

IMPACTO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LAS ENFERMEDADES RESPIRATORIAS

PROYECTO I

Diego Isaac Jiménez Baroja

¿Hay relación de la calidad del aire con las enfermedades respiratorias en la Ciudad de México en 2019?

JUSTIFICACIÓN

El proyecto "Impacto de la calidad del aire en las enfermedades respiratorias en la Ciudad de México" es de vital importancia debido a la creciente preocupación por los efectos adversos de la contaminación atmosférica en la salud pública. La Ciudad de México, conocida por su alta densidad poblacional y niveles significativos de contaminación, presenta un escenario crítico para evaluar estas interacciones. Investigar la relación específica entre los contaminantes como Partículas Finas (PM2.5 y PM10), Ozono (O3), y la prevalencia de enfermedades respiratorias no solo es relevante para la salud pública, sino también para el desarrollo de políticas ambientales y sanitarias eficaces.

OBJETIVOS

- Análisis Descriptivo de los Datos de Calidad del Aire y Enfermedades Respiratorias
- Comparar la Influencia Relativa de Diversos Contaminantes en las Enfermedades Respiratorias
- Proporcionar un Análisis Preliminar de la Relación entre la Calidad del Aire y la Salud Pública en la Ciudad de México

ANTECEDENTES

La calidad del aire en la Ciudad de México ha sido una preocupación constante debido a su topografía y a la alta concentración de actividades industriales y vehiculares (Gobierno de México, Secretaría de Medio Ambiente, 2023). Estudios previos han demostrado una correlación directa entre los niveles de contaminantes atmosféricos y el incremento en la incidencia de enfermedades respiratorias (Pérez-Padilla et al., 2020).

Particularmente, las partículas finas como PM2.5 y PM10, provenientes de fuentes como el tráfico vehicular y la industria, han sido asociadas con enfermedades respiratorias crónicas y agudas, incluyendo asma, bronquitis y otras enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2022). Además, el ozono a nivel del suelo, un contaminante secundario formado por la reacción de precursores como los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles bajo la luz solar, ha sido vinculado con exacerbaciones de enfermedades respiratorias y reducción de la función pulmonar (World Health Organization, 2021).

Un estudio realizado en 2019 por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) reveló que hay una correlación estadísticamente significativa entre los días de alta contaminación y el aumento de consultas por problemas respiratorios en hospitales de la Ciudad de México (González-Pérez et al., 2019). Este estudio subraya la necesidad de investigaciones más profundas y específicas que cuantifiquen estas relaciones y contribuyan a la formulación de políticas de salud pública y control ambiental más efectivas.

Acerca de los Contaminantes

CO (Monóxido de Carbono):

- Producción: Resulta principalmente de la combustión incompleta de combustibles fósiles, como la que se produce en los motores de los vehículos, especialmente aquellos que no están funcionando eficientemente. También puede provenir de la quema de madera y carbón.
- Fuentes Comunes: Vehículos motorizados, calefacciones domésticas, plantas industriales y quema de basuras o biomasa.

NO2 (Dióxido de Nitrógeno):

- Producción: Se forma durante los procesos de combustión a altas temperaturas, como en los motores de los vehículos y en las plantas de energía.
- Fuentes Comunes: Automóviles, camiones, centrales eléctricas a base de combustibles fósiles y equipos de construcción.

O3 (Ozono):

- Producción: No se emite directamente al aire, sino que se crea por reacciones químicas entre óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de luz solar.
- Fuentes Comunes: Emisiones industriales, emisiones de vehículos, gasolina, disolventes y la naturaleza misma puede producir precursores del ozono.

PM10 (Partículas en Suspensión Menores a 10 Micrómetros):

- Producción: Estas partículas pueden ser generadas directamente, como el polvo levantado por vehículos en carreteras o pueden formarse en la atmósfera a partir de reacciones de gases como el SO2 y NOx.
- Fuentes Comunes: Construcción, industrias, automóviles y quema de diferentes materiales.

PM2.5 (Partículas en Suspensión Menores a 2.5 Micrómetros):

- Producción: Al igual que PM10, estas partículas provienen de fuentes como la combustión de combustibles fósiles y biomasa, así como reacciones químicas en la atmósfera.
- Fuentes Comunes: Vehículos diesel, plantas de energía, quema de madera y actividades industriales.

