

**LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias
Sociales y Humanidades, Asunción, Paraguay.**

ISSN en línea: 2789-3855, 2025, Volumen VI

Modelamiento de enfermedades respiratorias en función de gases efecto invernadero

Modeling respiratory diseases based on greenhouse gases

Araceli Cruz Reyes

cr232543@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7697-9687>

Universidad Autónoma del Estado de
Hidalgo

Pachuca de Soto – México

Erik Gerardo Jiménez Proa

erik_jimenez10371@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0009-9164-2167>

Universidad Autónoma del Estado de
Hidalgo

Pachuca de Soto – México

Juan Bacilio Guerrero Escamilla

juan_guerrero9464@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-00002-0971-7564>

Universidad Autónoma del Estado de
Hidalgo

Pachuca de Soto – México

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4699>

Artículo recibido: 03 de julio de 2025

Aceptado para publicación: 24 de octubre de
2025.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.


Redilat
Red de Investigadores
Latinoamericanos

NÚMERO

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4699>

Modelamiento de enfermedades respiratorias en función de gases efecto invernadero

Modeling respiratory diseases based on greenhouse gases

Araceli Cruz Reyes¹

cr232543@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7697-9687>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Pachuca de Soto – México

Erik Gerardo Jiménez Proa

erik_jimenez10371@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0009-9164-2167>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Pachuca de Soto – México

Juan Bacilio Guerrero Escamilla

juan_guerrero9464@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-00002-0971-7564>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Pachuca de Soto – México

Artículo recibido: 03 de julio de 2025. Aceptado para publicación: 24 de octubre de 2025.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

Desde organismos internacionales se ha señalado el efecto en las enfermedades respiratorias del ser humano que tiene la excesiva emisión de gases efecto invernadero de origen antropogénico, por lo que se ha priorizado en la agenda pública como un problema de atención prioritaria. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, las infecciones agudas en vías respiratorias bajas y los cánceres de pulmón se encuentran entre las principales causas de muertes prematuras relacionadas a la contaminación ambiental. Mediante la presente investigación se demuestra la incidencia que tienen los gases efecto invernadero en las enfermedades respiratorias clasificadas como infecciones respiratorias agudas (Y1), Covid-19 (Y2) y otras enfermedades respiratorias (Y3). Para el análisis, las variables correspondientes a los gases han sido transformadas en dimensiones y se ha realizado mediante el escalamiento multidimensional y la construcción de un modelo matemático de correlación canónica, basado en la metodología de la investigación de operaciones. Las relaciones canónicas muestran una correspondencia significativa entre el incremento en la emisión de los gases y el registro de enfermedades respiratorias en la zona de estudio, impactando principalmente en la incidencia de infecciones respiratorias agudas.

Palabras clave: regresión canónica, enfermedades respiratorias, gases efecto invernadero


Abstract

International organizations have indicated the impact on human respiratory diseases caused by excessive anthropogenic greenhouse gas emissions, which is why it has been prioritized on the public agenda as a priority issue. According to the World Health Organization, chronic obstructive pulmonary

¹ Autora de correspondencia.

disease, acute lower respiratory tract infections, and lung cancer are among the leading causes of premature death related to environmental pollution. This research demonstrates the impact of greenhouse gases on respiratory diseases classified as acute respiratory infections (Y1), Covid-19 (Y2), and other respiratory diseases (Y3). For the analysis, the variables corresponding to the gases have been transformed into dimensions and carried out through multidimensional scaling enfermedades respiratorias agudas and the construction of a canonical correlation mathematical model, based on the methodology of operations research. Canonical relationships show a significant correlation between the increase in gas emissions and the incidence of respiratory diseases in the study area, primarily impacting the incidence of acute respiratory infections.

Keywords: canonical regresión, respiratory diseases, greenhouses gases

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons. 

Cómo citar: Cruz Reyes, A., Jiménez Proa, E. G., & Guerrero Escamilla, J. B. (2025). Modelamiento de enfermedades respiratorias en función de gases efecto invernadero. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 6 (5), 1699 – 1723. <https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4699>

