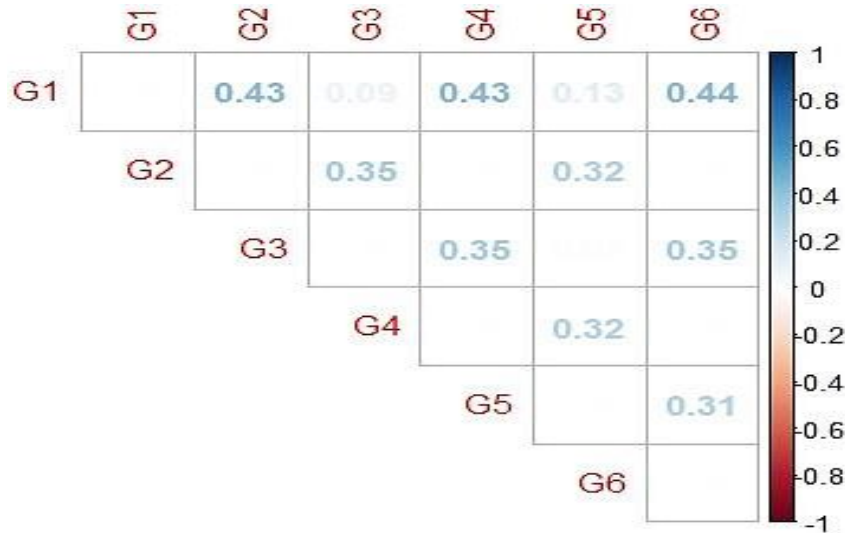
En la matriz de distancias para los seis gases, se puede decir que (Figura 8):

- G_1 (Material particulado) respecto al G_2 (Dióxido de azufre) no hay mucha relación, se puede ver la distancia en color azul, es decir hay una distancia lejana.
- G_1 (Material particulado) con G_3 (Dióxido de carbono) es a cero, van conjuntamente los dos gases; en otras palabras, la emisión de G_1 libera también parte de G_3 .
- G_3 (Dióxido de carbono) con G_5 (Metano), van conjuntamente los dos gases; es decir, la emisión de G_3 libera también parte de G_5 .

- G3 (Dióxido de Carbono) con G4 (Dióxido de Nitrógeno), va conjuntamente, se emite un gas y por ende se emite el otro, se liberan juntos.

Figura 8

Matriz de distancias



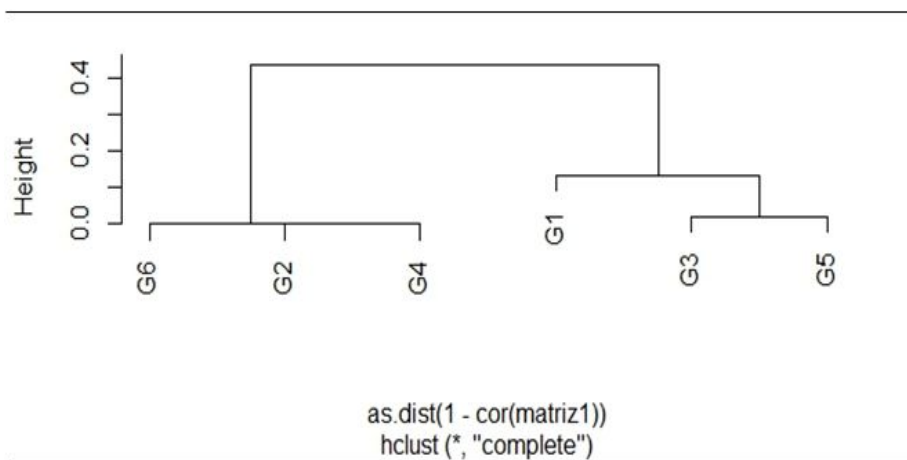
Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de datos GEIyER.

El dendograma de gases, es un análisis de agrupamiento jerárquico. Se observa cómo se agrupan los gases (G₁, G₂, G₃, G₄, G₅ y G₆), según su similitud de distancia (Figura 9).

- I. El G₃ (Dióxido de carbono) y el G₅ (Metano) están más correlacionados entre sí que con G₁ (Material particulado), pero los tres forman un grupo (Peña, 2002).
- II. En otra agrupación, G₂ (Dióxido de azufre) y G₄ (Óxidos de nitrógeno) se unen primero cerca de la altura de 0.05, teniendo una similitud muy alta entre uno del otro, luego G₂ y G₄ se unen con G₆ (Óxido nitroso) aludiendo que también se parece bastante, pero con menos que la similitud entre G₂ y G₄.

Figura 9

Dendrograma de gases



Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de datos GEIyER.

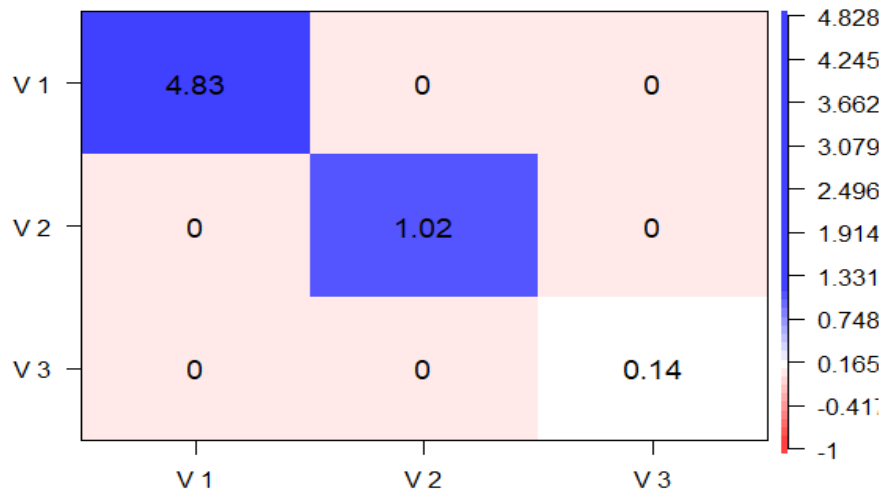
En la matriz de varianzas y covarianzas se observa lo siguiente (Figura 10):

- La primera dimensión IGQF, tiene la mayor varianza; es decir, que los Gases por quema de combustibles fósiles, son los principales causantes de todas las enfermedades respiratorias con un grado de peso 80.6%⁵.
- La segunda dimensión IGPQ (Gases de Producción Química), presenta una menor varianza que la dimensión IGQF; pues, los Gases de Producción Química, son los segundos causantes de las enfermedades respiratorias con un grado de peso 17%.
- La tercera dimensión IGCT (Gases relacionados con concentración de Monóxido de Carbono), tiene la menor varianza de las tres dimensiones; ya que los Gases relacionados con concentración de Monóxido de Carbono, son los terceros causantes de las enfermedades respiratorias con un grado de peso 2.3%.

⁵ La traza es de $(4.83+1.02+0.14= 5.99)$ y $(4.83*100/5.99= 80.6\%)$.

Figura 10

Matriz de varianzas y covarianzas

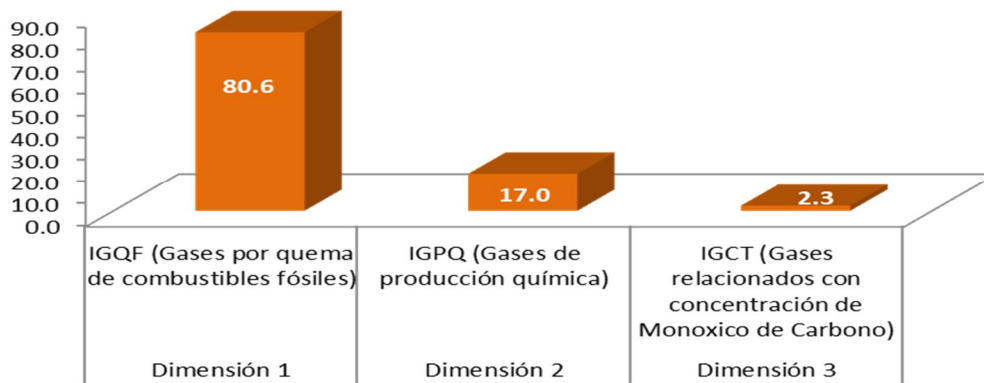


Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de datos GEIyER.

A pesar que se tienen tres dimensiones significativas, la primera dimensión IGQF es la que mayor grado de peso tiene, en relación con la dimensión IG PQ e IGCT (Figura 11).

Figura 11

Grado de peso de las dimensiones

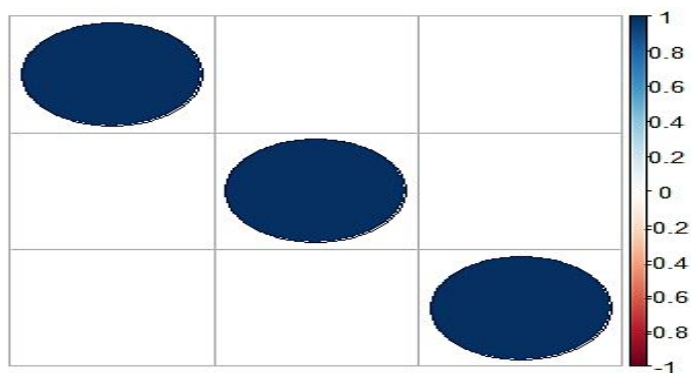


Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de datos GEIyER.

En la Figura 12, se observa la diagonal con círculos de color azul, lo que indica que las tres dimensiones IGQF “Gases por quema de combustibles fósiles”; IGPQ “Gases de producción química” y IGCT “Gases relacionados con concentración de Monóxido de Carbono”, están perfectamente correlacionadas dentro de su dimensión, y no están correlacionadas con las otras dimensiones, lo cual es característico de un buen ajuste en la regresión canónica (Friendly, 2022). Una correlación de 1 muestra una relación lineal positiva perfecta, donde a medida que una variable aumenta, la otra también lo hace en proporción exacta (Friendly, 2022). El tamaño y el color de los círculos, muestran correlación entre variables (Wickham & Grolemond, 2016).

Figura 12

Correlación con círculos



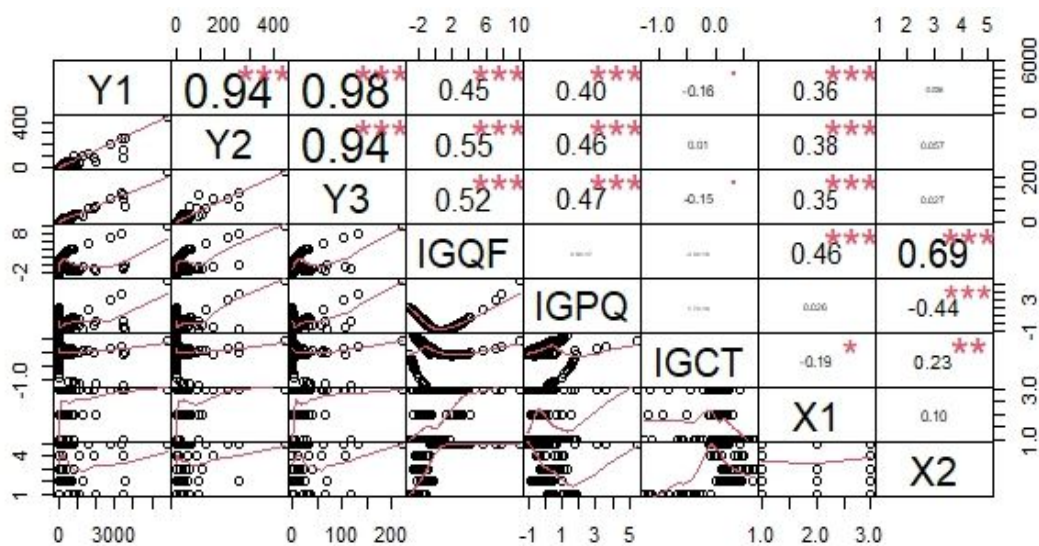
Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de datos GEIyER.

En la Figura 13, las variables independientes Y_1 (Infecciones Respiratorias Agudas “IRA”, Y_2 (COVID-19), y Y_3 (Otras enfermedades respiratorias), tienen una correlación significativa entre ellas; esto significa que, aumentan o disminuyen al mismo tiempo, esto puede ser debido a la calidad del aire y al tipo de sector económico de la región. Del mismo modo, las enfermedades respiratorias están moderadamente correlacionadas con los índices IGQF (Gases por quema de combustibles fósiles) e IGPQ (Gases de producción química), pues en la Zona Metropolitana de Tula, es una región que tiene una refinería, termoeléctrica, cementeras, manufactureras, y actividad agroindustrial, e inciden en la aparición de enfermedades respiratorias. La dimensión IGCT (Gases relacionados con concentración de Monóxido de Carbono), no está significativamente relacionada con las enfermedades

respiratorias, como lo está las otras dimensiones IGQF e IGPQ. Asimismo, las variables dependientes Y_1 , Y_2 y Y_3 , están relacionadas con la variable dependiente X_1 (Sector económico “Primario, Secundario y Terciario”), en el caso de la zona metropolitana de Tula predomina el sector secundario pues es industrial, y la población está expuesta a la calidad del aire.

Figura 13

Matriz de correlación y dispersión



Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de datos GEIyER.

4.9 Consideraciones Sobre los Supuestos de Inferencia del Modelo Correlación Canónica

Contextualizando el alcance inferencial de los resultados previamente presentados, a continuación, se evalúan los supuestos estadísticos asociados a la correlación canónica. Dado que la salida del modelo no cumplió con el supuesto de normalidad multivariada, los resultados fueron interpretados desde un enfoque descriptivo (Johnson y Wichern, 2014; Hair et al., 2019).

4.9.1 Supuesto de Normalidad

A partir de los resultados del análisis de normalidad de X (IGQF, IGPQ y X₁) y de Y (Y₁, Y₂ y Y₃) mediante la prueba Shapiro-Wilk, se observa que las variables, no tienen distribuciones normales, pues el p-value de las seis variables es <0.001. La prueba Henze-Zirkler de X mostró un valor HZ de 10.47847 y un p-value de 0, en el caso de Y se obtuvo un valor de HZ de 60.69875 y un p-value de 0. Dado que en ambos casos el p-value fue menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, sugiriendo que los datos no siguen una distribución normal multivariada (Figura 14).

Figura 14

Resultados de la prueba de normalidad Shapiro–Wilk para los conjuntos de variables X y Y

apply (X, 2, shapiro. test)	apply (Y, 2, shapiro. test)
IGQF	Y1
Shapiro-Wilk normality test	Shapiro-Wilk normality test
W = 0.7321, p-value < 2.2e-16	W = 0.6897, p-value < 2.2e-16
IGPQ	Y2
Shapiro-Wilk normality test	Shapiro-Wilk normality test
W = 0.7614, p-value < 2.2e-16	W = 0.7013, p-value < 2.2e-16
X1	Y3
Shapiro-Wilk normality test	Shapiro-Wilk normality test
W = 0.7458, p-value < 2.2e-16	W = 0.6742, p-value < 2.2e-16

Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de datos GEIyER.

4.9.2 Supuesto de Linealidad

El supuesto de linealidad se consideró cumplido, dado que las variables del conjunto Y (Y_1 , Infecciones Respiratorias Agudas; Y_2 , COVID-19 y Y_3 Otras enfermedades respiratorias), presentaron correlaciones significativas entre sí y asociaciones moderadas con las variables IGQF, IGPQ y el sector económico (X_1), lo que evidencia relaciones lineales entre los conjuntos analizados (Figura 15). La falta de asociación significativa de la dimensión IGCT no compromete el cumplimiento de este supuesto.

Figura 15

Resultados de la prueba de linealidad

	Y1	Y2	Y3	IGQF	IGPQ	IGCT	X1	X2
Y1	1.00	0.94	0.98	0.45	0.40	-0.16	0.36	0.02
Y2	0.94	1.00	0.94	0.55	0.46	0.01	0.38	0.06
Y3	0.98	0.94	1.00	0.52	0.47	-0.15	0.35	0.03
IGQF	0.45	0.55	0.52	1.00	0.46	-0.19	0.46	0.69
IGPQ	0.40	0.46	0.47	0.46	1.00	0.02	-0.44	0.05
IGCT	-0.16	0.01	-0.15	-0.19	0.02	1.00	0.23	0.10
X1	0.36	0.38	0.35	0.46	-0.44	0.23	1.00	0.10
X2	0.02	0.06	0.03	0.69	0.05	0.10	0.10	1.00

Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de datos GEIyER.

4.9.3 Supuesto de Homocedasticidad

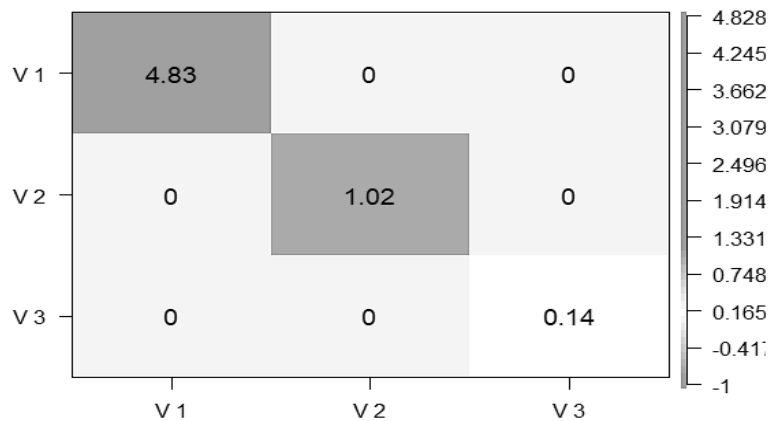
La correlación canónica asume homocedasticidad multivariada para la inferencia estadística. No obstante, dado que los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad multivariada, el análisis fue interpretado desde un enfoque descriptivo, por lo que este supuesto no fue evaluado de manera formal (Johnson & Wichern, 2014; Hair et al., 2019).