SO2 (Dióxido de Azufre):

- Producción: Principalmente se libera a la atmósfera por la quema de combustibles que contienen azufre, como carbón y petróleo.
- Fuentes Comunes: Plantas de energía y procesos industriales que queman combustibles fósiles.

IMECA: Índice METropolitano de la Calidad del Aire

El Índice Metropolitano de la Calidad del Aire es un indicador diseñado para informar a la población sobre el estado de la calidad del aire que muestra qué tan contaminado se encuentra el aire y cuales podrían ser los efectos en la salud.

Desde 2006 el IMECA tiene su fundamento en la Norma Ambiental del Distrito Federal NADF-009-AIRE-2006 en donde se establecen los requisitos para su cálculo y difusión y se calcula para cinco de los contaminantes criterio: dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, ozono y partículas suspendidas; se representa con una escala que va de 0 a 500, donde el valor de 100 se asigna al valor indicado por la Norma Oficial Mexicana para cada contaminante. Un valor menor a 100 se considera satisfactorio y con un bajo riesgo para la salud. Cualquier nivel superior a 100 implica algún riesgo para la salud, entre más grande es el valor del índice, mayor es la contaminación y el riesgo.

El propósito del índice IMECA es facilitar la comprensión del vínculo entre los niveles de contaminación del aire y los efectos en la salud.

Categoría	Intervalo	Mensaje	Significado	Recomendaciones
BUENA	0-50	Sin riesgo	La calidad del aire es satisfactoria y existe poco o ningún riesgo para la salud.	Se puede realizar cualquier actividad al aire libre.
REGULAR	51-100	Aceptable	La calidad del aire es aceptable, sin embargo, en el caso de algunos contaminantes, las personas que son inusualmente sensibles, pueden presentar síntomas moderados.	Las personas que son extremadamente sensibles a la contaminación deben considerar limitar los esfuerzos prolongados al aire libre.
MALA	101-150	Dañina a la salud de los grupos sensibles	Quienes pertenecen a los grupos sensibles pueden experimentar efectos en la salud. El público en general usualmente no es afectado.	Los niños, adultos mayores, personas que realizan actividad física intensa o con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, deben limitar los esfuerzos prolongados al aire libre.
MUY MALA	151-200	Dañina a la salud	Todos pueden experimentar efectos en la salud; quienes pertenecen a los grupos sensibles pueden experimentar efectos graves en la salud.	Los niños, adultos mayores, personas que realizan actividad física intensa o con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, deben evitar el esfuerzo prolongado al aire libre. La población en general debe limitar el esfuerzo prolongado al aire libre.
EXTREMADAMENTE MALA	>200	Muy dañina a la salud	Representa una condición de emergencia. Toda la población tiene probabilidades de ser afectada.	La población en general debe suspender los esfuerzos al aire libre.

LIMPIEZA DE DATOS

Base de Datos de Incidencia de Enfermedades Respiratorias

- Creé una nueva base de datos de incidencia de enfermedades respiratorias, ya que solo contaba con información suelta.

Limpieza de la Base de Datos de Contaminantes

- Inicialmente, tenía una base de datos con más de 51,000 registros, detallando niveles de contaminantes por hora en 37 zonas de monitoreo.
- Transformé estos datos a un formato semanal y consolidé las 37 zonas en una sola medida por contaminante, resultando en una estructura más manejable: 'Semana, CO, NO2, O3, PM10, PM2.5, SO2'.
- Organice esta base de datos por semana, ya que la de Incidencia de enfermedades respiratorias estaba por semana