INTRODUCCIÓN

Desde el contexto internacional

Las enfermedades respiratorias son también consecuencia de los gases efecto invernadero (GEI), desde organismos internacionales se ha visibilizado al cambio climático como una emergencia global pues afecta el bienestar de las personas, generando una amenaza a la que debe responderse de forma progresiva y eficaz, desde los mejores conocimientos científicos disponibles, bajo este contexto, el Acuerdo de París pretende mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2°C con respecto a los niveles preindustriales, además de aumentar la capacidad de adaptación a los efectos del cambio climático a través de la resiliencia al clima, acompañado de un desarrollo con bajas emisiones de GEI y centrando los esfuerzos en reducir al máximo las emisiones antropogénicas (Naciones Unidas, 2015). Los GEI son causantes de afecciones en la salud humana de forma directa, en el que la salud respiratoria se ve afectada, debido a las morbilidades que en particular cada compuesto causa y agrava, sin embargo, su efecto también es de forma indirecta pues generan variaciones extremas en la temperatura y de acuerdo a la literatura existente estas variaciones llegan tener influencia en el comportamiento de ciertas afecciones, como son las enfermedades respiratorias. En este sentido se encuentra un estudio realizado en Seoul, en el que analizando el impacto de la exposición a la temperatura en las visitas a urgencias por enfermedades respiratorias, se subraya el impacto significativo que tiene la exposición tanto al frío como al calor en diferente intensidad y perfiles de riesgo en los grupos poblacionales (Lee y Yoon, 2024), en el mismo tenor, desde instancias especializadas en el tema se refuerza este hecho, pues de acuerdo al grupo de expertos del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (2023), el aumento de los episodios de calor extremo ha causado en todas las regiones mortalidad y morbilidad, además de que se ha observado el impacto adverso del cambio climático sobre la salud en las áreas urbanas. La contaminación del ambiente puede modificar las características naturales de la atmósfera, crear posibles consecuencias negativas sobre el calentamiento global y la salud; entre los contaminantes que mayormente impactan a la salud pública son las partículas, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre, a pesar de que todo el mundo está expuesto a ellas, su exposición varía de forma significativa entre poblaciones, condiciones ambientales y zonas geográficas (Organización Panamericana de la Salud, s.f.).

El problema generado por los GEI y su presencia en la atmósfera traducido en contaminación ambiental ha generado un gran impacto no solo en la morbilidad, también en las tasas de mortandad pues de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2024), la contaminación del aire ambiente en ciudades y zonas rurales es causante de muertes prematuras, por enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cánceres a causa de la exposición de material particulado fino, según estimaciones de 2019, el 99% de la población radica en zonas que superan las directrices de calidad del aire recomendadas por la OMS, el 14% de las muertes prematuras relacionadas a la contaminación ambiental se debieron a causa de enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, y 14% a causa de infecciones agudas en vías respiratorias bajas, en tanto el 4% fue a causa de cánceres de pulmón, impactando en mayor medida a poblaciones de países de ingreso bajo y mediano. Aunque la emisión de GEI se da en forma natural a la atmósfera, es la actividad antropogénica la que ha disparado la emisión de los mismos. Durante 2019, las principales fuentes de emisión de GEI correspondieron a la generación de energía eléctrica con el 23% del total, autotransporte con 18.5% y de la fermentación entérica y manejo de excretas de bovinos con un 13.2% (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2022).

Relevancia

El impacto generado por los GEI en la salud respiratoria debe tomarse como un tema prioritario en las agendas públicas en todos los órdenes de gobierno. Son consideradas como enfermedades

respiratorias aquellas que afectan las vías respiratorias en lo que se incluye fosas nasales, bronquios y pulmones, se contemplan dentro de la clasificación a infecciones respiratorias agudas, enfermedades respiratorias crónicas, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y cáncer de pulmón, la carga de enfermedad se agrava debido a determinante como la exposición intensa a la contaminación atmosférica en interiores y exteriores y factores socioeconómicos intervienen en el aumento de su prevalencia y gravedad (World Health Organization, 2025), tras pasar por una emergencia sanitaria pandémica el Covid-19 es considerado para los efectos de este estudio, que plantea la necesidad de establecer la relación que guarda la emisión de GEI con los registros de enfermedades respiratorias en un área de estudio en específico.

El análisis de correlación canónica (CCA) es un modelo estadístico multivariante que tiene por objeto correlacionar simultáneamente varias variables dependientes métricas y varias variables métricas independientes, a diferencia de la regresión múltiple, la correlación canónica implica múltiples variables dependientes y se desarrolla bajo el principio de desarrollar una combinación lineal de cada conjunto de variables para maximizar la correlación entre ambos conjuntos (variables dependiente y variables independientes), es decir, busca la correlación única máxima entre los conjuntos de variables; referente a los datos con los que se trabaja, la correlación canónica establece el menor número de restricciones (Hair, Anderson, Tatham y Black, 1999). El resultado de la relación canónica oscila entre 0 y 1, por lo que un valor cercano a 0 indica la imposibilidad de explicar la existencia de ambos grupos mediante las variables discriminantes seleccionadas, mientras que un valor cercano a 1 refiere una fuerte relación entre los grupos de pertenencia y los puntajes hallados por la función discriminante (De la Garza, Morales y González, 2013), para el desarrollo del estudio se han tomado como variables independientes seis compuestos considerados como gases efecto invernadero y tres variables independientes en las que se agrupan diversas enfermedades respiratorias. El área de estudio corresponde a la Zona Metropolitana de Tula (ZMT), ubicada al suroeste del estado de Hidalgo, considerando datos correspondientes al año 2022.