4.9.4 Supuesto de Multicolinealidad

Los resultados indican que no existe multicolinealidad severa entre las variables analizadas. Aunque la variable V_1 presenta un nivel moderado de colinealidad, este se encuentra dentro de rangos aceptables (Figura 16).

Figura 16

Visualización de la matriz de varianzas y covarianzas para el análisis de multicolinealidad



Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de datos GEIyER.

El (VIF) evalúa la multicolinealidad entre variables explicativas. Valores cercanos a 1 indican ausencia de multicolinealidad, valores entre 1 y 5 sugieren multicolinealidad moderada aceptable, mientras que valores superiores a 10 evidencian multicolinealidad severa que puede comprometer la estabilidad del modelo (Kutner et al., 2005; Hair et al., 2019).

Figura 17

Criterios VIF

Criterios VIF
1. sin multicolinealidad
entre 1 y 5. multicolinealidad moderada (aceptable)
> 10. multicolinealidad severa (problemática)

Aplicado a los resultados
VIF
V ₁ (4.83)
V ₂ (1.02)
V ₃ (0.14)

Fuente: Elaboración propia.

Factor de Inflación de la Varianza

$$VIF = \frac{1}{1 - R^2}$$

Donde

$1 - R^2$ es la tolerancia

Por tanto

$$VIF = 1 - \frac{1}{4.83} = 1 - 0.207 = 0.793$$

$$VIF = 1 - \frac{1}{1.02} = 1 - 0.9804 = 0.0196$$

$$VIF = 1 - \frac{1}{1.14} = 1 - 0.877 = 0.123$$

La multicolinealidad fue evaluada mediante el factor de inflación de la varianza (VIF). Los resultados indican que la variable V_1 (IGQF) presentó un VIF de 4.83, lo que implica que aproximadamente el 79.3 % de su varianza es explicada por las demás variables del conjunto, evidenciando multicolinealidad moderada.

Por su parte, las variables V_2 (IGPQ) y V_3 (IGCT) mostraron valores de VIF cercanos a la unidad, con proporciones de varianza explicada del 2.0 % y 12.3 %, respectivamente, lo que sugiere ausencia de multicolinealidad severa. En conjunto, se considera que el supuesto de ausencia de multicolinealidad severa se cumple para la aplicación de la correlación canónica.

4.10 Principales Hallazgos del Estudio

- El Modelo Canónico indica que el problema que tiene la Zona Metropolitana de Tula es la Emisión de Gases derivados de la Producción Química (IGPQ), constituye el principal factor ambiental que incide en las Infecciones Respiratorias Agudas, demostrando una relación significativa entre la contaminación atmosférica de origen industrial y los efectos adversos en la salud respiratoria.
- De manera descriptiva, se observó que el número de casos aproximados de Infecciones Respiratorias Agudas (Y_1) es considerablemente mayor que el de COVID-19 (Y_2), con una razón aproximada de 13 a 1⁶.
- Las Infecciones Respiratorias Agudas (Y_1) presentaron una frecuencia considerablemente mayor que Otras Enfermedades Respiratorias (Y_3), con una razón aproximada de 24 a 1⁷.
- La enfermedad por COVID-19 (Y_2) continuará presente, por lo que seguirán registrándose casos; en este sentido, el modelo explica el 59.7 % de la variabilidad de Y_2 , lo que indica que, si bien las variables incluidas aportan información relevante, aún faltan otras variables a considerar que influyan en el comportamiento de Y_2 .

⁶319 casos aproximados de Infecciones Respiratorias Agudas entre 24 casos aproximados de COVID-19.

⁷ 319 casos aproximados de Infecciones Respiratorias Agudas entre 13 casos aproximados de Otras Enfermedades Respiratorias.

- La quema de Combustibles Fósiles concentra la mayor variabilidad (48.2 %); sin embargo, para la predicción de las Infecciones Respiratorias Agudas (Y_1), la principal problemática se asocia con la Emisión de Gases provenientes de la Producción Química (IGPQ).

Conclusiones

La construcción de un modelo mediante la combinación del escalamiento multidimensional y el análisis de correlación canónica ha permitido establecer la relación que guarda la emisión de gases efecto invernadero en la incidencia de enfermedades respiratorias en los municipios que conforman la Zona Metropolitana de Tula, Hgo., la determinación de las relaciones canónicas requirió de forma previa la transformación de los datos mediante la técnica de escalonamiento para homogenizar los datos y crear nuevas variables independientes denominadas Índices o indicadores, obteniendo así nuevas dimensiones denominadas IGPQ, IGQF e IGCT, de los cuales, los dos primeros resultaron de relevancia para el modelamiento, lo que ha permitido determinar la relación que guardan con las variables dependientes. Los índices construidos tienen una incidencia en las variables dependientes que corresponden a infecciones respiratorias agudas (Y_1), a Covid-19 (Y_2) y a otras enfermedades respiratorias (Y_3).

Los resultados del análisis evidenciaron que los índices IGPQ e IGQF presentaron mayor relevancia dentro del modelo, al mostrar asociaciones más consistentes con las variables del conjunto dependiente, correspondientes a infecciones respiratorias agudas (Y_1), COVID-19 (Y_2) y otras enfermedades respiratorias (Y_3). En particular, se observó que las asociaciones de mayor magnitud se concentraron en las infecciones respiratorias agudas, mientras que las relaciones con COVID-19 y otras enfermedades respiratorias, aunque identificables, resultaron comparativamente menores.

La interpretación de estos hallazgos se realizó desde un enfoque descriptivo, dado que el modelo no cumplió con el supuesto de normalidad multivariada requerido para la inferencia estadística estricta en la correlación canónica. No obstante, se constató el cumplimiento de otros supuestos relevantes, como la linealidad entre los conjuntos de variables y la ausencia de multicolinealidad severa, lo que respalda la estabilidad y coherencia interna del modelo estimado. En este sentido, las asociaciones identificadas deben

entenderse como relaciones empíricas entre conjuntos de variables y no como evidencia de causalidad.

Desde esta perspectiva, los resultados sugieren que mayores niveles de emisión de gases de efecto invernadero se asocian con una mayor presencia de enfermedades respiratorias y con una mayor demanda de servicios de salud en la región de estudio, particularmente en el caso de las infecciones respiratorias agudas. El Índice de Gases de Producción Química mostró una relación especialmente relevante, seguido del Índice de Gases por Quema de Combustibles Fósiles, lo que pone de manifiesto el papel de las actividades industriales y energéticas como factores estructurales asociados a la salud respiratoria de la población.

Finalmente, el modelamiento realizado aporta evidencia empírica sólida, aunque de alcance descriptivo, sobre la problemática de salud respiratoria en la Zona Metropolitana de Tula, Hidalgo, en un contexto de elevada actividad antropogénica y emisiones contaminantes. Las relaciones identificadas mediante la correlación canónica subrayan la necesidad de abordar este fenómeno desde un enfoque multidisciplinario, integrando acciones de política pública en los ámbitos de la salud, el medio ambiente y la planeación territorial, orientadas tanto a la mitigación de emisiones como a la protección de la salud poblacional.

Capítulo 5. Recomendaciones de Política Ambiental Para Mitigar los Impactos de GEI en la Salud Respiratoria Desde las Dimensiones IGQF, IGPO e IGCT

Introducción

La política ambiental tiene un papel trascendental en la prevención y protección de la salud pública, pues uno de sus objetivos es controlar y disminuir enfermedades, en este caso las respiratorias.

En el contexto de la nueva administración pública hay un problema público que aborda el interés de la implementación de políticas ambientales con la meta de mejorar la calidad del aire en todo el territorio nacional, especialmente en lugares determinados con actividades industriales, ganaderas y agrícolas (Academia Mexicana de Impacto Ambiental, 2024).

Los gobiernos son los encargados de reducir la concentración de los GEI, mediante regulaciones, normas y programas de control de emisiones con el fin de mejorar la calidad de determinados lugares. Como se ha mencionado los GEI, tienen un efecto positivo en la aparición y potencialización de afecciones respiratorias como lo son: asma, bronquitis crónica, irritación de vías respiratorias, bronquitis aguda, reducción de la función pulmonar, dificultad respiratoria, pueden incidir en la severidad y el impacto del COVID-19 (Organización Mundial de la Salud, 2018; Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2023).

La implementación de políticas ambientales tiene el objetivo mitigar los efectos que provoca el cambio climático, esto incide en la salud respiratoria de la población. Los grupos poblacionales que más son afectados por GEI son los niños, y adultos mayores, además de personas con morbilidades preexistentes. Se alude que el riesgo incrementa cuando los adultos mayores padecen enfermedades no transmisibles (diabetes, hipertensión, etc.). La literatura explica, que no solo las políticas ambientales buscan la regulación de emisiones, sino también sensibilizar y educar a la población sobre temas que mejoren la calidad del aire. La política ambiental tanto va cuidar los ecosistemas y sirve como acción de prevención de

enfermedades respiratorias al mejorar la calidad del aire, mitigando los gases efecto invernadero con el propósito de ofrecer un entorno saludable, sostenible y seguro para las generaciones del presente y futuro.

5.1 La Importancia de las Políticas Ambientales

El papel de los gobiernos para atender el problema ambiental mediante la elaboración y ejecución de la política pública además de mitigar el daño ambiental, debe ser el medio por el cual se garantice un bienestar social que responda a las necesidades actuales de la población, en un panorama de desarrollo y aprovechamiento sustentable (OPS, *s.f.*). La política ambiental, como instrumento de regulación y uso de los recursos naturales y las funciones ambientales garantizan (o debería de garantizar) la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida, mediante una regulación directa, administrativa, de planificación, económica, de educación, de información, de investigación y de asistencia técnica (Tobasura, 2006), en búsqueda de garantizar la conservación con calidad del medio ambiente bajo el contexto de desarrollo sostenible en favor de las presentes y futuras generaciones.

Sin embargo, por sí solas, las políticas ambientales no pueden lograr el impacto significativo en la calidad de vida de la población, específicamente en la salud, pues deben ser integrales a un programa de desarrollo en el que conjuguen diversas disciplinas, primordialmente las enfocadas al sector salud, sin menoscabo de los sectores ambiental y económico.

Es mediante la política de salud, que se define a la salud como un problema público, en el que el Estado asume el rol activo, su importancia se debe a que afecta todos los aspectos de la vida cotidiana de la población (Universidad de la Sierra Sur, *s.f.*). Pues al presentarse problemas de salud se directamente afectada la calidad de vida y limita el pleno desarrollo del ser humano. Uno de los desafíos a los que se enfrenta la política de salud en México es en materia financiera, pues debe alcanzar un equilibrio entre la inversión adicional en salud y la prevención de enfermedades y los servicios curativos (Gómez y otros, 2011). Y aunque el ámbito financiero resulta pilar en la formulación y desarrollo de la política, este puede influir directamente en el impacto y percepción de la población.

López-Arellano y Blanco-Gi (2001), señalan que la política de salud pública limita la acción pública a modelos selectivos y asistencialistas orientada a conformar mercados estables para la atención en salud, en el que la intervención estatal se enfoca al sector social menos favorecido económicamente y para el resto de la población el acceso a los servicios de salud se plantea mediante la oferta del mercado. Marcando así un fallo en el sistema gubernamental respecto a la garantía irrevocable de los derechos humanos.

Al considerar mejoras en la gestión del Estado se evidencia la necesidad de atender problemas prioritarios de forma eficiente, fundamentados en la evidencia y la ciencia. Entre los retos que se enfrenta la política en México se encuentra disminuir la carga de enfermedad y mortalidad relacionada con la contaminación del aire, establecer sistemas de vigilancia epidemiológica para ciudades con problemas de calidad del aire, ampliar el monitoreo del aire con respecto a contaminantes criterio, normar la exposición a carbono negro y otros contaminantes, con fines de protección a la salud, incorporar el impacto a la salud en la evaluación de la calidad del aire y desarrollar mayor investigación acerca de las afectaciones a la salud por exposición a mezclas contaminantes (Instituto Nacional de Salud Pública, 2021, pp 133). El desarrollo de nuevos estudios puede dirigir el rumbo de la política nacional de forma integral a partir de bases fundamentadas.

En el caso particular de la población que habita en los cinco municipios que integran la Zona Metropolitana de Tula en el Estado de Hidalgo, se presenta una alta incidencia en enfermedades respiratorias, las cuales se ha demostrado se encuentran relacionadas a la emisión de GEI, respaldado por los resultados de las relaciones canónicas producto del modelamiento matemático realizado en el capítulo cuarto de este trabajo, en el que se ha demostrado que a mayor incremento en las emisiones de GEI, se espera un aumento en los registros de enfermedades respiratorias en la población de la Zona, teniendo mayor impacto en las infecciones respiratorias agudas, sin menoscabo de la influencia que se genera en las demás enfermedades respiratorias. Los indicadores IGQF, IGPQ e IGCT han mostrado una incidencia significativa tanto en la presencia de infecciones respiratorias agudas (Y_1), Covid-19 (Y_2) y de otras enfermedades respiratorias (Y_3), aunque el nivel de influencia varía entre

cada uno de ellos, los tres indicadores tienen incidencia, por lo que no deberían ser considerados en descarte.

Formular políticas públicas, tanto ambientales como de salud, con prospectiva permitirá disminuir los costos futuros en la atención de enfermedades respiratorias y mejorar las condiciones de salud de la población.

5.2 Recomendaciones Frente a la Dimensión IGQF

El indicador, producto del modelamiento matemático, denominado Gases por Quema de Combustibles Fósiles, identificada como IGQF, ha demostrado tener una influencia negativa en la salud respiratoria, es decir, se espera que, al aumentar esta dimensión en la Zona Metropolitana de Tula, Hgo., los registros de enfermedades respiratorias también aumenten. Para reducir la afectación en la salud respiratoria en los habitantes de la Zona, es necesario disminuir la emisión de GEI provenientes del uso de combustibles fósiles como fuentes primarias de energía. Los hallazgos científicos sugieren que las políticas ambientales y de salud pública específicas son esenciales para reducir los riesgos para la salud respiratoria (Mohammadi y otros, 2025). Es necesario actuar desde la prevención ante una emisión descontrolada producto de la actividad industrial y de la dinámica de desarrollo económico generada en la Zona.

5.2.1 Regulación y Control de Emisiones Industriales

El desarrollo económico forma parte del problema de la contaminación y el deterioro ambiental, en particular por las actividades llevadas a gran escala, mediante procesos industriales. La industria genera GEI debido a la quema de combustibles durante sus procesos de fabricación y por el uso de GEI en productos o equipos durante sus procesos industriales, además, también es responsable de la generación de emisiones cuando se utiliza la electricidad como forma de aliento a la actividad industrial, pues aumenta sustancialmente las emisiones (U.S. Environmental Protection Agency, 2024). De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, algunas formas de reducir las emisiones en la actividad industrial es mediante el desarrollo de nuevas normas que regulen las emisiones de GEI, que incluyan un control más estricto y niveles permitidos más bajos, así como del

desarrollo de programas e incentivos para lograr una eficiencia energética y la reducción de emisiones durante los procesos industriales, el uso de material reciclado durante la fabricación de nuevos productos, lo cual debe acompañarse con políticas para fomentar mercados para productos fabricados con esquemas de bajas emisiones de carbono; con ello se lograrían beneficios tanto al público, como al sector industrial y al medio ambiente, como son la reducción en el costo energético, menor desgaste de sus equipos, disminución de la contaminación, además de mejorar sus procesos y generar una imagen (empresarial) atractiva, mejorando su resiliencia económica, entre la variedad de opciones en la industria para reducir sus emisiones se encuentra el reciclaje mediante la producción industrial, utilizando materiales reciclados o renovables (U.S. Environmental Protection Agency, 2025). Es fundamental desarrollar políticas de desarrollo económico que contemplen el desarrollo industrial con alternativas energéticas eficientes y con acciones de circularidad de sus residuos. Algunas tácticas proveen de alternativas para dar una segunda oportunidad a los materiales como forma de disminuir la emisión de CO a la atmósfera pues al tener un procesamiento previo reduce las emisiones en comparación con el uso de materiales que deben procesarse desde un inicio. En este sentido, la economía circular promueve la reducción, reúso y reciclado, por lo que permite reducir energía en el procesamiento del material reciclado y la emisión intensiva de GEI al evitar el procesamiento del material virgen, contribuyendo de forma significativa en la reducción de emisiones de carbono debido a su transición (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022, pp 1179), migrar a un desarrollo de bajas emisiones en el sistema industrial conlleva innovación, cambios graduales en plantas, equipamientos, en tecnologías y en las cadenas de valor, además de requerir fundamentalmente grandes inversiones y la intervención de diversos actores, pues las políticas no solo conciernen a decisores de políticas públicas (en sus tres niveles de gobierno), compete también a organismos de la sociedad civil, compañías industriales y diversos actores económicos de la sociedad.