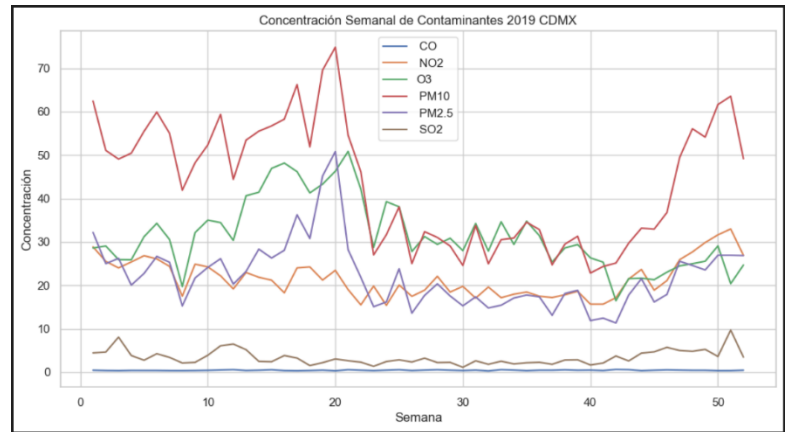
CONTAMINANTE	Fecha	HORA	ACO	AJM	ATI	BJU	CAM	CCA
CO	01/01/2019	4	1.5	0.1	0.9	1	2	1.3
CO	01/01/2019	5	1.2	0.1	0.6	1.3	1.4	1.1
CO	01/01/2019	6	1	0.1	1	1	1.2	0.8
CO	01/01/2019	7	0.8	0.2	0.7	0.9	1.2	0.6
CO	01/01/2019	8	0.7	0.1	0.7	0.9	0.9	0.5
CO	01/01/2019	9	0.7	0.3	0.6	0.9	0.6	0.5
CO	01/01/2019	10	0.5	0.3	0.5	0.7	0.7	0.7
CO	01/01/2019	11	0.2	0.4	0.3	0.9	0.5	0.7
CO	01/01/2019	12	0.3	0.6	0	0.9	0.4	0.8
CO	01/01/2019	13	0.3	0.6	0.1	0.6	0.3	0.6
CO	01/01/2019	14	0.4	0.6	0.2	0.5	0.3	0.4
CO	01/01/2019	15	0.4	0.5	0.2	0.4	0.2	0.4
CO	01/01/2019	16	0.5	0.4	0.1	0.3	0.2	0.4
CO	01/01/2019	17	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
CO	01/01/2019	18	0.3	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1
CO	01/01/2019	19	0.5	0.1	0.4	0.3	0.2	0.1
CO	01/01/2019	20	0.6	0.1	0.4	0.4	0.5	0.2
CO	01/01/2019	21	0.5	0.2	0.3	0.5	0.5	0.3
CO	01/01/2019	22	0.5	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4
CO	01/01/2019	23	0.8	0.3	0.2	0.5	0.3	0.3
CO	01/01/2019	24	0.4	0.2	0.2	0.5	0.3	0.3
CO	02/01/2019	1	0.4	0.2	0.1	0.4	0.2	0.4
CO	02/01/2019	2	0.3	0.1	0.1	0.8	0.2	0.4
CO	02/01/2019	3	0.3	0.1	0.1	0.6	0.2	0.4
CO	02/01/2019	4	0.2	0.2	0.1	0.6	0.2	0.2

Semana	CO	NO2	O3	PM10	PM2.5	SO2
1	0.452692	28.865239	28.590227	62.423038	32.178441	4.442518
2	0.379670	25.517826	29.064534	51.072506	24.981253	4.629934
3	0.349667	24.014777	25.923151	49.072007	26.219693	8.072540
4	0.401726	25.385333	25.890336	50.436245	20.046185	3.832470
5	0.395825	26.816111	31.196782	55.466179	22.735657	2.754759
6	0.391472	26.093396	34.284107	59.900745	26.664701	4.248336
7	0.355891	24.362633	30.548620	55.005646	25.306601	3.407390
8	0.349827	17.496106	19.719957	41.915725	15.257543	2.112159
9	0.379271	24.877765	32.137252	48.217719	21.689466	2.258355
10	0.427515	24.248441	35.021424	52.336009	24.121128	3.900234
11	0.513562	22.191393	34.439750	59.371425	26.134742	6.072023
12	0.592058	19.170794	30.337382	44.378540	20.282456	6.474586
13	0.389012	22.953029	40.626088	53.440918	23.206444	5.184702
14	0.454135	21.855210	41.438612	55.501515	28.338305	2.484269
15	0.563724	21.191345	46.933683	56.714128	26.285398	2.406794