Definición espacial del problema

La Zona Metropolitana de Tula fue reconocida desde 2001 hasta 2023 como la conurbanidad integrada por los municipios de Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tlaxcoapan, Tlahuelilpan y Tula de Allende, debido a su ubicación estratégica y diversas vías de comunicación, además ha tenido un desarrollo económico de suma importancia para la región centro del país. Sus principales actividades económicas pertenecen al sector primario y secundario: el 7.70% de su población ocupada realiza actividades del sector primario que contempla agricultura, ganadería, silvicultura, pesca y caza, en tanto el 35.77% de la población ocupada en la ZMT se desempeña en el sector secundario que comprende la extracción de petróleo y gas, industria manufacturera, electricidad, agua y construcción (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017). En la ZMT confluyen cuerpos de aguas negras, se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas, además de las industrias asentadas en la región entre las que se encuentran industrias mineras, cementeras, de plásticos y hules, farmacéuticas, químicas y agroquímicas, metalúrgicas y cementeras, además de tener asentada una refinería perteneciente a la paraestatal PEMEX quien también cuenta con una central eléctrica en su interior y una central termoeléctrica perteneciente a la Comisión Federal de Electricidad, sin dejar atrás el desarrollo de la actividad de servicios; el desarrollo económico de la ZMT es responsable en gran parte de la emisión excesiva de GEI a la atmósfera. De acuerdo a datos oficiales, durante mayo de 2025, la refinería procesó 216.156 miles de barriles diarios (Petróleos Mexicanos [PEMEX], 2025), por su parte, la central termoeléctrica Francisco Pérez Ríos identificada como del municipio de Tula de Allende, que trabaja con tecnología termoeléctrica convencional, y la central eléctrica del sector privado de Refinería Miguel Hidalgo con tecnología termoeléctrica convencional/cogeneración a 2022 representaron una capacidad instalada de 1606 MW (megavatios) termoeléctrica convencional producida en el estado de Hidalgo (Secretaría de Energía, 2023). Desde el ámbito periodístico, académico y social se ha señalado

constantemente la excesiva emisión de contaminantes en la ZMT y la preocupación por sus efectos en la salud de los habitantes de la región, particularmente por la mala calidad del aire que se respira en la zona.

METODOLOGÍA

En este estudio se trabaja con las variables “gases efecto invernadero”, “sector económico” y “número de habitantes”, las cuales 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 técnica de análisis de correlación canónica, se trata de una técnica que analiza la relación entre múltiples variables dependientes y varias variables independientes, ambas de naturaleza métrica, su objetivo primordial es utilizar las variables independientes (cuyos valores son conocidos) para predecir las variables criterio (dependientes) (Pérez, 2004)

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).

Para el análisis se han considerado datos sobre emisiones de GEI en los cinco municipios que integran la ZMT, obtenidos mediante el Laboratorio de Análisis Territorial, Ambiente y Ciencias de Datos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), así mismo se han considerado los registros de enfermedades respiratorias durante 2022 en los municipios sujetos a estudio

Para la construcción de los modelos probabilísticos se sustenta en la Metodología de Investigación de Operaciones, la cual debe cumplir cinco etapas (Thrierauf, 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 ($X_i, i = 1, 2, 3... k$). Lo que permitirá a partir del análisis de los parámetros obtenidos atender el problema desde una perspectiva multidisciplinaria.

Delimitación del problema

La Zona Metropolitana de Tula, 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, en los municipios que integran la Zona, los problemas de salud de la población han percibido un aumento, particularmente en vías respiratorias (tabla 1).