Al igual que las emisiones a causa de los procesos industriales, se encuentran las emisiones producto de la generación de energía eléctrica. En México, durante 2022 la quema de combustibles fósiles para la producción de electricidad y calor se posicionó como la

segunda fuente de emisiones más importante (INECC, 2025, pp. 49). Además, el año previo, 2021, las emisiones de CO_{2e} fue del 20% de las emisiones nacionales de GEI, los cuales son asociados al uso de combustibles fósiles, las energías consideradas limpias permiten la generación de energía eléctrica con emisiones directas insignificantes (INECC, 2024, pp. 20). En el caso de una central termoeléctrica de ciclo combinado, el CO₂ emitido proveniente de la quema de combustibles fósiles puede ser aprovechado en la producción de CH₄, mismo que puede ser usado como gas de combustión, en un ciclo de mínimas emisiones de CO₂ (Navarrete, Cortés, Zezatti, Castañeda , & Tlatelpa, 2025).

Al formular las políticas de mitigación, es necesario considerar las necesidades adyacentes a los procesos industriales. Debido al cambio climático la necesidad de refrigeración y/o enfriamiento aumentará, por lo que se espera aumento en la demanda de energía afectando la transmisión y necesidades de almacenamiento (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022, pp 667)

En el caso particular del procesamiento de petróleo y gas, aumenta el riesgo de contaminación ambiental por altas emisiones de GEI. Las emisiones durante la extracción, procesamiento y entrega de petróleo y gas natural pueden originarse en los procesos de venteo, quema en antorcha o fuga durante el transporte, siendo mayores las fugas de emisiones de CO_{2e} provenientes de petróleo (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2025, pp. 49). Un área de oportunidad en el área industrial se encuentra en la formación y concientización de empresas y trabajadores acerca de medidas para prevenir y reducir fugas de emisiones de los equipos mediante recursos de capacitaciones y otras medidas (U.S. Environmental Protection Agency, 2025). Se requiere incluir en las políticas de desarrollo acciones para sensibilizar al trabajador de la industria sobre la importancia del papel que desarrolla en el cuidado del medio ambiente al llevar a cabo las sus actividades laborales.

5.2.2 Límites Permisibles y Monitoreo

Los municipios que integran la ZMT, forman parte de la Cuenca Atmosférica de Tula (CAT), la cual es señalada como la mayor generadora de contaminantes en el estado de Hidalgo,

emitiendo el 97% del dióxido de azufre (SO₂), el 45% del material particulado 2.5, el 43% de los óxidos de nitrógeno, el 38% del material particulado 10 y el 17% del monóxido de carbono emitido en todo el estado; en la CAT, la emisión de SO₂ y NO_x tienen como principal emisor el sector de la generación de energía eléctrica, del sector del petróleo y petroquímica (las empresas emisoras asentadas en la región son de jurisdicción federal); la presencia de PM_{2.5} y PM₁₀ es a causa de los sectores de generación de energía eléctrica, cal, cemento, en menor medida provienen de vialidades (pavimentadas y sin pavimentar) y de la actividad agrícola; el CO mayoritariamente (más del 50%) proviene de fuentes móviles (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020). Conocer las principales fuentes emisoras resulta fundamental al formular políticas públicas de mitigación, en las que la integración de los sistemas de gobierno, sociedad y sector privado deben tener un papel activo. Una de las principales dificultades (en la formulación de políticas) se encuentra en la recopilación de información y en el control de datos, para las políticas ambientales, es útil estimular a las empresas para cambiar sus procesos e invertir en nuevas tecnologías para la transformación de empresas sustentables (Martínez-Rodríguez, Campos-Villegas, & Castillo-Monroy, 2021). Los datos provenientes de las estaciones de aire son “son fundamentales para la generación de políticas públicas para la protección de la salud de la población y el medio ambiente” (Salcido y otros, 2019). Mejorar los sistemas de monitores e incluir nuevas tecnologías de medición son parte esencial en el desarrollo de nuevas políticas para mejorar la calidad del aire, además de permitir mantener un mejor panorama sobre las emisiones emitidas por algunos sectores y la vigilancia de la operación bajo los parámetros y límites establecidos por la normativa mexicana.

Como herramienta para la toma de decisiones de las autoridades, el monitoreo de la contaminación atmosférica se torna en un factor fundamental para establecer medidas que permitan disminuir riesgos significativos a la salud de la población y a los ecosistemas, es necesario garantizar que las mediciones deben ser representativas y certeras, además de considerar que las estaciones de monitoreo suelen mantenerse estáticas, a diferencia de las personas, quienes constantemente se desplazan en zonas habitacionales, laborales, escolares, comerciales, etc., la modelación de la calidad del aire se torna un elemento de relevancia

(Centro Mario Molina, 2021). El desarrollo económico de los municipios que integran la Zona ha permitido el crecimiento de diversos sectores como el industrial, el transporte, la agricultura y la ganadería; desarrollar un sistema adecuado de monitoreo dentro de las áreas económicas, así como en la periferia, sentará las bases para la aplicación de políticas específicas a cada sector.

Se requieren de conocimientos científicos y técnicos, modelos y sistemas de predicción para la correcta definición y aplicación de medidas de mejor de la calidad del aire (Ministerio de Medio Ambiente de España, 2009). Bases científicas y técnicas tanto en la designación de los mejores modelos de monitoreo, como en el desarrollo de programas a partir de los datos obtenidos de ellas, considerando los límites permisibles y recomendados por organismos internacionales y por la propia legislación mexicana.

Además un adecuado sistema de monitoreo permite determinar que los límites establecidos en las normas mexicanas son respetados por los diversos sectores, como parte de las recomendaciones de política deben promover que las normas, además de solicitar la lista y descripción de las medidas (de mitigación), incluyan calendario de ejecución y las proyecciones de mejora de la calidad del aire, por lo que además de cuantificar la reducción de emisiones es necesario demostrar que no permitan superar los objetivos de calidad de aire; en el sector industrial se requieren medidas que afecten a gases reactivos, es necesaria una mejora en los inventarios de emisiones industriales y una actualización constante de las actividades afectadas por las emisiones industriales (Fundación Gas Natural Fenosa, 2018).

La política ambiental promovida en la Zona requiere medidas de regulación más estrictas, acciones de monitoreo constante, sanciones significativas y la promoción de transición a medios de generación energética con bajas emisiones, además de la circularidad de los residuos.

5.2.3 Transporte y Movilidad

El sector del transporte incrementa sus emisiones de forma rápida generando mayor contribución de contaminantes a la atmósfera. Las acciones planteadas como parte de las

políticas públicas encaminadas a minimizar estas contribuciones incluyen el desarrollo de un sistema de movilidad bajo un esquema sustentable

Las recomendaciones emitidas desde el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, referente al impulso de un sistema de transporte público eficiente e inclusivo, retoma temas como la eficiencia, una buena cobertura, excelente servicio y la implementación de tecnologías de bajas emisiones, además de la promoción de transporte no motorizado en áreas urbanas, el financiamiento de transportes de bajas emisiones y potenciar el transporte ferroviario e intermodal para mejorar la eficiencia del transporte de carga, sistemas de monitoreo para mejorar la eficiencia logística, así como la formación para una conducción sostenible (en rangos óptimos de revoluciones) (Ariza, Moreno y Yori, 2024).

Las acciones de reducción de GEI provenientes del transporte deben buscar un punto de equilibrio entre las actividades de gestión de la demanda, planificación y urbana y oferta de transporte, en las que intervienen las condiciones socioeconómicas, geográficas, climáticas y topográficas además de la relevancia cultural y la aceptación pública; considerando que la reducción de la congestión del tráfico provoca un mayor consumo de combustible y por tanto un aumento en las emisiones de GEI, se requiere de un estudio específico para cada zona para determinar qué medidas son necesarias, como los programas de auto compartido; la transición tecnológica a sistemas de bajas emisiones debe considerar la generación de energía y su ciclo completo de vida (Ariza, Moreno y Yori, 2024).

Al considerar alternativas para la movilidad dentro de la Zona, pueden considerarse opciones no motorizadas, a la par deben integrarse acciones de desarrollo y mejora en infraestructura. Otro aspecto importante es la promoción de la movilidad peatonal, en el cual deben incluirse mejoras de accesibilidad, medios seguros y mejorar aceras y veredas (Ariza, Moreno y Yori, 2024).

Estimular el uso de vehículos de combustión eficiente, recomendando a la población adquirir automóviles con rendimientos eficientes. La Iniciativa Climática de México (2024), recomienda que al adquirir un nuevo vehículo tenga un rendimiento mínimo de 16 km/l en ciudad y un rendimiento de 19 km/l combinado, mínimo, además de optar por vehículos

pequeños y no de 6 u 8 cilindros. Es posible incentivar (de forma transitoria) la transición a vehículos cero emisiones, considerando estímulos fiscales para acelerar la adopción de los mismos y de alguna forma castigar el uso de combustibles fósiles, además se puede acompañar de financiamientos para la compra inicial de vehículos de menores emisiones (Doerrer, 2023). Conjuntamente promover el uso de sistemas de movilidad que utilicen alternativas más amigable con el ambiente, como el uso de biocombustibles, que al ser de origen vegetal no contribuyen a aumentar el efecto invernadero, los coches de combustibles flexible admiten mezclas de bioetanol de hasta el 85% y consumen menos, por otra parte, el uso de gas natural genera beneficio medioambiental, siendo un combustible limpio y barato, que no requiere procesos de refinación y podría utilizarse en el transporte público e incluso privado (Ortiz, 2010)

Al pensar en mejorar la movilidad urbana, debe contemplarse priorizar el servicio público sobre el uso de vehículos particulares, “ciudadanos, gobiernos y empresas han de promover acciones, políticas y programas destinados a mejorar las tendencias actuales de movilidad” (Lizárraga, 2006), además, de contemplar la movilidad no motorizada, en medida de lo posible, para eficientar el transporte público para los trabajadores, contemplar la implantación de un servicio que trasladase a los trabajadores puntualmente a sus lugares de trabajo, además de peatonalizar calles y estimular el traslado mediante la bicicleta, pues es el medio más rápido para distancias de 3km y de hasta 5km (González, 2007). Además, es necesario optar por un desarrollo sustentable, que va más allá de promover un transporte de bajas emisiones, contempla el mejoramiento y adaptación de la infraestructura, al tiempo que se integra a la comunidad en una planeación integral. Para alcanzar un transporte sustentable “se deben cumplir estos cuatro objetivos: acceso universal, eficiencia, seguridad y movilidad ecológica” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú, 2020), así mismo la planeación debe contemplar el nivel óptimo de flujo vehicular, pues se ha demostrado que el aumento de la velocidad en una avenida provoca un crecimiento de las emisiones de CO y NOx.” (Lara, y otros, 2009).

5.3 Recomendaciones Frente a la Dimensión IGPO

El indicador denominado Gases por Producción Química, e identificado como IGPO, ha sido la dimensión que mayor incidencia tiene en la presencia de enfermedades respiratorias, (Infecciones Respiratorias Agudas, Covid-19 y Otras enfermedades respiratorias), al entablar políticas públicas con acciones para mitigar las emisiones mediante alternativas con menos emisiones de GEI se esperará sean reducidas los registros de enfermedades respiratorias en la Zona, además de fijarse metas de mitigación más enérgicas.

5.3.1 Sustitución de Contaminantes por Alternativas Limpias

Debido a las condiciones de la Zona, es necesario implantar políticas encaminadas a iniciar con un proceso de descarbonización en el que se involucren todos los sectores, tanto económicos como sociales, en el que se reduzca el uso de combustibles tradicionales identificados como emisores de grandes cantidades de GEI y se priorice el uso de electricidad, producida mediante esquemas de bajas emisiones. Algunas recomendaciones respaldadas por la literatura se centran en la necesidad de considerar el desarrollo de una hibridación eléctrica para permitir la optimización de la generación, del almacenamiento, y de la distribución de la energía, aprovechando las características de sus diferentes fuentes (Fundación CTIC, 2024), bajo un concepto de complementariedad y teniendo claro que la industria eléctrica necesita la descarbonización para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones. La complementariedad en las fuentes de energía atiende las deficiencias que por su naturaleza son atribuibles a cada fuente de energía renovables, como el caso de la energía solar que se encuentra determinada por las condiciones climáticas; el uso de otras alternativas puede compensar sus deficiencias. Los procesos de descarbonización deben ser aplicables tanto en la industria para su autoabastecimiento energético, como para la distribución del servicio energético a externos, sin limitar la posible aplicación en las comunidades mediante la promoción de eficiencia energética en el hogar y el servicio público. El planteamiento de políticas con la intervención de las diversas áreas del conocimiento propicia un mejor panorama de las soluciones más adecuadas a las características y necesidades de la región.

La transición energética mediante el uso del hidrogeno, se presenta como otra opción para la descarbonización, en ella son remplazado los combustibles fósiles por el hidrógeno,

producido de forma respetuosa por el ambiente, logrando reducir las emisiones en la producción de energías y por lo general se acompaña por cogeneración (Linares y Moratilla, 2007). De forma que el uso del hidrógeno producido de forma amigable con el ambiente puede ser considerado como parte del plan de hibridación eléctrica, antes referido, en un sistema de complementariedad con otras fuentes.

Para los sistemas de combustión a base de gasolina y diésel, es necesario buscar alternativas que permitan reducir las emisiones de GEI a la atmosfera. Una alternativa es reducir el contenido de azufre en combustibles (gasolina y diésel) a niveles cercanos a cero, siendo un punto clave para un control exitoso de contaminantes del aire, pues permite que los filtros de partículas alcancen su máxima eficiencia en la reducción de PM, algunos estudios sugieren que los costos de la reducción de azufre en el combustible son minimizaos por los beneficios generados (Blumberg, Walsh y Pera, 2003).

Además de respetar los límites normados para las emisiones la implementación de estrategias para su reducción puede significar un éxito en la mitigación. Un punto relevante para el cumplimiento normativo relativo a emisiones es el uso de tecnologías en los motores y el uso de combustibles de calidad para reducción las emisiones por debajo de los límites (Flores, Fabela, Blake, Vázquez y Henández, 2014). Promover, por ejemplo, el uso de vehículos con motores más eficientes puede ayudar a cumplir los objetivos de mitigación.

En un sistema en que cada contribución en la reducción de emisiones cuenta, considerar alternativas en el desarrollo industrial es necesario. En este sentido, incluso se puede aprovechar la sinergia en la formación conjunta de hollín y NOx mediante estrategias como la recirculación flujo de gas (técnica que se puede aplicar en procesos de combustión interna o calderas de combustión) (Abián y Alzueta, 2014).

Además de contemplar opciones de transición energética se requiere acercar el conocimiento de las mismas a la población y a los sectores de interés, con la finalidad de proveerles de las opciones mediante las cuales pueden contribuir en la mitigación de emisiones a la atmosfera.

5.3.2 Normatividad y Vigilancia Ambiental

Los habitantes de la Zona se encuentran en una situación de vulnerabilidad asociada al cambio climático, en que las condiciones meteorológicas causan periodos marcados de calor, sequía y lluvia, a ello, se suma una segunda condición de vulnerabilidad pues su derecho humano a un ambiente sano ha sido violentado al convertirse la ZMT en un lugar por el que transitan cuerpos de aguas residuales no tratadas, además de la contaminación del aire y suelo a causa de diversos factores, esto a pesar de la existencia de regulaciones ambientales. Particularmente, para la emisión de contaminantes atmosféricos, los límites permisibles de emisiones han sido rebasados a causa del desarrollo de diversas actividades humanas. La vulnerabilidad del derecho ambiental debe ser corregida mediante sistemas de vigilancia más robustos, con una aplicación normativa más estricta y sanciones contundentes. Aunado a ello, es necesario replantearse desde los ámbitos legislativos de los tres niveles de gobierno reformas legislativas tanto en vigilancia como en niveles permitidos de emisiones, a fin de salvaguardar los derechos ambientales y humanos de la población.

5.4 Recomendaciones Frente a la Dimensión IGCT

El indicador denominado Gases Relacionados con la Concentración de CO, identificado como IGCT, muestra la incidencia que tienen los GEI que integran el indicador, en la presencia de enfermedades respiratorias en la población de la Zona, entablar acciones para reducir su emisión podría significar mejorar la salud respiratoria en la población.

5.4.1 Prevención en Fuentes Domiciliarias y Disposición de Residuos Sólidos Urbanos

Satisfacer las necesidades de la cotidianeidad en la Zona, con menos energía primaria es clave para reducir el impacto de la actividad humana (desde los hogares) sobre la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Aunque la proporción de emisiones desde los hogares es menor en comparación con otros sectores, disminuir estas emisiones contribuye a lograr las metas planteadas sobre mitigación, y por supuesto en mejorar la calidad de vida de la población, sobre todo al considerar que la literatura revisada en el Capítulo II de este trabajo, expone los efectos del aire contaminado intramuros en la salud respiratoria de los habitantes, con mayor énfasis en los grupos poblacionales vulnerables (infantes, adultos mayores y personas con morbilidades previas). Entre las recomendaciones respaldadas por

la literatura, para disminuir las emisiones de GEI, se encuentran acciones puntuales desde el interior de los hogares como el cambio en las fuentes energéticas. La promoción de prácticas como es el reducir la contaminación por el uso de leña en el hogar, deben ser reforzadas con política para acelerar el acondicionamiento térmico de las viviendas y el mejoramiento en los patrones de construcción sobre estándares térmicos (Simon y Bustamante, 2024). La política pública establecida en la Zona debe contemplar la interacción de diversas disciplinas, abanderadas por la política ambiental como medio a una política eficiente de salud.