BASES DE DATOS

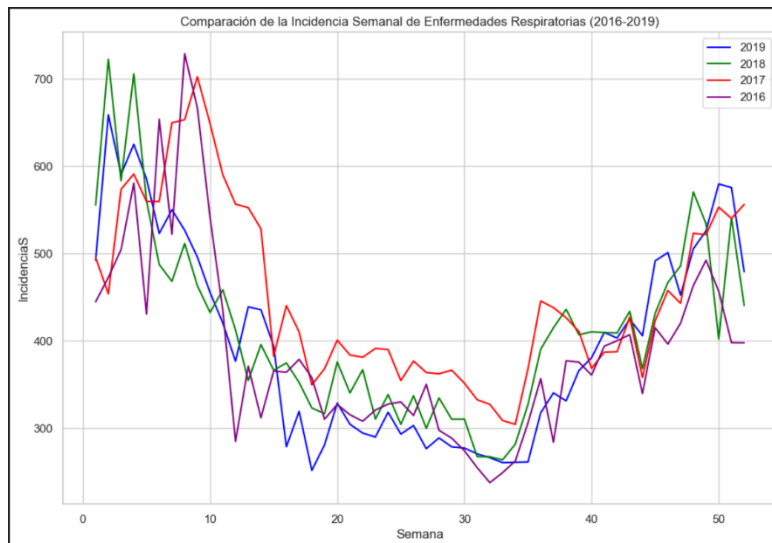
Concentraciones históricas validadas sobre calidad del aire en el SMCA de la CDMX para el año 2019.

- Este gráfico muestra las tendencias semanales de varios contaminantes a lo largo del año.
- Los picos y valles indican fluctuaciones en la concentración de contaminantes, que podrían estar relacionados con factores estacionales, cambios en la actividad industrial, medidas regulatorias, entre otros.
- Algunos contaminantes, como el PM10, muestran picos que podrían correlacionarse con episodios específicos que aumentan la concentración de partículas en el aire (como incendios o periodos de sequía).



Comparación de la Incidencia Semanal de Enfermedades Respiratorias (2016-2019):

- Este gráfico compara la incidencia semanal de enfermedades respiratorias a lo largo de cuatro años diferentes.



- La variabilidad entre los años puede deberse a muchos factores, incluyendo variaciones en la calidad del aire, pero también cambios en la vigilancia de la salud, la demografía y la atención sanitaria.
- Podría haber patrones estacionales evidentes en la incidencia de enfermedades respiratorias, que a menudo se ven en enfermedades como la gripe.

MODELO DE REGRESIÓN LINEAL

La regresión lineal es una técnica estadística utilizada para modelar la relación entre una variable dependiente (en este caso, las tasas de enfermedades respiratorias) y una o más variables independientes (los niveles de contaminantes como CO, O₂, NO₂, O₃, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂). En su forma más simple (regresión lineal simple), modela esta relación a través de una línea recta.

Objetivo

El modelo tiene como objetivo explorar y cuantificar la relación entre los niveles de varios contaminantes (CO, NO₂, O₃, PM₁₀, PM_{2.5}, y SO₂) y la incidencia de enfermedades respiratorias agudas en la Ciudad de México en 2019.

Modelo Matemático $Y=aX+b+\epsilon$

Donde

- Y- es la variable dependiente, que en este caso representa la incidencia de enfermedades respiratorias agudas.
- X- es la variable independiente, que representa el nivel de un contaminante específico (como CO, NO₂, O₃, PM₁₀, PM_{2.5}, o SO₂).
- a- es el coeficiente de la variable independiente, también conocido como la pendiente de la línea de regresión. Este coeficiente indica cuánto se espera que cambie Y por cada unidad de cambio en X.
- b- es el intercepto, que representa el valor estimado de Y cuando X es igual a 0. Es decir, es la incidencia estimada de enfermedades respiratorias cuando el nivel del contaminante es 0.
- ϵ - es el término de error, que captura todas las otras variaciones en Y que no son explicadas por X.

Razones para la Selección

- Simplicidad y Claridad: La regresión lineal es conceptualmente sencilla y fácil de interpretar, lo que facilita la comprensión de las relaciones entre variables.
- Uso Previo en Estudios Similares: Esta técnica es ampliamente utilizada en estudios epidemiológicos y ambientales para explorar relaciones entre factores de riesgo (como los contaminantes) y resultados de salud.
- Buen Punto de Partida: Ofrece un punto de partida sólido para el análisis. Si se identifican relaciones lineales significativas, se pueden explorar modelos más complejos.