Tabla 1

Enfermedades respiratorias asociadas a los Gases Efecto Invernadero

Gas contaminante	Enfermedades respiratorias
Material particulado (PM2.5 y10)	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, se han encontrado relaciones significativas entre los niveles de contaminación ambiental y las enfermedades del sistema respiratorio considerando enfermedades respiratorias, enfermedad COVID 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:

$$Y1 + Y2 + Y3 = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 X7 + X8 + X9$$

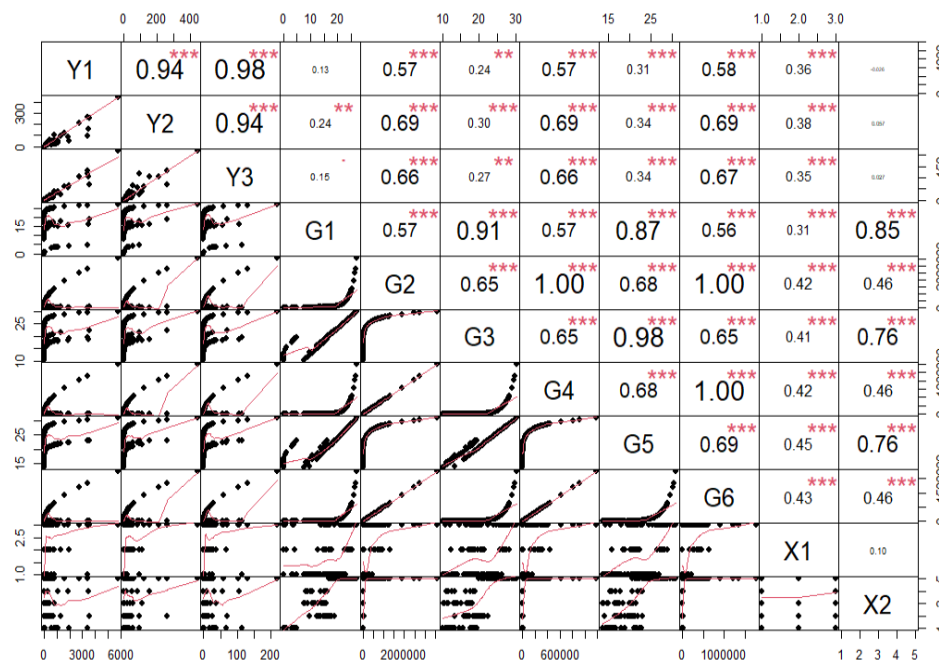
Donde:

- Y1 son las Infecciones respiratorias agudas
- Y2 Covid-19
- Y3 Otras enfermedades respiratorias
- X1 Sector económico (Primario, Secundario y Terciario)
- X2 Municipio
- X3 Población

- X4 Material particulado (PM)
- X5 Dioxido de azufre (SO2)
- X6 Dióxido de carbono (CO2)
- X7 Óxidos de nitrógeno (NOx)
- X8 Metano (CH4)
- X9 Óxido nitroso (N2O)

Gráfico 1

Matriz correlación



Fuente: elaboración propia

El gráfico 1 muestra el análisis realizado en donde 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 (X1) y con las variables dependientes IRA's (Y1), Covid-19 (Y2) y con Otras enfermedades respiratorias (Y3). También se mantiene como no significativa la relación entre Material Particulado (G1) e IRA's (Y1).

Formulación del modelo de 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 x n de distancias entre los n elementos (Cuadras, 2014). 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.

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

De forma que:

Ω = 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:

$$\Delta(i,i) = 0 \text{ para todo } i.$$

$$\delta(i,j) = \delta(j,i) \geq 0 \text{ para todo } i, j.$$

$$\delta(i,j) \leq \delta(i,k) + \delta(j,k) \text{ para todo } i, j, k \text{ (desigualdad triangular).}$$

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):

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

Donde:

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

Siendo:

$$x'_i = (x_{i1}, \dots, x_{ip}), \quad i = 1, \dots, n, \tag{3}$$

Tal que:

$$\delta_{ij}^2 = \sum_{\alpha=1}^p (x_{i\alpha} - x_{j\alpha})^2 = (x_i - x_j)'(x_i - x_j) \tag{4}$$

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).

La matriz con los datos estandarizados se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