Parte de la política requiere contemplar las recomendaciones específicas promovidas por organismos internacionales, en el caso de las fuentes de energía para la calefacción y preparación de alimentos, el uso de recursos como el carbón no solo genera una alta contaminación ambiental, también tiene impactos directos a la salud humana. La Organización Mundial de la Salud, señala que en los hogares no debe utilizarse el carbón no tratado (se refiere a aquel que no ha sido tratado de forma química, física o térmica para reducir los contaminantes) como combustible, pues algunos compuestos como lo son el flúor, arsénico, plomo, selenio y mercurio no son destruidos mediante la combustión, se liberan a la atmósfera y pueden generar problemas en la salud respiratoria (OMS, 2014, pp. 25-26).

Ante este hecho, el uso y estímulo de alternativas más amigables debe formar parte de las políticas promovidas con enfoque a los hogares. Particularmente en zonas rurales, el uso de estufas ecológica mejoradas representan una mejor opción frente al uso de fogones tradicionales, optimiza el uso de maderas reduciendo la emisión de CO₂, y estimula el uso de otros tipos de biomasa como fuente de energía (García-Martínez, Rodríguez-Soto, Pérez-Suárez, Carrillo-Arizmendi y Montoya-Jiménez, 2024). Alternativas como las estufas solares representan opciones amigables con el ambiente, en cuanto al proceso en la preparación de alimentos. Referente a la promoción de otro tipo de aparatos para la cocción de alimentos, alternativos a la estufa tradicional con uso de gas licuado de petróleo, se encuentra el uso de parrillas eléctricas como la parrilla de inducción magnética, en cuyo caso, su fuente primordial de energía provienen de la electricidad, y al ser la generación de electricidad tradicional, uno de los sectores con mayor emisión, debe replantearse el uso de parrillas/estufas/electrodomésticos eléctricos, complementados con sistemas de generación

energética amigables. Destacando la importancia de la generación eléctrica con fuentes alternativas, de bajas emisiones, tanto la generada desde centrales eléctricas como la generada en los hogares.

Al ser la generación de energía eléctrica una de las principales fuentes de emisiones de GEI, es necesario disminuir su demanda por lo que es necesario impulsar políticas para los hogares en cuanto al ahorro energético. El mantenimiento en el hogar permite tener un ahorro en consumo de energía eléctrica, evitar fugas de energías, mantenimiento preventivo en la instalación eléctrica, equipos (como los de refrigeración) y elementos de control, además de reforzarse con recomendaciones como apagar luces que no se ocupen, desconectar equipos en reposo, sustitución de focos ahorradores (Shaar y Flores, 2017). Aunado a las acciones de mantenimiento en el hogar, se debe fomentar el uso de aparatos eléctricos de eficiencia energética y sistemas de generación de energía eléctrica para hogares, lo que supone también un ahorro en la economía familiar a mediano y largo plazo.

En adición a las recomendaciones para el uso de fuentes de energía en el hogar, la política pública debe considerar atender el problema a causa de las emisiones provenientes por la generación de residuos sólidos urbanos. El Banco Interamericano de Desarrollo respalda acciones como el implementar programas de recolección selectiva de residuos orgánicos, además de establecer metas progresivas de valorización de residuos (Correal & Rihm, 2022). Separar los residuos desde su recolección, facilita acciones de reciclaje y favorece la circularidad de algunos residuos, el compostaje o su aprovechamiento como fuente de energía.

Una opción para el aprovechamiento de algunos residuos sólidos urbanos es la recuperación energética, mediante la conversión de material no reciclable en combustible o electricidad, como forma de reducir el volumen de los residuos y reducir el impacto de los residuos, es fundamental que esta acción se encuentre armonizada con marcos normativos y ambientales que aseguren que el proceso no agrave las condiciones ambientales (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2020), la recuperación energética puede ser por medio de combustión o por coprocesamiento.

No se debe perder de vista que, al implementar cualquier política encaminada a la mitigación de emisiones, es necesario considerar el costo beneficio, no solo en el aspecto financiero, sino en cuanto a las cifras de mitigación y generación, sobre todo al implementar nuevas tecnologías promovidas como ecológicas o amigables. Enfocar políticas ambientales para la reducción de emisiones desde los hogares debe acompañarse de un sustento metodológico adecuado a las características de cada población para su ejecución, además de programas de concientización, estimulación e inclusión.

5.4.2 Reducción del Uso de Combustibles Sólidos de Baja Calidad

Disminuir el uso de combustibles sólidos en los hogares, como el uso de madera, carbón, biomasa, la turba y el carbón vegetal, requiere de la sustitución por alternativas de fuentes de energía con menores emisiones de GEI, alternativas como el gas natural, el gas licuado de petróleo y la electricidad. Parte fundamental de cambiar a estas alternativas, es garantizar que su generación sea mediante procesos reducidos en emisiones. Aunque en algunos casos, como en zonas rurales, debido a diversos factores, no es posible el acceso a estas alternativas, se debe considerar fomentar la mejor opción disponible a sus necesidades, como el uso de estufas ecológicas mejoradas o estufas solares.

Referente a la reducción de combustibles sólidos en la industria, requiere acciones de mayor impacto, que permitan transicionar a generadores de energía mediante fuentes con menores emisiones y de mayor eficiencia energética, ya sea mediante enfoques de transición a energías de fuentes renovables o mediante esquemas de fuentes energéticas por hibridación, enfocar las políticas públicas energéticas a nuevos modelos amigables con el ambiente puede significar puntos a favor en la búsqueda de reducir las emisiones de gases efecto invernadero..

5.5 Acciones de Carácter Transversal

Es necesario focalizar la política pública en búsqueda de reducir las emisiones de GEI a la atmosfera, como forma de mejorar la salud respiratoria de la población de la Zona, teniendo presente durante su diseño la necesidad de intervenir desde distintas perspectivas, alinear los objetivos de desarrollo económico, de generación energética, de desarrollo social, de salud y ambientales.

También se requiere contemplar que la política de desarrollo económico debe tener un enfoque sustentable, en el que se garantice que el crecimiento de la región mediante un uso sustentable de los recursos, además de fomentar acciones de reciclaje y estimular un mercado para productos con materiales de reuso, al tratarse de una zona industrializada es necesario poner especial atención a los posibles efectos ambientales producto de la instalación de nuevas industrias. El crecimiento económico e industrial fuerte, debe ser entre otras características sostenible, en el que se integren de forma eficaz las dimensiones económica, social y medioambiental del desarrollo sostenible (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial [ONUDI], 2013). El desarrollo industrial es necesario para lograr los objetivos dirigidos a erradicar la pobreza, fomentar el empleo, y generar empleos, pero debe desarrollarse de forma armoniosa con el ambiente a fin de garantizar una mejor salud en la población.

Por su parte, la política energética además de buscar garantizar la cobertura a nivel nacional requiere establecer nuevas fuentes energéticas en vista de una transición a sistemas de bajas emisiones, las mejoras en cuanto al fomento de energías renovables y/o de bajas emisiones impacta directamente a la Zona, al ser anfitriona de una central eléctrica que distribuye a diversos estados, y de un complejo de refinación. Es necesario contemplar la energización sostenible como producto y como medio de producción.

La política social focalizada a la Zona, además de implantar objetivos para reducir los rezagos sociales, requiere mejorar las condiciones de vida de los habitantes con perspectiva sustentable, un ejemplo adecuado es la promoción de usos de calentadores solares o estufas ecológicas, que cubren parte de las necesidades de los hogares y reducen la emisión de gases al sustituir los elementos tradicionales. Además de contemplar programas de concientización ambiental.

Particularmente, la política de salud debe enfocarse mediante objetivos específicos a la atención de enfermedades respiratorias y en mayor medida a prevenirlas desde su origen, como forma de reducir a futuro los gastos originados por atención médica a pacientes con este tipo de morbilidades al tiempo que mejora la calidad de vida de los habitantes de los

municipios que integran la Zona Metropolitana de Tula. Por ello, su principal eje de transversalidad debe ser con la política ambiental, que a su vez se conecta con los diversos enfoques de la política promovida en la región.

Aunado al monitoreo, regulación y promoción de un desarrollo con bajas emisiones, la política ambiental debe contemplar apoyos externos como la implantación de bonos verdes en la Zona, los cuales representan recursos financieros destinados a la mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático.

Con perspectiva multidisciplinaria y multinivel en los sistemas de gobierno, cimentada en la evidencia, la ZMT requiere atención prioritaria mediante el desarrollo de una política integral encaminada a disminuir los niveles de contaminación, tanto en aire, agua y suelo, a mantener un medioambiente saludable, a estimular el desarrollo económico y a mejorar las condiciones de bienestar social (incluida la salud y particularmente la salud respiratoria). Atender hoy los problemas ambientales y de salud, representa ahorros futuros y mejora la calidad de vida y dignifica el desarrollo social.

5.5.1 Cultura Ambiental Sobre Riesgos en la Salud Respiratoria

La crisis ambiental pone en riesgo la viabilidad de un modelo económico y a la humanidad en su conjunto, al superarse los límites de resiliencia planetaria para absorber impactos del daño (Quintana, 2023). Afecta todos los aspectos de la vida diaria, de forma pública y reiterada se ha dado a conocer las afectaciones que tiene la actividad humana en el medio ambiente, sin embargo, la divulgación de esta información no ha permeado con éxito. Se requieren políticas de sensibilización para lograr un estado de conciencia en los diferentes sectores de la sociedad, acerca del impacto al medio ambiente a causa de la actividad humana, las repercusiones que puede tener a la salud, especialmente a la salud respiratoria y la importancia que tiene implementar acciones de mitigación en beneficio de las generaciones presentes y futuras; aunado al pleno conocimiento sobre las acciones que se pueden tomar al respecto desde lo individual hasta lo colectivo, en un sentido en que aún las pequeñas acciones suman y la responsabilidad de exigir tanto a gobierno, a la sociedad y a los diversos sectores económicos ejercer sus actividades en un sistema de bajas o neutras emisiones.

Desde los diversos niveles de gobierno se debe promover una cultura ambiental en beneficio de la sociedad, como parte de sus sistemas educativos y de formación social. Además de generar un pensamiento crítico en la población existe la necesidad de proyectarse mediante acciones. De poco sirve sensibilizar a la población en la importancia de separar los desechos sólidos urbanos para el reciclaje, si no se proveen los medios de recolección adecuados y si la disposición final de los residuos no garantiza un sistema óptimo de circularidad.

5.5.2 Participación Ciudadana y Gobernanza

Las políticas integrales requieren la intervención de todos los actores involucrados, para la solución de conflictos mediante acuerdos y normativas plasmadas en la política, en respuesta a la necesidad social de atender la problemática ambiental generada en la zona. Durante la formulación de las políticas públicas focalizadas a la ZMT es necesario alcanzar consensos entre los tres niveles de gobierno y las diferentes organizaciones de la sociedad civil, pues el éxito no solo se mide por su diseño adecuado y en los resultados esperados, si no se logra su implementación debido a la oposición social en vano será formular las políticas de mitigación, por más ambiciosas y prometedoras que puedan parecer. Por ello, generar un ambiente de gobernanza en la región, requiere de la interdependencia gubernamental y mecanismos cooperativos tanto de la sociedad civil y demás actores involucrados, mediante interacciones continuas, para alcanzar los objetivos y metas planteadas con y no por encima de la sociedad.

5.5.3 Infraestructura Verde y Resiliencia Urbana

De acuerdo a la Unión Europea (2025), la infraestructura verde se trata de redes estratégicas y planificadas de áreas naturales y seminaturales con características ambientales, diseñadas para brindar servicios ecosistémicos como la purificación del agua, la mejora de la calidad del aire, espacios de recreación y contribución para la mitigación y adaptación. Parte de la política gubernamental, diseñada para la ZMT, debe incluir espacios de conservación de la biodiversidad oriunda de la región, contemplando un aprovechamiento de su potencial de forma amigable (previa evaluación de impacto ambiental), en los que confluya el cuidado ambiental y la dinámica urbana mediante espacios de recreación, de movilidad sin emisiones, producción de hortalizas y forrajes, además de acciones de conservación de la biodiversidad,

hacerlo de forma planificada y ordenada puede incluso ayudar a prevenir y reducir riesgos ambientales.

Diseñar espacios verdes además de los beneficios ambientales primordiales en su diseño, puede generar resultados positivos en aspectos sociales, culturales, económicos y de salud. En el sentido social, mejora la calidad de vida de la población pues promueve su derecho a un ambiente digno y sus derechos de recreación y esparcimiento. En el sentido cultural, al contemplar espacios públicos, estimula la convivencia social en un espacio de contacto con la naturaleza. En el sentido económico, se aprovecha el potencial propio de cada área de conservación, permitiendo generar productos amigables y desarrollar un mercado verde. En cuanto a los beneficios a la salud, los espacios verdes además de ser espacios de captación de CO₂, mejoran las condiciones de suelo, agua y aire, al tiempo que pueden promover la activación física en espacios con menor presencia de contaminantes ambientales.

5.6 Consideraciones Para Futuras Investigaciones

El presente trabajo ha mostrado la incidencia que tienen los gases efecto invernadero presentes en la atmosfera de la Zona Metropolitana de Tula, Hgo., en el registro de enfermedades respiratorias durante el año 2022, estudios como este son útiles en el desarrollo de la política pública, pues provee de evidencia solida que respalda la implementación de acciones de gobierno para atender un problema público, por ello, es importante que investigaciones de esta índole sean replicadas con información reciente de los años posteriores a 2022 y en un sentido comparativo determinar si las emisiones de GEI han aumentado o disminuido, y cuál es su posible causa en la variación, pues pudiese ser producto de la implementación de políticas ambientales o económicas, además de determinar la incidencia en los registros de enfermedades respiratorias, para determinar si los resultados son consistentes con los obtenidos para el periodo de estudio, considerando también las políticas de salud enfocadas a la prevención de ER. Utilizar datos recientes permitirá tener un panorama sobre la situación actual respecto a afectación en la salud respiratoria de la población a causa de las emisiones y el éxito o las áreas de oportunidad de las políticas actualmente implementadas al respecto.

El estudio se ha realizado con información de los cinco municipios que conforman la Zona Metropolitana de Tula, la cual es identificada como una zona de importancia para el desarrollo económico del estado y la zona centro del país y debido a ello ha sido víctima de un deterioro ambiental tanto del agua, suelo y aire. Se sugiere que este estudio se replique en las dos zonas metropolitanas del estado (de acuerdo a la actualización de metrópolis 2020, realizada en 2023 por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano). La dinámica económica actual de la Zona Metropolitana de Pachuca y de la Zona Metropolitana de Tulancingo es distinta a la zona de estudio del presente trabajo, por lo que determinar la incidencia que tienen los GEI en las ER puede generar mayor conocimiento sobre el comportamiento de los mismos, en diversos panoramas. En México actualmente existen 48 zonas metropolitanas, 22 metrópolis municipales y 22 zonas conurbadas. Esta investigación da la apertura, como otras, para abordar el tema de la incidencia de los GEI en enfermedades respiratorias de la población, con el fin de promover la política en materia ambiental y de salud, desde una perspectiva de prevención.

Al replicar este estudio pueden considerarse variables como el clima, la cercanía con fuentes de contaminación, la contaminación además del aire, del suelo y del agua, así como de la presencia de otras enfermedades. Se recomienda ampliar variables en estudios replicados en otras zonas e incluso en los municipios que integran la Zona Metropolitana de Tula e incluir actualización en los datos, para años más recientes.

Aunque el objetivo de este estudio ha sido demostrar la relación entre GEI y ER, ha mostrado las áreas de oportunidad del quehacer gubernamental, especialmente en cuanto a los servicios de salud otorgados a la población, mejorar la atención, cobertura y especialización proporcionada en la ZMT, especialmente en servicios de especialidades médicas para la atención de morbilidades a causa de la contaminación, como es el caso de las enfermedades respiratorias, por ello se recomienda a los tomadores de decisiones establecer políticas encaminadas a disminuir las emisiones como estrategia para disminuir, en un futuro, los casos registrados de enfermedades respiratorias en la población, sin perder de vista la importancia que tiene atender de forma inmediata el problema de salud respiratoria

que aqueja actualmente a los habitantes de la Zona, fortaleciendo el sistema de salud con el que se cuenta.

Parte de las limitantes en el quehacer científico es la falta de cultura del dato, recopilar información puede ser complicado pues existen pocos registros y su disposición al público llega a ser limitado, aunque la falta de información puede deberse a una falta de infraestructura y no a una acción de ocultamiento. Es necesario reforzar los sistemas de medición e información atmosférica desde las instancias gubernamentales correspondientes y en apoyo de la academia, pues tener datos actualizados y más precisos, pueden significar generar proyecciones científicas más acertadas. Dado que es desde la ciencia (mediante la evidencia), el ámbito que debería respaldar el actuar gubernamental, es necesario ampliar la investigación científica con enfoque interdisciplinar para generar soluciones certeras a los problemas públicos, en un uso eficaz, eficiente y planeado de los recursos públicos con prospectiva.

Se sugiere en futuras investigaciones contemplar variables con enfoque social y normativo acerca de las regulaciones ambientales y la cultura ambiental bajo el contexto de mitigación de emisiones como parte de la acción social. Considerar la percepción de la sociedad respecto a la importancia de cuidar el entorno natural en que se desarrolla y las implicaciones que conlleva el no hacerlo, puede ayudar al investigados a comprender el fenómeno de estudio en un sentido holístico y con ello proyectar a la sociedad la importancia de mitigar las emisiones como parte preventiva en su salud respiratoria.