Ventajas

- Eficiencia: Requiere menos recursos computacionales en comparación con modelos más complejos.
- Interpretación Clara: Los coeficientes de regresión indican directamente el cambio esperado en la variable dependiente por un incremento de una unidad en la variable independiente.
- Flexibilidad: Puede ajustarse para incluir múltiples variables independientes y explorar sus efectos combinados.

Desventajas

- **Supone Linealidad:** el modelo asume una relación lineal entre las variables, lo que puede no ser siempre el caso. En la realidad, las relaciones entre la calidad del aire y la salud pueden ser más complejas y no lineales.
- **Correlación no Implica Causalidad:** Aunque el modelo puede identificar correlaciones, no puede establecer relaciones causales. Las altas correlaciones pueden ser engañosas si existen variables confusas no incluidas en el modelo.
- **Potencial de Variables Confusas y Omisión:** Existe el riesgo de omitir variables importantes que pueden afectar la relación entre la calidad del aire y la salud, como factores meteorológicos, demográficos o socioeconómicos.

Supuestos

- **Linealidad:** La relación entre las variables independientes y dependientes debe ser lineal.
- **Independencia:** Los errores (diferencias entre valores observados y predichos) deben ser independientes.
- **Homocedasticidad:** La varianza de los errores debe ser constante para todos los valores de las variables independientes.
- **Normalidad de los Errores:** Los errores deben distribuirse normalmente.

Implementación

El modelo se implementa especificando la variable dependiente (enfermedades respiratorias) y las variables independientes (contaminantes). Se calculan los coeficientes de regresión que mejor ajustan la línea a los datos (minimizando la suma de los cuadrados de los errores). Luego se evalúa el modelo utilizando medidas como el R-cuadrado (que indica qué tan bien el modelo explica la variabilidad de los datos) y pruebas estadísticas para la significancia de los coeficientes.