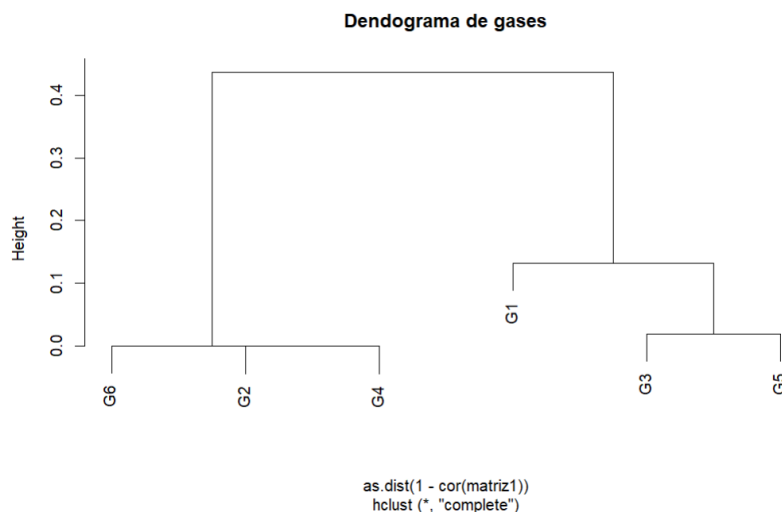
Matriz de datos estandarizados

No.	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	-1.549772471	-0.521956221	-0.303766233	-0.509638096	0.039985930	-0.466315354
2	-1.477854007	-0.521643701	-0.201670770	-0.504839902	0.160882410	-0.445965102
3	-1.640645920	-0.522246045	-0.433352295	-0.514087877	-0.113463580	-0.485187899
4	-1.666581404	-0.522311117	-0.470020887	-0.515086919	-0.156884740	-0.489425062
5	-1.624831268	-0.522200600	-0.409755626	-0.513390114	-0.085521550	-0.482228522
6	-2.120948649	-0.522913466	-1.798509780	-0.524335830	-1.730022420	-0.528651976
...
...
...
139	1.047540434	0.973763742	1.201850478	0.973118552	1.252786180	0.971023085
140	0.583357547	-0.268070954	0.552454872	-0.269558072	0.483803510	-0.274179449
141	0.507569995	-0.332044915	0.446427474	-0.333575405	0.358251030	-0.338326906
142	0.451530942	-0.368776403	0.368028386	-0.370331795	0.265414640	-0.375158009
143	0.278245218	-0.443325464	0.125600257	-0.444931398	-0.021656940	-0.449909246
144	0.096498326	-0.483127772	-0.128665121	-0.484760691	-0.322745630	-0.489819497

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 2

Dendograma de gases



Fuente: elaboración propia.

El gráfico 2 muestra el agrupamiento de las variables, jerarquizando sus valores de acuerdo a los valores de la matriz correlación. Con ello se establecen tres nuevas dimensiones.

Nombramiento de las dimensiones

Dimensión 1 -> Indicador de Gases de Quema de Combustibles Fósiles = IGQF

Dimensión 2 -> Indicador de Gases de Producción Química = IG PQ =

Dimensión 3 -> Indicador de Gases de Concentración de CO₂ = IGCT

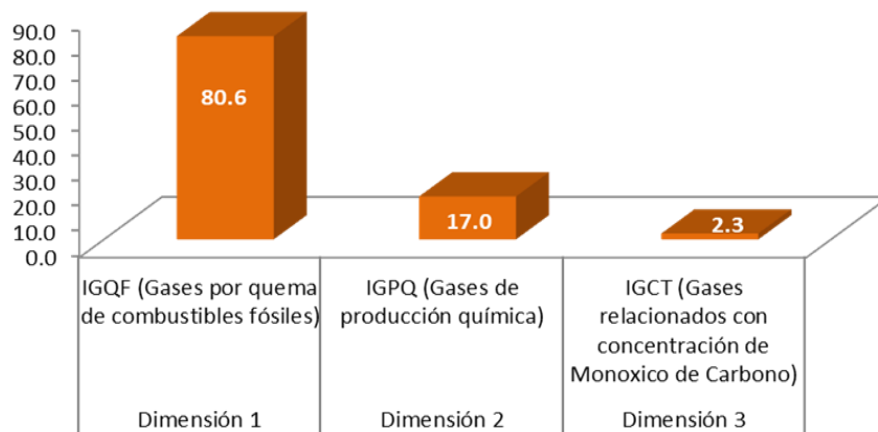
De tal manera, que IGQF + IG PQ + IGCT son dimensiones que producen efectos negativos; es decir, la forma en que estos aumenten, las infecciones respiratorias graves aumentarán.

En la Figura 3 se observa el grado de peso que tienen las dimensiones creadas, el Indicador de Gases de Quema de Combustibles Fósiles se presenta como el de mayor peso.

Gráfico 3

Grado de peso de las dimensiones

Fuente: elaboración propia.



Formulación del modelo de correlación canónica

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

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

Variables independientes

- X1 Sector económico
- IGQF (Gases por quema de combustibles fósiles)
- IG PQ (Gases de producción química)

La expresión general de la correlación canónica se presenta como:

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 = X_16 + IGQF + IGPQ \quad (5)$$

De forma que:

$$Y_1 = f(IGQF, IGPQ, X_1) \quad (6)$$

$$Y_2 = f(IGQF, IGPQ, X_1) \quad (7)$$

$$Y_3 = f(IGQF, IGPQ, X_1) \quad (8)$$

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)

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:

- Determinar si dos conjuntos de variables, son independientes uno de otro ó, inversamente, determinar la magnitud de las relaciones que pueden existir entre los dos conjuntos.
- 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.
- 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).