Conclusión

Los municipios que integran la Zona Metropolitana de Tula, Hgo., requieren con urgencia políticas integrales focalizadas, que atiendan las necesidades de salud de la población, haciendo alusión a la presencia de enfermedades respiratorias en la Zona, se necesitan políticas para controlar y disminuir la presencia de las mismas. Este estudio ha demostrado que una de los factores de influencia en su presencia es la generación excesiva de gases efecto invernadero en la atmosfera de la región, lo cual se encuentra relacionado a la dinámica económica y social presente en los municipios sujetos de estudio. Se requiere una

formulación de políticas que incluyan objetivos ambientales como forma de mitigación a los efectos del cambio climático y garantizar el derecho humano a un ambiente sano; políticas económicas con perspectiva sustentable, que generen un desarrollo en la región con bajas o neutras emisiones, considerando atender las necesidades presentes y garantizando la disponibilidad de recursos naturales a futuro y un ambiente limpio; políticas que incluyan objetivos de educación ambiental que sensibilicen a la población de todas las edades sobre la importancia de cuidar el medio ambiente y prevenir la emisión de GEI, como forma de aumentar su calidad de vida y reducir los impactos a su salud, en especial a su salud respiratoria; políticas sociales que permitan un sano esparcimiento y cubrir las necesidades primordiales de las poblaciones, en especial de aquellas con mayor vulnerabilidad, mediante el uso de alternativas con bajas o nulas emisiones a la atmósfera; y políticas de salud que además de mejorar y ampliar la cobertura de los servicios de salud, se enfoquen en la prevención considerando la evidencia científica acerca de sus causas y agravantes. Urge implementar políticas preventivas, con objetivos a reducir la aparición de morbilidades respiratorias como forma de mejorar las condiciones de salud de la población y reducir a futuro el gasto público destinado a la atención reactiva por enfermedades respiratorias.

En un sentido general, el gasto realizado en el presente para mitigar los efectos del cambio climático a la salud, se convertirá en una inversión a futuro que permitirá dotar de mejores escenarios en la salud de la población y con ello reducir gastos por atención médica.

Las acciones de mitigación deben prevalecer sobre aquellas de adaptación, acciones preventivas sobre acciones reactivas son fundamentales durante la formulación de políticas con prospectiva para disminuir los registros de enfermedades respiratorias en la ZMT a causa de las emisiones a la atmosférica. Ampliar estudios como este, es fundamental para clarear el enfoque del quehacer gubernamental.

CONCLUSIONES FINALES

Este trabajo se desarrolló con el objetivo de estimar la incidencia de emisiones de gases efecto invernadero sobre las enfermedades respiratorias en la población de la Zona Metropolitana de Tula, Estado de Hidalgo, considerando como periodo de estudio el año 2022, para lo cual se obtuvo información sobre los registros de enfermedades respiratorias y sobre las emisiones de GEI, además, en esta investigación se recopiló información sobre estudios empíricos desarrollados en diversas partes del mundo en el que se demuestra la influencia que tiene la presencia de contaminantes en la atmosfera en la salud humana, específicamente en la salud respiratoria, siendo los sectores poblacionales más vulnerables a estos efectos la población integrada por infantes, adultos mayores y personas con morbilidades previas, además de ser las regiones menos favorecidas económicamente, las que llegan a tener mayor impacto por la contaminación atmosférica, demostrando la influencia directa de los contaminantes presentes en la atmosfera con las enfermedades respiratorias, además, de la influencia en la variación de la temperatura en este tipo de afecciones, en conjunto con la presencia de GEI.

La construcción de la base de datos que se realizó con información sobre la emisión de GEI en los cinco municipios que integran la ZMT y registros de enfermedades respiratorias, lo que permitió hacer los modelos matemáticos.

La metodología utilizada fue la Investigación de Operaciones, mediante el uso del análisis de correlación canónica, lo que permitió dar cumplimiento al objetivo general de esta investigación, que consistió en hacer un modelaje matemático, logrando establecer la incidencia que tienen los GEI en las ER de la población de la Zona Metropolitana de Tula.

Partiendo de resultados del análisis, se dio respuesta a la pregunta de investigación, la cual se centró en indagar si la incidencia de emisión de gases efecto invernadero es elemento explicativo para las enfermedades respiratorias de la población que habita en la Zona Metropolitana de Tula en el Estado de Hidalgo.

Los hallazgos obtenidos son consistentes con la hipótesis planteada, pues se afirma que a medida que aumente la incidencia de los gases efecto invernadero (PM, SO₂, CO, NO_x,

CH₄, N₂O) en la ZMT, la prevalencia de las enfermedades respiratorias de los residentes de la población aumentará.

La construcción de los índices (dimensiones) (**IGQF**, Índice de gases por quema de combustibles fósiles; **IGPQ**, Índice de gases de producción química; **IGCT**, Índice de gases relacionados con concentración de monóxido de carbono) producen efectos negativos aumentando la prevalencia de infecciones respiratorias graves en la población. En el modelo se predijo lo siguiente:

- Al mantener los valores constantes del IGPQ y del Sector económico (X_1), por cada unidad que aumente el IGQF **habrá en promedio 131.34 nuevos casos registrados de personas con Infecciones Respiratorias Agudas.**
- Al mantener constantes los valores IGQF y de Sector económico (X_1), por cada unidad que aumente el IGPQ **se registrarán en promedio 319.22 nuevos casos de Infecciones Respiratorias Agudas.**
- Entre mayor cambie el Sector económico (X_1) al que pertenece la localidad, (de primario a secundario o de secundario a terciario) **aumentarán en promedio 186.67 los registros de enfermos por Infecciones Respiratorias Agudas**, manteniendo constantes los niveles de los índices IGQF e IGPQ.
- Al mantener los valores constantes del IGPQ y de Sector económico (X_1), por cada unidad que aumente el IGQF **habrá en promedio 11.455 nuevos registros de personas enfermas por Covid-19 (Y_2)** en la población.
- Al mantener constantes los valores del IGQF y de Sector económico (X_1), por cada unidad que aumente el IGPQ **se registrarán en promedio 24.220 nuevos casos de Covid-19 (Y_2).**
- Entre mayor cambie el Sector económico al que pertenece la localidad, (de primario a secundario o de secundario a terciario) **aumentarán en promedio 11.736 los registros de enfermos por Covid-19 (Y_2)**, siempre que se mantengan constantes los niveles de los índices IGQF e IGPQ.

- Al mantener los valores constantes del índice IGPO y de Sector económico (X_1), por cada unidad que aumente el índice IGQF **habrá en promedio 5.4875 nuevos registros de personas enfermas por Otras enfermedades respiratorias (Y_3)**.
- Al mantener constantes los valores del índice IGQF y de Sector económico (X_1), por cada unidad que aumente el índice IGPO **se registrarán en promedio 13.0195 nuevos casos de Otras enfermedades respiratorias (Y_3)**.
- Entre mayor cambie el Sector económico al que pertenece la localidad, (de primario a secundario o de secundario a terciario) **aumentarán en promedio 5.9363 los registros de enfermos por Otras enfermedades respiratorias (Y_3)**, manteniendo constantes los niveles de los índices IGQF e IGPO.

Con un nivel de confianza al 0.95 y con nivel de significancia al 0.05, las tres dimensiones (índices) son significativas:

- La primera dimensión (IGQF: Gases por quema de combustibles fósiles) concentra el 80.6% de la variabilidad explicada, lo que la posiciona como el principal factor asociado a la incidencia de enfermedades respiratorias.
- La segunda dimensión (IGPO: Gases de producción química) explica el 17% de la variabilidad, ubicándose como el segundo factor asociado.
- La tercera dimensión (IGCT: Gases relacionados con la concentración de Monóxido de Carbono) explica 2.3% de la variabilidad, por lo que representa el aporte más bajo.

La contribución de esta investigación es su aporte científico mediante la construcción de un modelo de correlación canónico, mediante el cual se explicó la incidencia que tienen los gases efecto invernadero en la prevalencia de las enfermedades respiratorias, en el área geográfica de estudio, el modelaje matemático realizado se puede aplicar en otra área geográfica con características similares y con sus datos determinados.

Los resultados que se obtuvieron mediante el análisis de correlación canónico permitieron identificar los contaminantes atmosféricos que inciden en la presencia de padecimientos respiratorios y que entre mayor sea el grado de emisiones de GEI a la

atmósfera, el impacto a la salud del ser humano será mayor. Del análisis de las relaciones canónicas destacan los siguientes hallazgos:

- El problema que tiene la Zona Metropolitana de Tula es la emisión de gases derivados de la producción química (IGPQ), lo que constituye el principal factor ambiental que incide en las Infecciones Respiratorias Agudas, demostrando una relación significativa entre la contaminación atmosférica de origen industrial y los efectos adversos en la salud respiratoria.
- De manera descriptiva, se observó que el número de casos aproximados de Infecciones Respiratorias Agudas (Y_1) es considerablemente mayor que el de COVID-19 (Y_2), con una razón aproximada de 13 a 1⁸.
- Las Infecciones Respiratorias Agudas (Y_1) presentaron una frecuencia considerablemente mayor que Otras Enfermedades Respiratorias (Y_3), con una razón aproximada de 24 a 1⁹.
- La enfermedad por COVID-19 (Y_2) continuará presente, por lo que seguirán registrándose casos; en este sentido, el modelo explica el 59.7 % de la variabilidad de Y_2 , lo que indica que, si bien las variables incluidas aportan información relevante, aún faltan otras variables a considerar que influyan en el comportamiento de Y_2 .
- La quema de Combustibles Fósiles concentra la mayor variabilidad (48.2 %); sin embargo, para la predicción de las Infecciones Respiratorias Agudas (Y_1), la principal problemática se asocia con la Emisión de Gases por Producción Química (IGPQ).
- Aunque los Gases por quema de Combustibles Fósiles tiene la mayor varianza con un 80.6%; la emisión de Gases de Producción Química (IGPQ) es la que provoca más casos aproximados (319.22) de Infecciones Respiratorias Agudas (Y_1).

La Política Pública Ambiental debe orientarse al monitoreo de las emisiones de Gases provenientes de la Producción Química (IGPQ), ya que estas constituyen una de las principales causas de las Infecciones Respiratorias Agudas (Y_1). La evidencia analizada

⁸319 casos aproximados de Infecciones Respiratorias Agudas entre 24 casos aproximados de COVID-19.

⁹ 319 casos aproximados de Infecciones Respiratorias Agudas entre 13 casos aproximados de Otras Enfermedades Respiratorias.

indica que la principal problemática a atender es la incidencia de las Infecciones Respiratorias Agudas (Y_1), la cual se asocia principalmente a la emisión de Gases derivados de la Producción Química (IGPQ); no obstante, los gases provenientes de la Quema de Combustibles Fósiles también constituyen un factor relevante que debe ser considerado en las estrategias de intervención.

Respecto a la variabilidad del modelo los resultados permiten establecer lo siguiente:

- El modelo tiene una variabilidad de 47 % en Y_1 (Infecciones Respiratorias Agudas). Ya que muestra un ajuste moderado, con un R^2 de 0.483 y un R^2 ajustado de 0.472, lo que indica que el 47% de la variabilidad de la variable respuesta es explicada por las variables IGQF, IGPQ y X_1 . El modelo es estadísticamente significativo en su conjunto ($F = 43.86$; $p < 0.001$), lo que evidencia la existencia de una relación lineal relevante entre las variables incluidas
- El modelo presenta una variabilidad explicada del 59 % en Y_2 (COVID-19). Con un R^2 de 0.597 y un R^2 ajustado de 0.586, lo que indica que el 59 % de la variabilidad de la variable respuesta es explicada por las variables IGQF, IGPQ y X_1 . El modelo resulta estadísticamente significativo en su conjunto ($F = 69.67$; $p < 0.001$), demostrando una relación lineal entre las variables analizadas; no obstante, el porcentaje de variabilidad no explicada sugiere la necesidad de incorporar variables adicionales que permitan comprender de manera más integral el comportamiento del COVID-19.
- El modelo presenta una variabilidad explicada del 57 % en Y_3 (Otras Enfermedades Respiratorias). Muestra un buen ajuste, con un R^2 de 0.571 y un R^2 ajustado de 0.562, lo que indica el 57 % de la variabilidad de la variable respuesta es explicado por las variables IGQF, IGPQ y X_1 . De esta manera, el modelo es estadísticamente significativo en su conjunto ($F = 62.58$; $p < 0.001$), lo que evidencia la existencia de una relación lineal relevante entre las variables incluidas.

La investigación tuvo limitantes en su desarrollo, pues la disposición de datos referente a las enfermedades respiratorias y a las emisiones, corresponden al año 2022, la

falta de acceso y actualización de los datos de años recientes impidió realizar la investigación con datos de 2023 o 2024.

Para finalizar, partiendo de la pregunta de investigación, del objetivo planteado, de la revisión de literatura y de la construcción del modelo, se parte sólidamente en hacer recomendaciones de acciones de política pública en materia ambiental y de salud. Las recomendaciones tienen una orientación a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero para disminuir la incidencia de enfermedades respiratorias; logrando así, minimizar el gasto en la atención médica por padecimientos respiratorios, y con esto favorecer la calidad de vida en la población.

Se da la pauta para futuras investigaciones que sirvan como diagnósticos para proponer acciones de política pública en materia ambiental y de salud, basadas en la evidencia, que permitan atender problemas públicos con un uso eficiente de los recursos, para generar bienestar en la población. Desarrollar investigaciones como la presente, permite clarear el panorama respecto a la incidencia de las emisiones por gases efecto invernadero en la salud humana y animar a la gestión pública a otorgar soluciones basadas en evidencia.

La Zona Metropolitana de Tula, Hgo., ha presentado un desarrollo económico importante para el estado y la región centro del país, parte de este crecimiento se debe a la actividad industrial, aunque también la actividad primaria contribuye se forma sustancial, principalmente por las actividades de agricultura y ganadería. El desarrollo de la Zona ha generado grandes impactos al ambiente de la región, el daño es ocasionado principalmente por la sobre explotación de los recursos naturales y la degradación ambiental a la que los ecosistemas son sometidos (Solórzono, Vera y Buñay, 2022). Aunado a ello, el impacto a la salud humana a causa de los contaminantes emitidos por la acción antropogénica ha generado que la calidad de vida de los habitantes de la Zona se vea afectada.

Se demostró matemáticamente la magnitud negativa que tienen los Gases Efecto Invernadero en la prevalencia de enfermedades respiratorias en la Zona Metropolitana de Tula, esta investigación finaliza proponiendo acciones desde las políticas públicas para establecer acciones de mitigación de emisiones como forma de mejorar las condiciones de salud en la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abián, M. y Alzueta, M. U. (2014). Minimización de emisiones de NOx y hollín en procesos de combustión. *Boletín Grupo Español del Carbón*, 34, 2-6. https://www.gecarbon.org/boletines/articulos/BoletinGEC_034-art1.pdf
- Academia Mexicana de Impacto Ambiental. (2024). El agua en México, oportunidades para una mejor gestión ambiental y social. *Boletín Academia de Impacto Ambiental, A.C.* 73
- Achebak, H., Devolder y D., Ballester, J. (2018). Heat-related mortality trends under recent climate warming in Spain: A 36-year observational study. *PLOS Medicine*. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002617>
- Acosta, M. (2010). El cambio climático. Estado General de la cuestión y análisis crítico en M. C. Azaustre Serrano (Ed.), *Diálogos educativos con el mundo contemporáneo. Educación y Medio Ambiente* (pp 93-149). Fondo Editorial Fundación San Pablo Andalucía (CEU).
- Acuerdo Nacional para la Federalización del Sistema de Salud para el Bienestar. Diario Oficial de la Federación. 13 de octubre de 2023. (México).
- Acuerdo por el que la Coordinación General del Programa IMSS-Solidaridad publica las Reglas de Operación del Programa IMSS-Solidaridad. Diario Oficial de la Federación. 15 de marzo de 2000. (México).
- Acuerdo por el que la Secretaría de Salud da a conocer las Reglas de operación e indicadores de gestión y evaluación del Programa Salud para Todos (Seguro Popular de Salud). Diario Oficial de la Federación. 4 de julio de 2003. (México).
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (14 de junio, 2022). Emisiones
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2020). *Mejores prácticas para la gestión de residuos sólidos: Una guía para los responsables de la toma de decisiones en los países en vías de desarrollo.* EPA.

https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-02/documents/swm_guide-spanish-reducedfilesize_pubnumber_october.pdf

Agencia Europea de Medio Ambiente. (15 de septiembre de 2023). *Noticias del Parlamento Europeo. ¿Qué hace la UE para reducir la contaminación del aire?*
<https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20230822STO04226/que-hace-la-ue-para-reducir-la-contaminacion-del-aire>

Aguilar Villanueva, L. F. (1992). *El Estudio de las Políticas Públicas*. Miguel Ángel Porrúa.