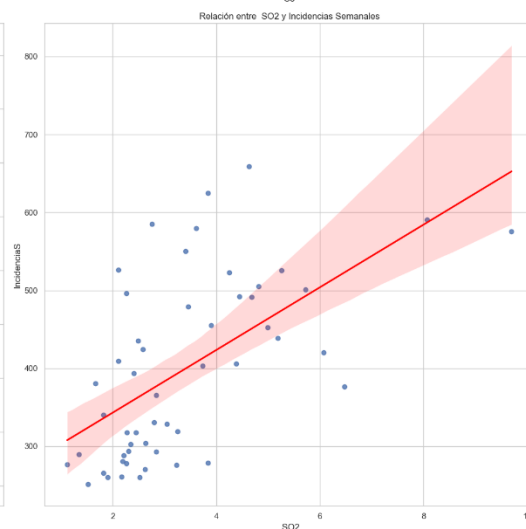
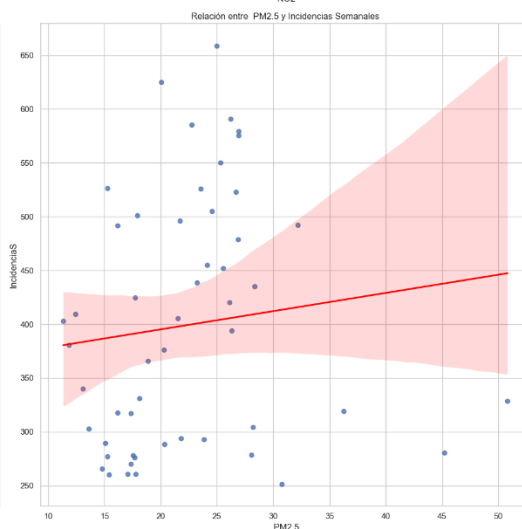
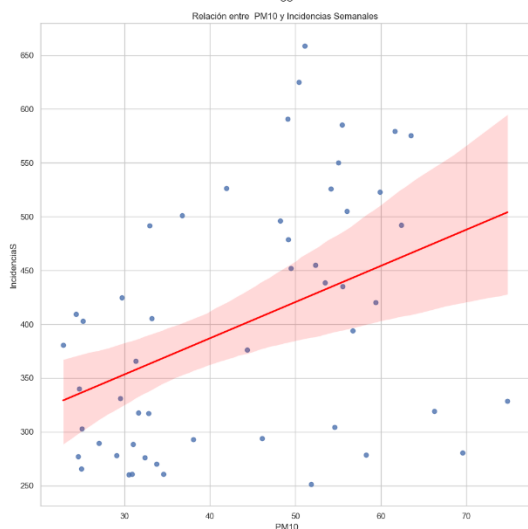
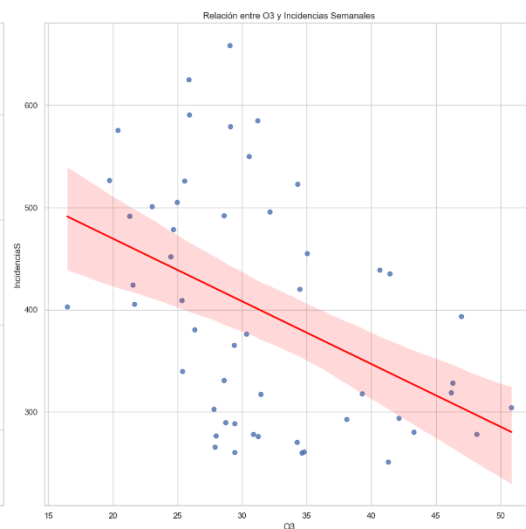
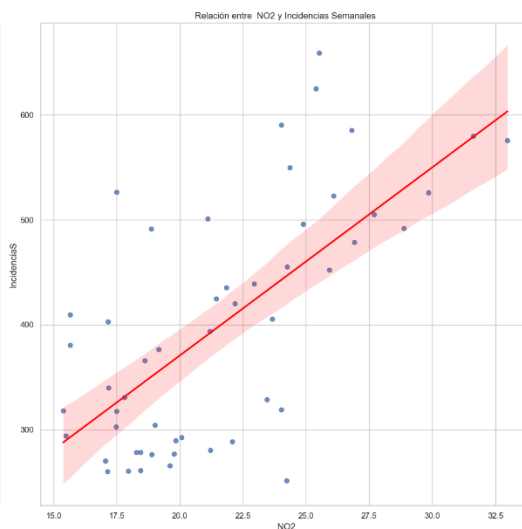
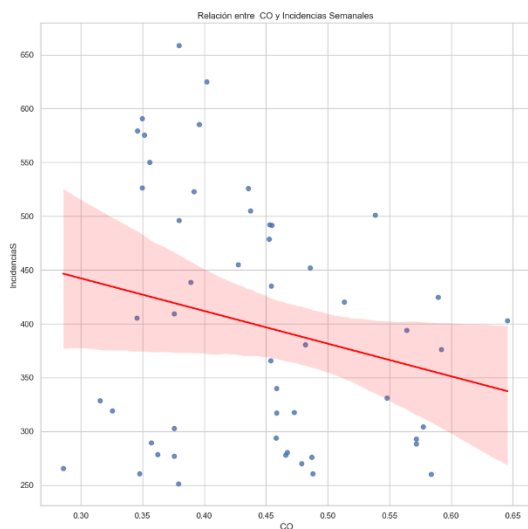
Resultados

	Contaminante	Coefficiente	Intercepto	Coefficiente de Determinación
1	NO2	17.933788	11.918773	0.452836
5	SO2	40.190476	262.803738	0.347760
2	O3	-6.135567	592.379447	0.184280
3	PM10	3.360813	252.541732	0.173150
0	CO	-303.529560	533.325561	0.050867
4	PM2.5	1.693067	361.397133	0.012797

- **Dióxido de Nitrógeno (NO2):** Tiene el coeficiente de determinación más alto (0.4528), lo que sugiere que hay una correlación moderadamente fuerte entre los niveles de NO2 y la incidencia de enfermedades respiratorias. Este contaminante tiene el mayor impacto según tu modelo.
- **Dióxido de Azufre (SO2):** Muestra una correlación significativa con un coeficiente de determinación de 0.3477.
- **Ozono (O3):** Presenta una correlación más débil (coeficiente de determinación de 0.1843). Interesantemente, el coeficiente es negativo, lo que podría indicar una

relación inversa; sin embargo, esto podría requerir más investigación para interpretar correctamente.