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 homosteacididad 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:

$$G(y_1, y_2, \dots, y_n) = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (9)$$

Ecuaciones canónicas:

$$W_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p \quad (10)$$

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

Con lo que se estima:

$$a_{11}, \dots, a_{1p} \text{ y } b_{11}, \dots, b_{1q} \quad (11)$$

Tal que C_1 es máximo

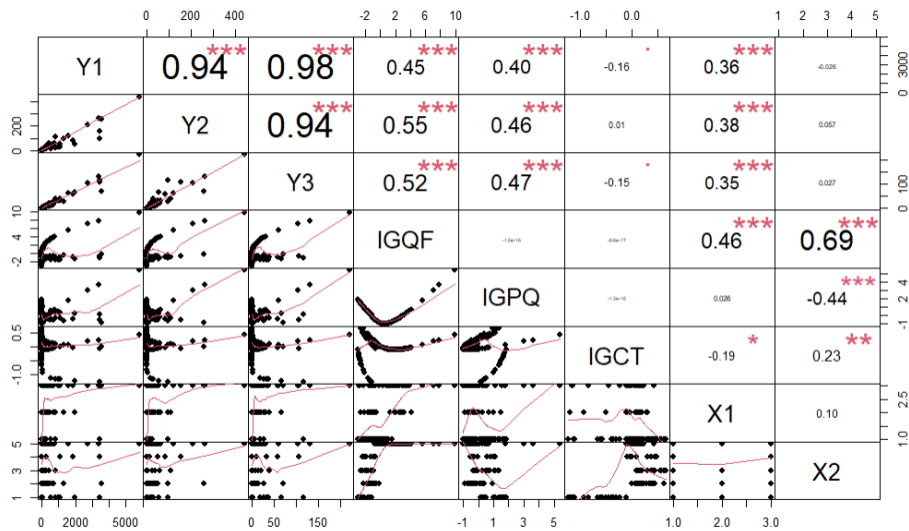
Donde:

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

En la figura 6, se observa que las variables independientes Y1 (Infecciones Respiratorias Agudas "IRA", Y2 (COVID-19), y Y3 (Otras enfermedades respiratorias "OER"), 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 indicadores 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 asentado en su territorio una refinería, una termoeléctrica, industrias 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 Y1, Y2 y Y3, están relacionadas con la variable dependiente X1 (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.

Gráfico 4

Matriz de correlación



Fuente: elaboración propia.

El gráfico 4 muestra el nivel de correlación entre las variables dependientes y las variables independientes, entre las que se encuentran las nuevas dimensiones creadas.

RESULTADOS

La salida de R, de la variable dependiente Y1 (Infecciones respiratorias agudas) es explicada por las variables independientes: IGQF, IGPQ y X1, se interpreta lo siguiente (Figura 5):

Los tres coeficientes son significativos, pues son menores a ($p < 0.001$) (Kutner, Nachtsheim, Neter, & Li, Applied linear statistical models, 2004).

Se puede ver que la variable IGQF tiene un coeficiente² de 131.34, es decir, por cada unidad que aumente IGQF, Y1 aumentará en promedio 131.34 unidades, manteniendo IGPQ y X1 constantes.

La variable IGPQ tiene un coeficiente de 319.22, por cada unidad que aumenta IGPQ, Y1 aumenta en promedio 319.22 unidades, manteniendo IGQF y X1 constantes.

La variable X1 tiene un coeficiente de 186.67, por cada unidad que aumenta X1, Y1 aumenta en promedio 186.67 unidades, manteniendo IGQF e IGPQ constantes.

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 Indicador de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF), Indicador de gases por producción química (IGPQ) y el sector económico (X1).

² Los coeficientes representan el cambio esperado en Y₁ por unidad de aumento en la variable correspondiente, manteniendo las otras constantes (Kutner, Nachtsheim, Neter, & Li, 2004).

IGPQ tiene más alto el coeficiente; es decir, es la variable con mayor efecto en Y1 continuado por la variable IGQF y X1.

Figura 1

Corrida en Y1

Response Y1:
Call:

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

Residuals:

Mn	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.

En la Figura 1 se observa que, la variable dependiente Y2 (Covid-19), es explicada por las variables independientes: IGQF, IGPQ y X1, se interpreta lo siguiente:

Los tres coeficientes son significativos, pues son menores a ($p < 0.001$) (Kutner, Nachtsheim, Neter, & Li, Applied linear statistical models, 2004).