Aguilar, V. L. F. (2024). La nueva gobernanza pública: un panorama conceptual. *Perfiles Latinoamericanos*, 32(63). <https://doi.org/10.18504/pl3263-001-2024>

Alem, N., Luján, M. y Bascopé, D. (2005). Impacto de la contaminación del aire en enfermedades respiratorias atendidas en el Centro Pediátrico Albina Patiño. *Acta Nova*, 3(1), 56-78. http://www.scielo.org/bo/pdf/ran/v3n1/v3n1_a06.pdf

Alharthi, M. y Hanif, I. (2021). The role of energy types and environmental quality on human health in developing Asian countries. *Energy & Environment*, 32(7), 1226-1242. doi:DOI: 10.1177/0958305X21997098

Ángles H. M., Rovalo O. M. y Tejado G. M. (2021). *Manual de derecho ambiental mexicano*. Ciudad de México: UNAM. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/13/6429/13.pdf>

Arbo, A., Sanabria, G. y Martínez, C. (2022). Influencia del cambio climático en las enfermedades transmitidas por vectores. *Revista del Instituto de Medicina Tropical*, 17(2), 23-36. <https://doi.org/10.18004/imt/2022.17.2.4>

Arce, C., Francisco, C. y Arce, I. (2010). Escalamiento multidimensional: concepto y aplicaciones. *Papeles del Psicólogo*, 31(1), 46-56. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77812441005>

Ariza, B., Moreno, J. y Yori, N. (2024). *Transporte de bajas emisiones para cumplir con el acuerdo de París en América Latina y el Caribe*. PNUD. Programa de las Naciones

Unidas para el Desarrollo. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2024-12/transport_ndc_stocktake_lac_spanish-16122024.pdf

Asamblea General de las Naciones Unidas. (1948). *Declaración Universal de los Derechos Humanos*. París.

Asamblea General de las Naciones Unidas. (2015). *Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015*.

Badii, M. H. y Castillo, J. (2007). Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica. *Innovaciones de Negocios*, 4(8), 405 - 422. <https://doi.org/10.29105/rinn4.8-9>

Bando de Policía y Gobierno del Municipio de Atitalaquia [BPGMA]. Periódico Oficial del Estado de Hidalgo. 9 de enero de 2012. (México).

Bando de Policía y Gobierno del Municipio de Atotonilco de Tula [BPGMAT]. Periódico Oficial del Estado de Hidalgo. 25 de agosto de 2020. (México).

Bando de Policía y Gobierno del Municipio de Tlahuelilpan [BPGMT]. Periódico Oficial del Estado de Hidalgo. 29 de agosto de 2016. (México).

Bando de Policía y Gobierno del Municipio de Tlaxcoapan [BPGMT]. Periódico Oficial del Estado de Hidalgo. 11 de diciembre de 2000. (México).

Bando de Policía y Gobierno del Municipio de Tula de Allende [BPGMTA]. Periódico Oficial del Estado de Hidalgo. 2 de septiembre de 2019. (México).

Barnes, C. S., Alexis, N. E., Bernstein, J. A., Cohn, J. R., Demain, J. G., Horner, E., Levetin, E., Nel, A. y Phipatanakul, W. (2013). Climate Change and Our Environment: Effect on Respiratory and Allergic Disease. *The journal of allergy and clinical immunology in practice*, 1(2), 137-141.

Betetta, G. J. L. (2021). Los efectos de la polución ambiental por micropartículas PM2.5 y PM10 en la presencia de enfermedades respiratorias en los pobladores del distrito de Ate. *Universidad Inca Garcilaso de la Vega*.

- Blumberg, K., Walsh, M., & Pera, C. (2003). *Gasolina y diesel de bajo azufre: la clave para disminuir las emisiones vehiculares*. Fundación Hewlett. https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/01/Bajo_Azufre_ICCT_2003.pdf
- Botas, S. I., Rendón, M. M. E., y Neria, M. E. (2010). Relación entre exposición a contaminación atmosférica en niños y enfermedad respiratoria aguda. *Acta Médica Grupo Ángeles*, 8(3),
- Buffone, I. R. y Romano, H. J. (2023). Consulta por enfermedades respiratorias agudas en la población pediátrica y su relación con el material particulado atmosférico en Bahía Blanca: un estudio ecológico. *Arch Argent Pediatr*, 121(1). <http://dx.doi.org/10.5546/aap.2022-02588>
- Calvento, M. (2006). Fundamentos teóricos del neoliberalismo: su vinculación con las temáticas sociales y sus efectos en América Latina. *Convergencia, Revista de Ciencias Sociales*, 41, 41-59. <https://www.scielo.org.mx/pdf/conver/v13n41/v13n41a2.pdf>
- Cámara de Diputados, LXI Legislatura. (2012). *17a Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y 7a Conferencia de las Partes Actuando como Reunión de las Partes del Protocolo de Kyoto*.
- Cárdenas, Z., Silva, M., Cárdenas, R. y Gómez, M. (2023). Límites institucionales de la evaluación de impacto a los programas sociales en México. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2), 2531-2542. doi:DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.775>
- Carrillo G. G. y Hernández M. R. (2009). Desarrollo de mercados ambientales e innovación en México. *Innovación y Competitividad en la Sociedad del Conocimiento*, 107-132.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sostenible y la Soberanía Alimentaria. (2016). *Marco Institucional de la Política Ambiental en México*. Ciudad de México: Cámara de Diputados.

- Centro Mario Molina. (2021). *Estudio para el rediseño de la red de monitoreo de la calidad del aire de Monterrey*.
https://aire.nl.gob.mx/docs/reportes/Reporte_final_SMCA_AMM_31mar2021.pdf
- Chen, G. (2020). Multidimensional Scaling. *San José State University*, 1-24.
- Chen, K., Fiore, A. M., Chen, R., Jiang, L., Jones, B., Schneider, A., Peters, A., Bi, J., Kan, H. y Kinney, P. L. (2018). Future ozone-related acute excess mortality under climate and population change scenarios in China: A modeling study. *PLOS Medicine*.
<https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002598>
- Cifuentes M. P., Rodríguez-Fernández, A., Luengo, M. C. y Tapia O. L. (2020). Relación entre contaminación atmosférica y consultas por enfermedades respiratorias en atención primaria de urgencia. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 36(4), 260-267. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482020000400260>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2021). *Cuarto informe sobre el progreso y los desafíos regionales de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe*. ONU, 174-191.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2025). *La sostenibilidad financiera de los sistemas de salud de América Latina y el Caribe*. Santiago.
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2023). *Clasificación de los contaminantes del aire ambiente*.
- Conferencia de las Partes de las Naciones Unidas. (2021). Pacto de Glasgow para el Clima. *Pacto de Glasgow para el Clima*, (pág. 12). Glasgow.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [CPEUM]. (1992). México: Trillas.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [CPEUM]. (2024). Diario Oficial de la Federación. 5 de febrero de 1917. México.
- Constitución Política del Estado de Hidalgo [CPEH]. Periódico Oficial del Estado de Hidalgo. 1 de octubre de 1920 (última reforma 2021). (México).

- Convención Marco de las Naciones Unidas. (2015). *Acuerdo de París*. París.
https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf
- Correal, M. y Rihm, J. (2022). *Hacia la valorización de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo.
<https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Hacia-la-valorizacion-de-residuos-solidos-en-America-Latina-y-el-Caribe.-Conceptos-basicos-analisis-de-viabilidad-y-recomendaciones-de-politicas-publicas.pdf>
- Crutzen, P. y Stoermer, E. (2000). The "Anthropocene". *Global Change News Letter*, 41, 17-18.
<http://www.igbp.net/download/18.316f18321323470177580001401/1376383088452/NL41.pdf>
- Cuadras, C. M. (2014). Nuevos Métodos de Análisis Multivariante.
- De la Cruz, C. y Limache, A. (2020). Emisión de metano en la incidencia de enfermedades respiratorias en la población circundante al vertedero municipal de residuos sólidos de Pucallpa, Ucayali-2017. *Revista de Investigación Universitaria*, 9(2), 160-172.
- De la Pava, E., Salguero, B. y Fernández, O. (2008). Modelación matemática de la relación partículas PM10 - enfermedades pulmonares en la ciudad de Cali. *Scientia Et Technica*, 14(38), 347-352. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903861>
- Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. Diario Oficial de la Federación. 3 de mayo de 2023. (México)
- Díaz, R. E., Castro, A. L. y Aranda, P. (diciembre de 2014). Mortalidad por calor natural excesivo en el noreste de México: Condicionantes sociales asociados a esta causa de muerte. *Frontera Norte*. 26 (52).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73722014000200007

- Doerrer, M. (2023). *Hoja de ruta para descarbonizar el transporte de carga en América Latina entre y2025 y 2050*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/08/Hoja-de-Ruta-White-Paper-A4-v4.pdf>
- Duque M. L. G. y Herrera O. O. (2015). Identificación de la influencia del clima en la incidencia del dengue en departamento del Centro-Occidente y la Orinoquía Colombiana. *Universidad Autónoma de Manizales*.
- Durand, L. (2014). ¿Todas ganan? Neoliberalismo, naturaleza y conservación en México. *Sociológica*, 29(82), 183-223.
- Esteban, M. E., Bote-González, M., Alejandre, C., Balaguer, M. y Jordan, I. (2020). Influencia de los factores meteorológicos y contaminantes del aire en casos de bronquiolitis grave en el área metropolitana de Barcelona: estudio piloto. *Anales de Pediatría*, 92(4), 229-231. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2019.01.026>
- Estrella C, R., Estrella C, B., Narváez, X., Reyes, M. T., Gutierrez, M. y Oviedo C, J. (2000). Contaminación ambiental y enfermedades respiratorias en escolares de Quito. *Revista de Facultad de Ciencias Médicas (Quito)*, 25(2), 17-22. https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/CIENCIAS_MEDICAS/article/view/882
- Fabra-Arrieta, J., & Mejía-Toro, W. (2019). Afecciones respiratorias asociadas a factores ambientales y sanitarios en tres veredas de Guarne, Colombia, 2015. *Revista de Salud Pública*, 217-223. <https://doi.org/10.15446/rsap.v21n2.56036>
- Fernández, V. E. (2014). Integración de la política ambiental en México. El caso de la política agropecuaria. *Gestión y Política Pública*, 23(2), 465-505. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792014000200006
- Flanagan, E., Malmqvist, E., Gustafsson, S. y Oudin, A. (2022). Estimated public health benefits of a low-emission zone in Malmo spacing diaeresis, Sweden. *Environmental Research*, 214(4). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114124>

- Flores, O., Fabela, M., Blake, C., Vázquez, D., Henández, R. (2014). Regulación de emisiones contaminantes de los motores de combustión interna. (I. M. Transporte, Ed.) *Notas*(149). <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=396&IdBoletin=149>.
- Foro de Sociedades Internacionales de Enfermedades Respiratorias. (2013). *Las enfermedades respiratorias en el mundo*. Sociedad Europea de Enfermedades Respiratorias.
- Franco-Giraldo, Á. (2016). Salud global: una visión latinoamericana. *Pan American Journal of Public Health*, 39(2), 128-136. <https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/2016.v39n2/128-136>
- Franco-Giraldo, Á. y Álvarez-Dardet, C. (2008). Derechos humanos, una oportunidad para las políticas públicas en salud. *Gaceta Sanitaria* 22(3), 280-286. <https://rua.ua.es/bitstreams/d4c86cc0-7775-4669-ba76-27c62f6e7b14/download>
- Friendly, M. (2022). Corrgrams: Exploratory displays for correlation matrices. *The American Statistician*, 56, 316–324. <https://www.datavis.ca/papers/corrgram.pdf>
- Fundación CTIC. (2024). *Tecnologías para la descarbonización industrial* (Vol. 10). Centro de Estrategia y Prospectiva Industrial. https://cepi.eoi.es/sites/default/files/documents/Descarbonizacion_BVT10-corr.pdf
- Fundación Gas Natural Fenosa. (2018). *La calidad del aire en las ciudades, un reto mundial*. España. <https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>
- García-Martínez, R., Rodríguez-Soto, J. M., Pérez-Suárez, M., Carrillo-Arizmendi, L. y Montoya-Jiménez, J. C. (2024). Uso de estufas ecológicas como alternativa para la reducción de emisiones de GEI en zonas rurales. En A. Hernández, B. Chapa, G. Bolaños, S. López y A. Ibarra, *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2024*. (págs. 32-36). Universidad del Mar. https://www.researchgate.net/publication/389097634_Uso_de_estufas_ecologicas_como_alternativa_para_la_reduccion_de_emisiones_de_GEI_en_zonas_rurales

- Gasparri, A., Yuming, G., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., Huber, V., Tong, S., Staglioni, C. M. S. Z., Nascimento, S. P. H., Lavigne, E., Matus, C. P., Valdes, O. N., Kan, H., Osorio, S., Kyselý, J., Urban, A., Jaakkola, J. J. K., Rytí, N. R. I., Pascal, M., Goodman, G. P., ... Armstrong, B. (2017). Projections of temperature-related excess mortality under. *The Lancet Planetary Health*, 1(9), e360 - e367. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30156-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30156-0)
- Gills, B. y Morgan, J. (2020). Global Climate Emergency. *COP-24*, 85-92.
- Goethe, F. D. D. (2020). Asociación de la exposición a contaminantes atmosféricos y el síndrome metabólico en adultos, una revisión sistemática y un metaanálisis. *Universidad de la Costa, Colombia*.
- Gómez, D. O., Sesma, S., Becerril, V. M., Knaul, F. M., Arreola, H. y Frenk, J. (2011). Sistema de Salud en México. *Salud Pública de México*, 53(2), S220-S232. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/spm/v53s2/17.pdf>
- González P. P., Rodríguez T. M., Esteban, S., Torres, F., Abrutzky, R., Ossorio, F. M. y Ferrero, F. (2023). Impacto de la contaminación ambiental en las consultas por enfermedad respiratoria en niños menores de 2 años. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de Córdoba*, (80)1, 11-19. <https://doi.org/10.31053/1853.0605.v80.n1.36868>
- González, M. (2007). *Ideas y buenas prácticas para la movilidad sostenible*. Madrid: Ecologistas en Acción. https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/adjuntos-spip/pdf_Cuaderno_3_Buenas_Practicas.pdf
- Grisales-Romero, H., Montealegre, N., Piñeros, J. G., Ospina, D. y Nieto, E. (2021). Relación de PM2.5 y enfermedad respiratoria aguda en un territorio de Colombia: Modelos Aditivos Generalizados. *Universidad y Salud*, 24(1), 45-54. <https://doi.org/10.22267/rus.222401.256>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. (2018). *Resumen técnico. Informe aceptado por el Grupo de Trabajo I del Grupo Intergubernamental de*

Expertos sobre Cambio Climático pero no aprobado en detalles. IPCC.
<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4-wg1-ts-sp.pdf>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2019). *Calentamiento global de 1.5°C.* IPCC.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf

Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático. (2019). *Calentamiento Global de 1.5°C. Resumen para responsables de políticas, resumen técnico.* IPCC.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2021). *Cambio Climático 2021, bases físicas.*
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf

Guerrero-Escamilla, J. B., Mendoza, M. S., Rangel, M. Y., Oliver, H. L. A., Rodríguez, T. S. H., Moreno, B. G., Moreno, G. S. S., Leonel, C. E., Martínez, S. N. L. E., Leyva, I. E. A., Jiménez, P. E. G., Tello, M. C., Álvarez, G. D., Hernández, O. G., Encarnación, B. I. G., Martínez, C., Zamora, C. A. y Martínez, H. M. L. N. (2017). *Estrategia Estatal de Mitigación y Adaptación Ante el Cambio Climático de Hidalgo.* SEMARNATH.

Guerrero E. J. B. y López P. S. (2020). Gases efecto invernadero como elemento explicativo de los casos de cáncer en el estado de Hidalgo 2015. *Realidad, Datos y Espacio*, 22-35.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bv_inegi/productos/nueva_estruc/revista_rde/889463856719.pdf

- Guevara, S. A. (2005). Política Ambiental en México: génesis, desarrollo y perspectivas. *ICE, Revista De Economía*, 1(821), 163-175. <https://www.revistasice.com/index.php/ICE/article/view/763>
- H. Cámara de Diputados. (17 de febrero de 2024). *El marco teórico-conceptual de la evolución de las políticas públicas*. <https://www.diputados.gob.mx/bibliot/publica/inveyana/polisoc/dps22/4dps22.htm#:~:text=En%20s%C3%ADntesis%2C%20una%20pol%C3%ADtica%20p%C3%BAblica,sociedad%20civil%2C%20en%20donde%20se>
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R. y Black, W. (1999). *Análisis Multivariante*, 5a ed. Madrid: Prentice Hall.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J. y Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis (8th ed.)*. Cengage Learning.
- Härdle, W. K., & Simar, L. (2015). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Springer Nature.
- Health Effects Institute. (2020). *State of Global Air 2020: A Special Report on Global Exposure to Air Pollution and Its Health Impacts*. Boston.
- Hernández, L.J., Medina, K., Cantor, L., Rodríguez, N., Barrera, J., Bayona, J. y Aristizabal, G. (2009). Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de 5 años en tres localidades de Bogotá.
- Hernández-Cadena, L., Barraza-Villarreal, A., Ramirez-Aguilar, M., Moreno-Macías, H., Miller, P., Carbajal-Arroyo, L. A. y Romieu, I. (2007). Morbilidad infantil por causas respiratorias y su relación con la contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Salud Pública de México*, 49(1), 27-36. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342007000100005
- Hernández-Flórez, L. J., Aristizabal-Duque, G., Quiroz, L., Medina, K., Rodríguez-Moreno, N., Sarmiento, R. y Osorio-García, S. D. (2013). Contaminación del aire y

enfermedad respiratoria en menores de cinco años de Bogotá, 2007. *Salud Pública*, 15(4), 503-516. <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v15n4/v15n4a02.pdf>

INEGI. (2020). *Censo y Conteo de Población y Vivienda 2020*. INEGI.