- Partículas Menores a 10 Micrómetros (PM10): También muestra una correlación moderada con un coeficiente de determinación de 0.1731.
- Monóxido de Carbono (CO): Exhibe una correlación más baja con un coeficiente de determinación de 0.0509.
- Partículas Menores a 2.5 Micrómetros (PM2.5): Tiene la correlación más débil con un coeficiente de determinación de 0.0128.



CONCLUSIÓN

Análisis Descriptivo y Uso de la Regresión Lineal

Mediante el análisis exhaustivo de los datos sobre la calidad del aire y las enfermedades respiratorias en la Ciudad de México. La aplicación de modelos de regresión lineal ha sido fundamental en este proceso, permitiéndome cuantificar y comparar la relación entre diversos contaminantes y la incidencia de enfermedades respiratorias. Aunque la regresión lineal ofrece una visión simplificada, ha proporcionado una base sólida para identificar correlaciones significativas.

Influencia de Contaminantes Específicos

Los resultados indican que el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el dióxido de azufre (SO₂) están más fuertemente correlacionados con las enfermedades respiratorias que otros contaminantes como el ozono, PM₁₀, PM_{2.5} y CO. Esto sugiere que las estrategias para mejorar la calidad del aire en la Ciudad de México podrían beneficiarse al enfocarse en reducir estos contaminantes específicos.

Respuesta a la Pregunta del Proyecto

Con respecto a la pregunta central de mi proyecto, "¿Hay relación de la calidad del aire con las enfermedades respiratorias en la Ciudad de México?", los hallazgos de mi estudio indican que sí existe una relación. Los modelos de regresión lineal han demostrado que hay correlaciones significativas entre varios contaminantes y la incidencia de enfermedades respiratorias. Aunque estos modelos no establecen causalidad, sí sugieren que la calidad del aire es un factor importante en la salud respiratoria de la población de la Ciudad de México.

REFERENCIAS

- Gobierno de México, Secretaría de Medio Ambiente (2023). Informe sobre la Calidad del Aire en la Ciudad de México.
- Comisión Ambiental de la Megalópolis. (s.f.). Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA). Recuperado el 13 de diciembre de 2023, de <https://www.gob.mx/comisionambiental/articulos/imeca-indice-metropolitano-de-la-calidad-del-aire?idiom=es#:~:text=Un%20valor%20menor%20a%20100,la%20contaminaci%C3%B3n%20y%20el%20riesgo>
- Pérez-Padilla, R. et al. (2020). "Impacto de la Contaminación Atmosférica en Enfermedades Respiratorias." Revista Mexicana de Neumología.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2022). "Efectos de la Contaminación Atmosférica en la Salud."
- World Health Organization (2021). "Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide."
- González-Pérez, M. et al. (2019). "Relación entre contaminación atmosférica y morbilidad respiratoria en la Ciudad de México." UNAM.
- Informes Semanales para la Vigilancia Epidemiológica de Infecciones Respiratorias Agudas 2019, Enero, 2020. <https://www.gob.mx/salud/documentos/informes-semanales-para-la-vigilancia-epidemiologica-de-infecciones-respiratorias-agudas-2019>
- Informes Semanales para la Vigilancia Epidemiológica de Infecciones Respiratorias Agudas 2018, Enero, 2020. <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/informes-semanales-para-la-vigilancia-epidemiologica-de-infecciones-respiratorias-agudas-2018>
- Informes Semanales para la Vigilancia Epidemiológica de Infecciones Respiratorias Agudas 2017, Enero, 2020. <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/direccion-general-de-epidemiologia-informes-semanales-para-la-vigilancia-epidemiologica-de-infecciones-respiratorias-agudas-2017>
- Dirección General de Epidemiología- Informes Semanales para la Vigilancia Epidemiológica de Infecciones Respiratorias Agudas 2016. Enero, 2020. <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/direccion-general-de-epidemiologia-informes-semanales-para-la-vigilancia-epidemiologica-de-infecciones-respiratorias-agudas>
- Concentraciones históricas validadas sobre calidad del aire en el SMCA de la CDMX para el año 2019. Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC; CGCSA, (2019), Calidad del Aire, Concentraciones históricas validadas sobre calidad del aire en el SMCA de la CDMX para el año 2019. Junio, 2022. <https://datos.gob.mx/busca/dataset> , <https://datos.gob.mx/busca/dataset/calidad-del-aire/resource/2fb1e536-6f19-4989-a632-fc5ff49ed4d8>