Se puede ver que la variable IGQF tiene un coeficiente³ de 11.455, es decir, por cada unidad que aumente IGQF, Y1 aumentará en promedio 11.455 unidades, manteniendo IGPQ y X1 constantes.

La variable IGPQ tiene un coeficiente de 24.220, por cada unidad que aumenta IGPQ, Y 2 aumenta en promedio 24.220 unidades, manteniendo IGQF y X1 constantes.

La variable X1 tiene un coeficiente de 11.736, por cada unidad que aumenta X1, Y1 aumenta en promedio 11.736 unidades, manteniendo IGQF e IGPQ constantes.

Los p-value son estadísticamente significativos, ya que son menores a (< 0.05): IGQF (8.40e-13), IGPQ (1.10e-12) y X1 (1.13e-11).

El modelo tiene una variabilidad del 59.7% en Y2, se explica por las variables independientes. A efecto, el modelo es explicado en un 59.7% por la variable correspondiente a Covid-19 (Y1) y las variables Indicador de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF), Indicador de gases por producción química (IGPQ) y el sector económico (X1).

³ Los coeficientes representan el cambio esperado en Y₂ por unidad de aumento en la variable correspondiente, manteniendo las otras constantes (Kutner, Nachtsheim, Neter, & Li, 2004).

IGPQ tiene más alto el coeficiente; es decir, es la variable con mayor efecto en Y2 continuado por la variable X1 y posterior IGQF.

Response Y2:				
Call:				
ln(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				

Figura 2

Corrida en Y2

Fuente: elaboración propia.

En la figura 2 se muestra que, la variable dependiente Y3 (Otras enfermedades), es explicada por las variables independientes: IGQF, IGPQ y X1, se interpreta lo siguiente:

Los tres coeficientes son significativos, pues son menores a ($p < 0.001$) (Kutner, Nachtsheim, Neter, & Li, Applied linear statistical models, 2004).

Se puede ver que la variable IGQF tiene un coeficiente⁴ de 5.4875, es decir, por cada unidad que aumente IGQF, Y1 aumentará en promedio 5.4875 unidades, manteniendo IGPQ y X1 constantes.

La variable IGPQ tiene un coeficiente de 13.0195, por cada unidad que aumenta IGPQ, Y1 aumenta en promedio 13.0195 unidades, manteniendo IGQF y X1 constantes.

La variable X1 tiene un coeficiente de 5.9363, por cada unidad que aumenta X1, Y1 aumenta en promedio 5.9363 unidades, manteniendo IGQF e IGPQ constantes.

Los p-value son estadísticamente significativos, ya que son menores a (< 0.05): IGQF (6.77e-11), IGPQ (8.11e-13) y X1 (9.03e-11).

El modelo tiene una variabilidad del 57.1% en Y3, se explica por las variables independientes. A efecto, el modelo es explicado en un 57.1% por la variable correspondiente a Otras enfermedades respiratorias (Y3), en y las variables Indicador de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF), Indicador de gases por producción química (IGPQ) y el sector económico (X1).

⁴ Los coeficientes representan el cambio esperado en Y₃ por unidad de aumento en la variable correspondiente, manteniendo las otras constantes (Kutner, Nachtsheim, Neter, & Li, 2004).

IGPQ tiene más alto el coeficiente; es decir, es la variable con mayor efecto en Y2 continuado por la variable X1 y posterior IGQF.

Figura 3

Corrida en Y3

Response Y3:				
Call:				
ln(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.

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que al mantener los valores constantes de las variables IGPQ y X1, por cada unidad (aumentó de 1) que aumente el Indicador de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF) habrá en promedio 131.34 nuevos casos registrados de personas con Infecciones respiratorias agudas IRA's, mientras que al mantener constantes los valores del IGQF y de X1, por cada unidad que aumente el Indicador de gases por producción química (IGPQ) se registran en promedio 319.22 nuevos casos de IRA's (Y1) y 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 (Y1), manteniendo constantes los niveles de los Indicador IGQF y de IGPQ.

En cuanto a la incidencia en el registro de Covid-19 (Y2), al mantener los valores constantes del Indicador IGPQ y de X1, por cada unidad que aumente el Indicador de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF) habrá en promedio 11.455 nuevos registros de personas enfermas, mientras que al mantener constantes los valores del Indicador IGQF y de X1, por cada unidad que aumente el Indicador de gases por producción química (IGPQ) se registran en promedio 24.220 nuevos casos de Covid-19 (Y2). Y 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 (Y2), siempre que se mantengan constantes los niveles de los indicadores IGQF e IGPQ.