Iniciativa Climática de México. (2021). *Estudio sobre la influencia de la central termoeléctrica de Tula, Hidalgo*. ICM, 1-33. <https://www.iniciativaclimatica.org/wp-content/uploads/2021/03/Central-Termoele%CC%81ctrica-Tula.pdf>

Iniciativa Climática de México. (2024). *Rumbo a la COP 26*. e https://www.iniciativaclimatica.org/wp-content/uploads/2021/10/COP26-T9_Transporte_final.pdf

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (18 de mayo 2018). *Gases y compuestos de efecto invernadero*. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2025). *México: Informe del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2022*. SEMARNAT. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/1018303/INEGYCEI__Dif_250725.pdf

Instituto Nacional de Salud Pública. (2021). *Síntesis sobre Políticas de Salud, Propuestas basadas en evidencia*. Instituto Nacional de Salud Pública. https://www.insp.mx/resources/images/stories/2022/docs/220118_Sintesis_sobre_politicas_de_salud.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022, Mitigation of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (17 de marzo de 2024). *IPCC*. Obtenido de IPCC: <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/>

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (1995). *Climate Change 1994*. University Press, Cambridge.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/climate_change_1994-2.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Suiza.
- International Business Machines Corporation. (30 de septiembre de 2024). *IBM SPSS Statistics Digital, Escalamiento multidimensional*.
<https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/saas?topic=features-multidimensional-scaling>
- IQAir. (14 de Marzo de 2023). *El Informe mundial sobre la calidad del aire de 2022 de IQAir revela que solo el 5 % de los países cumplen con la pauta de contaminación del aire PM2.5 de la OMS*. <https://www.iqair.com/mx/newsroom/world-air-quality-report-press-release-2022>
- Jamison, D. T., Alleyne, G., Arrow, K. J., Berkley, S., Binagwaho, A., Bustreo, F., Evans, D., Feachem, R. G. A., Frenk, J., Ghosh, G., Goldie, S. J., Guo, Y., Gupta, S., Horton, R., Kruk, M. E., Mohohlo, L. K., Ncube, M., Pablos-Mendez, A., ..., Summers, L. H. (2015). Salud global 2035: un mundo convergiendo en el lapso de una generación. *Salud Pública de México*, 57(5) , 444-467. <https://doi.org/10.21149/spm.v57i5.7625>
- Jiménez, H. L. (2011). Efectos de la contaminación atmosférica por PM10, sobre las consultas a urgencias por enfermedades respiratorias en menores de 15 años y mayores de 60 años y mortalidad general en Cali, durante 2010 y 2011. *Universidad del Valle*.
- Johnson, R. A. y Wichern, D. W. (2014). *Applied multivariate statistical analysis* (6th ed.). Pearson Education.
- Jordan, A. & Lenschow, A. (2010). Policy Paper Environmental Policy Integration: A State of the Art Review. *Environmental Policy and Governance*, 20(3), 147-158.

https://doi.org/10.1002/eet.539?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26medium%3Darticle

Kutner, M., Nachtsheim, C., Neter, J. y Li, W. (2004). *Applied linear statistical models*. McGraw-Hill/Irwin.

Kwan, S. C., Zakaria, S. B., Ibrahim, M. F., Mahiyuddin, W. R. W., Sofwan, N. M., Wahab, M. I. A., Ahmad, R. D. R., Abbas, A. R., Woon, W. K. y Sahani, M. (2023). Health impacts from TRAPs and carbon emissions in the projected electric vehicle growth and energy generation mix scenarios in Malaysia. *Environmental Research*, 216(2). doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114524>

Lahera, E. (1999). *Introducción a las Políticas Públicas*. Comisión Económica para América Latina.

Lai, H. C., Chung, S. M., Li, L. L., Lin, W. Y. y Hsiao, M. C. (2024). Analysis of Air Quality and Health Co-Benefits under. *Aerosol and Air Quality Research*, 24(7). doi:<https://doi.org/10.4209/aaqr.230268>

Lalonde, M. (1974). *A New Perspective on the Health of Canadians*. Ottawa, Canada: Information Canada.

Lara, G. C., Mendoza, S. J. F., López, D. M. G., Tellez, G. R., Martínez, M. W. y Alonso, G. E. M. (2009). *Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana*. Instituto Mexicano del Transporte. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt322.pdf>

Leff, E. (2011). Sustentabilidad y racionalidad ambiental: hacia "otro" programa de sociología ambiental. *Revista Mexicana de Sociología*, 73(1), 5-46. <https://doi.org/10.22201/iis.01882503p.2011.1.23562>

Ley de Coordinación y Cooperación de Servicios Sanitarios en la República [LCCSSR]. Diario Oficial de la Federación. 25 de agosto de 1934. (México).

- Ley de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático para el Estado de Hidalgo [LMAECCEH]. Periódico Oficial del Estado de Hidalgo. 26 de agosto de 2013 (última reforma 2023). (México).
- Ley de Planeación [LP]. Diario Oficial de la Federación. 5 de enero de 1983. (México).
- Ley del Seguro Social [LSS, 73]. Diario Oficial de la Federación. 12 de marzo de 1973. (México)
- Ley del Seguro Social [LSS, 43]. Diario Oficial de la Federación. 19 de enero de 1943. (México).
- Ley del Seguro Social [LSS, 97]. Diario Oficial de la Federación. 21 de diciembre de 1995. (México).
- Ley General del Cambio Climático [LGCC]. Diario Oficial de la Federación. 6 de junio de 2012. (México).
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental [LGEEPA]. Diario Oficial de la Federación. 28 de enero de 1988. (México).
- Ley para la Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo [LPAEH]. Periódico Oficial del Estado de Hidalgo. 16 de febrero de 2015(última reforma 2024).(México).
- Li, J., Wang, C., Abdoli, S., Yuen, A., Kook, S., Yeoh, G. y Chan, Q. (2024). Economic burden of transport related pollution in Australia. *Journal of Transport & Health*, 34. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jth.2023.101747>
- Liang, C., Yuan, J., Tang, X., Kan, H., Caid, W. y Chen, J. (2024). The influence of humid heat on morbidity of megacity Shanghai in China. *Environment International*, 183. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108424>
- Liang, Z., Meng, Q., Yang, Q., Chen, N. y Chuming, Y. (2021). Size-Specific Particulate Matter Associated With Acute Lower Respiratory Infection Outpatient Visits in Children: A Counterfactual Analysis in Guangzhou, China. *Front Public Health*. doi:[doi:10.3389/fpubh.2021.789542](https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.789542)

- Linares, H. J. I. y Moratilla, S. B. Y. (2007). *El hidrógeno y la energía*. Madrid: Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI; Universidad Pontífica Comillas. <https://www.kimerius.com/app/download/5781455897/El+hidr%C3%B3geno+y+la+energ%C3%ADa.pdf>
- Lineamientos Generales para la Operación del Programa de Educación, Salud y Alimentación (PROGRESA). Diario Oficial de la Federación. 24 de febrero de 1999. (México).
- Lizárraga, M. C. (2006). Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI. *Economía, Sociedad y Territorio*, 6(22), 283-321. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11162202>
- Lo Vuolo, R. M. (2014). *Cambio climático, políticas ambientales y regímenes de protección social. Visiones para América Latina*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- López, M. D. C., Henao, P. M. y Aristizábal, T. V. H. (2025). Contaminación ambiental y enfermedades agudas y crónicas del tracto respiratorio alto y bajo. *Luna Azul*(59). doi:DOI:10.17151/luaz.2024.59.5
- López-Arellano, O. y Blanco-Gil, J. (2001). La polarización de la política de Salud en México. *Cuadernos de Salud Pública*, 17(1). doi:<https://doi.org/10.1590/S0102-311X2001000100004>
- Magarolas, R., Mansó, E., Aguilar, X., Radon, K., Nowak, D., Martínez, C., & Morera, J. (2000). Prevalencia y factores de riesgo de síntomas respiratorios en la agricultura y la ganadería. *Medicina Clínica*, 685-689. [https://doi.org/10.1016/S0025-7753\(00\)71403-5](https://doi.org/10.1016/S0025-7753(00)71403-5)
- Martens. W. J. M., Slooff. R. y Jackson. E.K. (1998). El cambio climático, la salud humana y el desarrollo sostenible. *Salud Pública* 4 (2). <https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/1998.v4n2/100-105/es>

- Martín M. R., y Sánchez B. M. (2017). Impacto de la contaminación ambiental en las consultas pediátricas de Atención Primaria: estudio ecológico. *Anales de Pediatría*, 89(2) 80-85. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2017.06.013>
- Martínez, A.J. (2017). Trump retira a EE UU del Acuerdo de Paris contra el cambio climático. *El País*.
- Martínez, M. P. (2022) La ONU pide cobrar impuestos a petroleras. *El Economista*. <https://www.economista.com.mx/economia/COP-27-hacia-la-verdadera-implementation-Financiamiento-pero-con-analisis-de-los-altos-pagos-de-bancos-multilaterales-20221107-0041.html>
- Martínez-Rodríguez, M. C., Campos-Villegas, L. E. y Castillo-Monroy, J. (2021). Metodología para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero: descripción del proyecto de control en una industria productora de cemento,. *Tecnología en Marcha*, 34(3), 177-189. doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v34i3.5313>
- Matus C, P. y Oyarzún G, M. (2019). Impacto del Material Particulado aéreo (MP2.5) sobre las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias en niños: estudio caso-control alterno. *Revista Chilena de Pediatría*, 90(2), 166-174. <http://dx.doi.org/10.32641/rchped.v90i2.750>
- Mejía-Ávila, M. (2024). Las enfermedades pulmonares ocupacionales: un desafío histórico de la medicina respiratoria en México. *Neumonía y Cirugía de Tórax*, s81-s85. <https://dx.doi.org/10.35366/114815>
- Mercado, A. y Fernández, Ó. (1998). La contaminación y las pequeñas industrias en México. *Stato e Mercato*, 23-28.
- Micheli, J. (2002). Política ambiental en México y su dimensión regional. *Región y Sociedad*, 14(23), 129-170. <https://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v14n23/v14n23a5.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente de España. (2009). *Estrategia Española de Calidad del Aire*. <https://salud-ambiental.com/wp-content/uploads/2009/04/estrategia-nacional-de-calidad-de-aire.pdf>

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú. (2020). *Cambio Climático, Calidad del Aire y Transporte*. Perú. <https://changing-transport.org/wp-content/uploads/Guia-de-Transporte-Cambio-Climatico-y-Calidad-de-Aire-SET2020-1.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2023). *Registro Estatal de emisiones y Fuentes Contaminantes*.
- Mohammadi, M., Mohammadi, M., Saloglu, D., Dertli, H., Sargazi-Avval, H. y Ghaffari-Moghaddam, M. (2025). Modeling the effects of air pollution and meteorological variables on mortality from respiratory diseases: insights from the ARDL. *Network Modeling Analysis in Health Informatics and Bioinformatics* , 14(53). doi:<https://doi.org/10.1007/s13721-025-00547-9>
- Molina, J. (1995). Comentarios a la política ambiental. *Cuadernos de Economía*, 42(22) 194-202. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4935050>
- Monsalve, I. F. (2011). Influencia del tiempo y de la contaminación atmosférica sobre enfermedades de los sistemas circulatorio y respiratorio en Castilla-La Mancha. *Universidad de León, Tesis Doctoral*.
- Montero, L. I. L., Vinuesa, V, M. F., Castillo, L. G. A., Ruano, I. D. S. y Martín, B. N. (2020). Afectaciones respiratorias y contaminación ambiental en Riobamba, Ecuador. *Correo Científico Médico*, 24(1), 117-131. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1560-43812020000100117
- Naciones Unidas. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición especial*. New York.
- National Aeronautics and Space Administration. (2024). *¿Cómo sabemos que el cambio climático es real?*. <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/evidencia/>
- National Cancer Institute. (20 de agosto de 2025). *National Cancer Institute, Dictionary of Cancer Terms*. <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/respiratory-disease>

- National Geographic. (6 de septiembre de 2024). *Día Internacional del aire limpio por un cielo azul: cómo los días secos empeoran la calidad de aire y la salud*.
<https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2024/09/dia-internacional-del-aire-limpio-por-un-cielo-azul-como-los-dias-secos-empeoran-la-calidad-del-aire-y-la-salud>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2025). *The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI); An Introduction to NOAA's Annual Greenhouse Gas Index*.
<https://gml.noaa.gov/aggi/aggi.html>; <https://gml.noaa.gov/aggi/>
- Navarrete, P. M., Cortés, M. L. F., Zezatti, F. V. M., Castañeda, M. E. O. y Tlatelpa, B. A. (2025). Una alternativa para mitigar emisiones de CO2 en centrales termoelectricas de México. *Inventio*, 21(53), 1-9. <https://doi.org/10.30973/inventio/2025.21.53/10>
- Neumann, J. E., Anenberg, S. C., Weinberger, K. R., Amend, M., Gulati, S., Crimmins, A., Roman, H., Fann, N. y Kinney, P. L. (2019). Estimates of Present and Future Asthma Emergency Department Visits Associated With Exposure to Oak, Birch, and Grass Pollen in the United States. *GeoHealth*, 3, 11–27.
<https://doi.org/10.1029/2018GH000153>
- Ochoa, M, P, Muños, J. A. y Freyermuth, G. (2020). Mortalidad y Vulnerabilidad ambiental en los municipios de la cuenca y la ribera del Usumacinta del trienio 2014-2016. *Revista pueblos y fronteras digital*, 15.
<https://doi.org/10.22201/cimsur.18704115e.2020.v15.429>
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (2013). *Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI)*. Lima: ONUDO. Obtenido de https://www.unido.org/sites/default/files/2014-04/Lima_Declaration_SP_web_0.pdf
- Organización de las Naciones Unidas . (2015). *Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 20° periodo de sesiones, celebrada en Lima de 1 al 14 de diciembre de 2014*. Lima.

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (22 de junio de 2025). *UNESCO, Salud y educación*. <https://www.unesco.org/es/health-education/nutrition>
- Organización de las Naciones Unidas. (15 de diciembre de 2019). *Termina la COP25 con pocos avances en cuanto a la reducción de emisiones de carbono*. <https://news.un.org/es/story/2019/12/1466671->
- Organización de las Naciones Unidas. (1972). *Declaración de Estocolmo Sobre el Medio Ambiente Humano*. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/TratInt/Derechos%20Humanos/INST%2005.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- Organización de las Naciones Unidas. (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. ONU. Kyoto.
- Organización de las Naciones Unidas. (2 de diciembre de 2018). *COP24: Una conferencia sobre cambio climático ecológica y con perspectiva de género*. <https://news.un.org/es/story/2018/12/1446841#:~:text=COP24%3A%20Una%20conferencia%20sobre%20cambio%20clim%C3%A1tico%20ecol%C3%B3gica%20y%20con%20perspectiva%20de%20g%C3%A9nero,2%20Diciembre%202018&text=La%2024%C2%AA%20Conferencia%20de%20las,la%20limpieza%20del%20medio%20ambiente.>
- Organización de las Naciones Unidas. (2008). *Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 13° periodo de sesiones, celebrado en Bali del 3 al 15 de diciembre de 2007*. Bali.
- Organización de las Naciones Unidas. (2011). *Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 16° periodo de sesiones, celebrado en Cancún del 29 de noviembre al 10 de diciembre de 2010*. Cancún.