En el impacto que tiene el aumento de los GEI en otras enfermedades respiratorias se observa que al mantener los valores constantes del IGPQ y de X1, por cada unidad que aumente el Indicador de gases por quema de combustibles fósiles (IGQF) habrá en promedio 5.4875 nuevos registros de personas enfermas por Otras enfermedades respiratorias (Y3). Al mantener constantes los valores del Indicador IGQF y X1, por cada unidad que aumente el Indicador de gases por producción química (IGPQ) se

registran en promedio 13.0195 nuevos casos de Otras enfermedades respiratorias (Y3) en la zona de estudio. También se muestra que 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 (Y3), manteniendo constantes los niveles de los indicadores IGQF e IGPQ.

Los resultados implican la base científica para atender el problema público con un enfoque multidisciplinario.

El estudio se puede complementar a futuro al delimitar a zonas específicas en donde se asienten algunas de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero, como es el caso de industrias, tomando en consideración datos de la población que habita en un área a la redonda, incluso con trabajadores de planta del sector industrial.

CONCLUSIÓN

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 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 homogeneizar los datos y crear las nuevas variables independientes denominadas indicadores, lo que ha permitido determinar la relación canónica. Los indicadores construidos tienen una incidencia en el registro de infecciones respiratorias agudas (Y1), de Covid-19 (Y2) y de otras enfermedades respiratorias (Y3), la predicción del modelo permite pronosticar un aumento en las enfermedades respiratorias en la población de la Zona, a medida que aumenta la emisión de gases efecto invernadero. La afectación de mayor impacto se observa mediante la relación que guarda el Indicador de Gases de Producción Química (IGPQ), seguido del Indicador de Gases por Quema de Combustibles Fósiles (IGQF), en la incidencia de Infecciones respiratorias agudas. Con ello se evidencia de forma científica el problema de salud respiratoria que se presenta en la Zona Metropolitana de Tula, Hgo, debido a la excesiva emisión de GEI y cimienta la necesidad de atender el problema público desde diversas disciplinas.

REFERENCIAS

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2023). Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Cuadras, C. M. (2014). Nuevos Métodos de Análisis Multivariante.

De la Garza, G, Morales, S y González, C. (2013). Análisis estadístico multivariante, un enfoque teórico y práctico. Mc Graw Hill.

Hair, J, Anderson, R, Tatham, R y Black, W. (1999). Análisis Multivariante, 5a ed. Prentice Hall.

Lee, H., Yoon, HY. (2024). Impact of ambient temperature on respiratory disease: a case-crossover study in Seoul. *Respiratory Research*, 25, 73 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12931-024-02699-0>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2022). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) de México 1990 - 2019. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. <https://www.gob.mx/inecc/articulos/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-inegycei-de-mexico-1990-2019>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). Anuario Estadístico y Geográfico de Hidalgo 2017. INEGI. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095093.pdf

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

Naciones Unidas. (2015). Acuerdo de París. París: Naciones Unidas. Recuperado de https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf

Organización Mundial de la Salud. (2018). COP24 special report: health and climate change Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/publications/i/item/cop24-special-report-health-climate-change>

Organización Mundial de la Salud. (2024). Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud. Organización Mundial de la 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 Panamericana de la Salud. (s.f.). Calidad del aire. Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. (2023). Cambio Climático 2023, Informe de síntesis. Resumen para los formuladores de políticas. Ginebra: IPCC. Recuperado de https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf

Petroleos Mexicanos. (2025). Pemex Transformación Industrial. PEMEX Base de Datos Institucional. Recuperado de: <https://ebdi.pemex.com/bdi/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=RPROREF>


Pérez, C. (2004). Técnicas de Análisis Multivariante de Datos. Aplicaciones con SPSS. Pearson Educación.

Secretaría de Energía. (2023). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2023-2037. SENER. Recuperado de <https://www.gob.mx/sener/articulos/programa-de-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-2023-2037>

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

Thierauf, R. J. (1982). An introductory approach to operations research. R. E. Krieger Publishing Company.

World Health Organization. (2025). Enfermedades del tracto respiratorio. World Health Organization, Eastern Mediterranean Region. <https://www.emro.who.int/health-topics/respiratory-tract-diseases/index.html>

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons .

ANEXOS

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 = Partículas por millón

#G2 = Dióxido de azufre

#G3 = Dióxido de carbono

#G4 = Óxido nítrico y Dióxido nítrico

#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 Combistibles fósiles

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

IGCT=A3[,3] #--Indicador de Gases de Concentración de CO2

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 canonica
```

```
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 parametros
```

```
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 canonica
```

```
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)
```