- Organización de las Naciones Unidas. (2013). *Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 18º periodo de sesiones, celebrada en Doha del 26 de noviembre al 8 de diciembre de 2012*. Doha.
- Organización de las Naciones Unidas. (2017). *Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 22º periodo de sesiones, celebrado en Marrakech del 7 al 18 de noviembre de 2016*. Marrakech.
- Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 25º período de sesiones, celebrado en Madrid del 2 al 15 de diciembre de 2019*. Madrid.
- Organización de las Naciones Unidas. (2021). *Pacto de Glasgow para el Clima*. Glasgow.
- Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Summary of Global Climate Action at COP 28*. Dubái.
- Organización de las Naciones Unidas. (s.f.) *¿Qué es el Protocolo de Kyoto?*. ONU.
- Organización de las Naciones Unidas. (04 de Abril de 2022). *Noticias ONU. El 99% de la población mundial respira aire contaminado*.
<https://news.un.org/es/story/2022/04/1506592>
- Organización de las Naciones Unidas. (2024). *¿Qué es el cambio climático?*.
<https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
- Organización Meteorológica Mundial. (26 de octubre de 2022). *Se suceden las malas noticias para el planeta: los niveles de gases de efecto invernadero alcanzan nuevos máximos*.
<https://wmo.int/es/news/media-centre/se-suceden-las-malas-noticias-para-el-planeta-los-niveles-de-gases-de-efecto-invernadero-alcanzan>
- Organización Meteorológica Mundial. (28 de octubre de 2024). *Las concentraciones de gases de efecto invernadero se disparan una vez más: nuevo récord en 2023*.
<https://wmo.int/es/news/media-centre/las-concentraciones-de-gases-de-efecto-invernadero-se-disparan-una-vez-mas-nuevo-record-en-2023>

- Organización Mundial de la Salud. (2014). *Directrices de la OMS sobre la calidad del aire de interiores; quema de combustibles en los hogares*. OMS. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/2e006d1a-c14a-4bcd-b263-431287ed0758/content>
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Contaminación del aire y salud*. OMS.
- Organización Mundial de la Salud. (2022). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Organización Mundial de la Salud. (2024). *Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Organización Mundial de la Salud. (2025). *Organización Mundial de la Salud*. <https://www.who.int/es/about>
- Organización Panamericana de la Salud. (2017). *Agenda de Salud Sostenible para las Américas 2018-2030: un llamado a la acción para la salud y el bienestar en la región*. Washington.
- Organización Panamericana de la Salud. (2020). *Cambio Climático y Salud*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.paho.org/es/temas/cambio-climatico-salud>
- Organización Panamericana de la Salud. (2020). *Plan Estratégico de la Organización Panamericana de la Salud 2020-2025*. Washington.
- Organización Panamericana de la Salud. (2021). *La carga de las enfermedades respiratorias crónicas en la Región de las Américas, 2000-2019*. <https://www.paho.org/es/enlace/carga-enfermedades-respiratorias-cronicas>.
- Organización Panamericana de la Salud. (25 de Marzo de 2014). *OMS estima que 7 millones de muertes ocurren cada año debido a la contaminación atmosférica*.

https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=0&lang=es#gsc.tab=0

- Organización Panamericana de la Salud. (s.f). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. OPS
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2025). *OECD Environmental Performance Reviews: Japan 2025*. OCDE.
- Ortega-García, J. A., Martínez-Hernández, I., Boldo, E., Cárceles-Álvarez, A., Solano-Navarro, C., Ramis, R., Aguilar-Ros, E., Sánchez-Solis, M. y López-Hernández, F. (2020). Contaminación atmosférica urbana e ingresos hospitalarios por asma y enfermedades respiratorias agudas en la ciudad de Murcia (España). *Anales de Pediatría*, 93(2), 95-102. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2020.01.012>
- Ortega-García, J., López-Hernández, F., Sobrino-Najul, E., Febo, I., y Fuster-Soler, J. (2010). Medio ambiente y cáncer pediátrico en la Región de Murcia (España): integrando la historia clínica medioambiental en un sistema de información geográfica. *Anales de Pediatría*, 74(4), 255-260. <https://analesdepediatria.org/es-medio-ambiente-cancer-pediatrico-region-articulo-S1695403310005370>
- Ortiz, M. M. (2010). Reducción de las emisiones de CO2 en vehículos de transporte: combustibles alternativos. *Energía & Minas: Revista Profesional, Técnica y Cultural de los Ingenieros Técnicos de Minas*(8), 28-33. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3395287.pdf>
- Padilla, L. (2021). *Antropoceno: Sustentabilidad o extinción ¿fin de la modernidad capitalista?* Universidad para la Paz.
- Pallarés, P. (1988). Las políticas públicas, el sistema político en acción. *Revista de estudios políticos*, 141-162.
- Panduro B. R. (2020). Efectos de la contaminación atmosférica por PM10 y su relación con los efectos en la salud de la población del Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo, Ucayali, 2018. *Universidad Nacional de Ucayali*.

- Peña, D. (2002). *Análisis multivariantes*. Mc Graw Hill.
- Peña-Zarco, F., Gutierrez-Fuentes, A., & Cervantes-Serrano, K. (2020). Contaminación, Causa de las enfermedades respiratorias en Tepeji del Río. *Tepexi Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, 7(3), 41-48. <https://doi.org/10.29057/estr.v7i13.5095>
- Pérez, C. (2004). *Técnicas de análisis multivariante de datos. Aplicaciones con SPSS*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Pérez, C. J. (2010). La política ambiental en México: Gestión e instrumentos económicos. *El Cotidiano*, 162, 91-97. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32513882011>
- Pérez, M. O. (2017). Influencia de los factores ambientales en el número de ingresos cardiovasculares en Galicia.
- Plan Estatal de Desarrollo 2022-2028. Periódico Oficial del Estado de Hidalgo. 2 de enero de 2023. (México)
- Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Diario Oficial de la Federación. 12 de julio de 2019. (México).
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2022). *The Closing Window. Climate crisis calls for rapid transformation of societies*. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/es/resources/informe-sobre-la-brecha-de-emisiones-2022>
- Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024. Diario Oficial de la Federación. 8 de noviembre de 2021. (México).
- Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Hidalgo [PEACC]. Periódico Oficial del Estado de Hidalgo. (2013).
- Programa Nacional de Salud 2001-2006. Diario Oficial de la Federación. 21 de septiembre de 2001. (México).

- Quintana, S. F. (2023). La crisis ambiental global. *Anuario Mexicano de Asuntos Globales*, 1(1), 739-74. <https://doi.org/10.59673/amag.v1i1.43>
- Rahman, M. M., Garcia, E., Lim, C. C., Ghazipura, M., Alam, N., Palinkas, L. A., McConnell, R. y Thurston G. (2022). Temperature variability associations with cardiovascular and respiratory emergency department visits in Dhaka, Bangladesh. *Environment International*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107267>
- Ramirez-Rembao, M., Rojas, R. I. y García-Cueto, R. (2009). Influencia de los contaminantes atmosféricos en las infecciones respiratorias agudas en Mexicali-Baja California, México. *Información Tecnológica*, 20(3), 89-100. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642009000300011>
- Ramirez-Sanchez, H. U., Andrade-García, M. D., González-Castañeda, M. E., & Celis-de la Rosa, A. J. (2006). Contaminantes atmosféricos y su correlación con infecciones agudas de las vías respiratorias en niños de Guadalajara, Jalisco. *Salud Pública de México*, 48(5), 385-394. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342006000500005
- Reyes, H. F., Cuesta, S. O., González, C. R., Palacio, I. D. y Guzmán, V. M. (2023). Incidencia de los contaminantes atmosféricos sobre enfermedades respiratorias en zonas de 2 municipios de La Habana en el trienio 2015 - 2017. *Revista Cubana de Meteorología*, 29(4). <https://cu-id.com/2377/v29n4e02>
- Rivera, P. M. (2013). Relación entre contaminación atmosférica y consultas médicas hospitalarias debido a enfermedad respiratoria en menores de 5 años en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) entre el 2004 y el 2011. *Instituto Nacional de Salud Pública*.
- Rodriguez-Camargo, L. A., Sierra-Parada, R. J. y Blanco-Becerra, L. C. (2020). Análisis espacial de las concentraciones de PM2.5 en Bogotá según los valores de las guías de la calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud para enfermedades

cardiopulmonares, 2014-2015. *Biomédica*, 40(1) 137-152.
<https://doi.org/10.7705/biomedica.4719>

Romero-Placeres, M., Más-Bermejo, P., Lacasaña-Navarro, M., Rojo-Solís, M. M. T., Aguilar-Valdés, J. y Romieu, I. (2014). Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad, de La Habana. *Salud Pública*, 46(3), 18-27. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342004000300012

Ruiz, A. T. (2022). Influencia de la contaminación ambiental sobre las agudizaciones del asma bronquial en un área de Baja Contaminación. *Universidad de Valladolid, Tesis Doctoral*.

Salcido, A., Celada, M. A.T., Tamayo-Flores. G. A., Hernández , F. N., Carreón , S., Martínez, F. M. A. y Colín, A. A. L. (2019). Calidad del aire y monitoreo atmosférico. *Revista Digital Universitaria*, 20(3).
[doi:http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n3.a3](http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n3.a3)

Sarmiento, R., Hernández, L. J., Medina, E. K., Rodríguez, N. y Reyes J. (2015). Síntomas respiratorios asociados con la exposición a la contaminación del aire en cinco localidades de Bogotá, 2008-2011, estudio en una cohorte dinámica. *Biomédica*, 35(2), 167-176. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84340725017>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Hidalgo y Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. (2018). *Compromiso de todos: Ruta de acción ante el Cambio Climático*. Gobierno del Estado de Hidalgo. Recuperado de https://www.academia.edu/36313501/COMPROMISO_DE_TODOS_Ruta_de_acci%C3%B3n_ante_el_Cambio_Clim%C3%A1tico

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (11 de diciembre de 2016). *Protocolo de Kioto sobre cambio climático*. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/protocolo-de-kioto-sobre-cambio->

sustentables de la vivienda y la transformación urbana (págs. 157-180). doi:DOI: 10.2307/j.ctvjhzr6s.10

Simon, F. y Bustamante, W. (2024). Recomendaciones para reducir la contaminación del aire debido al uso de leña en viviendas. *Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, Santiago*.(33). doi:<https://doi.org/10.7764/cedeus.dpp.33>

Solarte, P. I.O, Caicedo , M. y Restrepo, S. (2002). Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá. *Médica Sanitas*, 5(2). https://isfcolombia.uniandes.edu.co/images/documentos/20110628-lec.ad.articulo_estudio_ivan_solarte.pdf

Solórzono, C. J. J., Vera, B. J. S. y Buñay, C. J. P. (2022). Crecimiento económico y medio ambiente. *Revista científica de investigación actualización del mundo de las ciencias*, 6(1), 203-212. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.\(1\).enero.2022.203-212](https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.(1).enero.2022.203-212)

Swann, W., Brixey, E. & Wöhler, W. (2019). Linking local sustainability policies to health outcomes: An analysis of the urban sustainability-health nexus. *Journal of Urban Affairs*, 43-(7), 1010-1027. <https://doi.org/10.1080/07352166.2019.1638268>

Taghizadeh-Hesary, F., Rasoulinezhad, E., Yoshino, N., Chang, Y., Taghizadeh-Hesary, F. y Morgan, P. J. (2021). The energy-pollution-health nexus: a panel data analysis of low- and middle-income asian countries. *The Singapore Economic Review*, 66(2), 435-455. <https://doi.org/10.1142/S0217590820430043>

Taha, H. A. (2012). *Investigación de Operaciones*. Arkansas: Pearson.

The Nobel Prize. (9 de marzo de 2003). *Nobel Prize Outreach 2023, Svante Arrhenius, Facts*. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1903/arrhenius/facts/>

The United Nations Environment Programme, (s.f). *Perspectiva Ambiental hasta el año 2000 y más Adelante*. ONU. https://digitallibrary.un.org/record/98332/files/Environmental_Perspective_2000_Beyond_S.pdf

- Thierauf, R. J. (1982). *An introductory approach to operations research*. R. E. Krieger Publishing Company.
- Tobasura, A. I. (2006). La Política Ambiental en los Planes de Desarrollo en Colombia 1990-2006. Una visión crítica. *Luna Azul*(22), 8-19. <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321727224002.pdf>
- U.S. Environmental Protection Agency. (22 de noviembre de 2024). *Gases de efecto invernadero de la industria*. <https://www.epa.gov/inflation-reduction-act/gases-de-efecto-invernadero-de-la-industria#footnote1>
- U.S. Environmental Protection Agency. (31 de marzo de 2025). *Emisiones del sector industrial*. <https://www.epa.gov/ghgemissions/industry-sector-emissions>
- Unión Europea. (2025). *Infraestructura verde*. Unión Europea. https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/green-infrastructure_en
- Universidad de la Sierra Sur. (s.f.). *Gestión y Políticas en Salud*. <https://www.unsis.edu.mx/ciiissp/gestion%20y%20politicasy%20en%20salud.html>
- Vargas-Alzate, L. y Velázquez, G. J. (2014). El surgimiento de la política global ambiental. *Opera*, 15, 107-125. <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/opera/article/view/3966/4267>
- Vargas-Hernández, J. G. (2008). Economía política ambiental global e internacional. *Ra Ximhai*, 4(1), 83-118. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46140106>
- Ventura Canaviri, N., Morales Ojeda, I. y Gelabert Santané, R. (2020). Contaminación atmosférica y enfermedades respiratorias en Cochabamba, Bolivia. *Revista Cuidarte*, 11(1). <https://doi.org/10.15649/cuidarte.870>
- Vishal, D. (5 de Mayo de 2023). *Los niveles de contaminación atmosférica en Europa ponen en riesgo la salud de los niños*. Diario Responsable.
- Wickham, H. & Grolemond, G. (2016). R for Data Science. *O'Reilly Media*, 118-131.

- World Economic Forum. (2024). *The Global Risks Report 2024*. World Economic Forum.
https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2024.pdf
- Zamora-Ramírez, M. G., Latournerie-Cerino, M. E, Sánchez-López, A. R., González-Ramos, I. A. y Bustamante-Montes, L. P. (2020). El impacto del cambio climático en la prevalencia del dengue en México. *Salud Jalisco*, 7(3), 156-163.
- Ziska, L. H., Gebhard, D., Frenz, D. A., Faulkner, S., Singer, B. D. y Straka, J. G. (2003). Cities as harbingers of climate change: common ragweed, urbanization, and public health. *The Journal of allergy and clinical immunology*, 111(2), 290-295.
<https://doi.org/10.1067/mai.2003.53>

ANEXO

CÓDIGO

```
#####-----Modelamiento-----#####
```

```
library(psych)
```

```
library(corrplot)
```

```
library(tseries)
```

```
library(lmtest)
```

```
library(car)
```

```
library(nortest)
```

```
library(MASS)
```

```
library(faraway)
```

```
library(forecast)
```

```
library(moments)
```

```
library(readxl)
```

```
library(dplyr)
```

```
library(ggplot2)
```

```
library(GGally)
```

```
library(Hmisc)
```

```
library(corrplot)
```

```
library(PerformanceAnalytics)
```

###---Variables---###

#Y1 = Infecciosas

#Y2 = Covid

#Y3 = Otras enfermedades

#G1 = Particulas por millón

#G2 = Dióxido de azufre

#G3 = Dióxido de carbono

#G4 = Óxido nítrico y Dióxido nitrógeno

#G5 = Metano

#G6 = Óxido de nitrógeno

#X1 = Sector (1 = Primario, 2 = Secundario, 3 = Terciario)

#X2 = Municipio (1 = ATI, 2 = ATO, 3 = TLAH, 4 = TLAX, 5 = TULA)

#####Trasformado la base a matriz#####

Y1 = base\$Y1

Y2 = base\$Y2

Y3 = base\$Y3

G1 = log(1+(base\$G1))

G2 = sqrt(1+(base\$G2))

G3 = log(1+(base\$G3))

G4 = sqrt(1+(base\$G4))

```

G5 = log(1+(base$G5))
G6 = sqrt(1+(base$G6))
X1 = base$X1
X2 = base$X2

matriz=cbind(Y1, Y2, Y3, G1, G2, G3, G4, G5, G6, X1, X2)

matriz

#Matriz Correlación
chart.Correlation(matriz, histogram = F, pch = 19)

###---ESCALAMIENTO MULTIDIMENCIONAL

library(magrittr)
library(dplyr)
library(ggpubr)

matriz1=cbind(G1, G2, G3, G4, G5, G6)

matriz1

#--Estaradizando los datos

provMap_s=scale(matriz1)

provMap_s

```

```

#--Creando grupos de variables

print(cor(matriz1),2)

X=(as.dist(1-cor(matriz1),2))

X

par(mfcol=c(1,1))

plot(hclust(as.dist(1-cor(matriz1))),main="Dendograma de gases")#dendograma

D= (1-cor(matriz1))

D

corrplot(D, method="number", type="upper")

#--Obteniendo distancias

provMap_d=dist(provMap_s)

provMap_d

provMap_r=cmdscale(provMap_d,eig=TRUE, k=3)

provMap_r

#--coordenadas

A3=provMap_r$points

A3

#--Cumplimiento de supuestos

```

```

summary(A3) #Valor esperado

C=cor(A3)

corrplot(C, cex = 1.2 , main ="Matriz de correlación")

V=var(A3)

V

corPlot(V, cex = 1.2, main = "Matriz de varianza y covarianzas")

#---Nombrando las dimensiones

IGQF=A3[,1] #--Indicador de Gasas de Quema de Combustibles fósiles

IGPQ=A3[,2] #--Indicador de Gases de Producción Quimica

IGCT=A3[,3] #--Indicador de Gases de Concentración de C02

Matriz2 = cbind(Y1,Y2,Y3,IGQF,IGPQ,IGCT,X1,X2)

Matriz2

#Matriz Correlación

chart.Correlation(Matriz2, histogram = F, pch = 19)

# --- Modelo de infecciones:  $Y1 = f(IGQF, IGPQ, X1)$ 

# --- Modelo de covid:  $Y2 = f(IGQF, IGPQ, X1)$ 

# --- Modelo de otras enfermedades:  $Y3 = f(IGQF, IGPQ, X1)$ 

```

```
##--CORRELACIÓN CANONICA
```

```
library(CCA)
```

```
library(MVN)
```

```
library(CCP)
```

```
library(candisc)
```

```
Matriz3 = cbind(Y1,Y2,Y3,IGQF,IGPQ,X1)
```

```
Matriz3
```

```
##-explorando datos
```

```
head(Matriz3)
```

```
##-separando los conjuntos X e Y
```

```
X = Matriz3[,c("IGQF","IGPQ","X1")]
```

```
Y = Matriz3[,c("Y1","Y2","Y3")]
```

```
##-correlación canónica
```

```
matcor(X,Y)$XYcor
```

```
##-normalidad multivariada para X
```

```
mvn(data = as.data.frame(X), univariateTest = "SW")$univariateNormality
```

```
mvn(data = as.data.frame(X), mvnTest = "hz")$multivariateNormality
```

```

#--normalidad multivariada para Y

mvn(data = as.data.frame(Y), univariateTest = "SW")$univariateNormality

mvn(data = as.data.frame(Y), mvnTest = "hz")$multivariateNormality

#--construcción de parámetros

cca1 = cancor(X,Y)

cca1

cca1$cor

# Evaluar significancia de las correlaciones canónicas

p.asym(cca1$cor, nrow(X), ncol(X), ncol(Y))

#--visualización de la relación canónica

data = cbind(X, Y)

data

modelo = lm(cbind(Y1, Y2, Y3) ~ 0+IGQF+IGPQ+X1, data = as.data.frame(data))

summary(modelo)

candisc_result = candisc(modelo)

plot(candisc_result, which = 1)

```