



DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.3064

Análisis de la calidad del aire en la cdmx, para identificar la presencia de los contaminantes: pm₁₀, pm_{2.5}, co, no_x y so₂, emitidos en la cremación debido al incremento de cadáveres en periodo de la pandemia por covid-19.

Saúl Hernández Islas

saulhernandezislas@yahoo.com.mx

Instituto Politécnico Nacional-UPIBI

Benavides Fajardo Sughey Aramis

sabf.0496@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional-UPIBI

Márquez Montesino Francisco

marquezmontesino1992@gmail.com

Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca"

Pinar del Río-Cuba

Juárez Juárez Miriam

mjuarezj@ipn.mx

Instituto Politécnico Nacional-UPIBI

CDMX - México

RESUMEN

En el presente artículo de investigación se identificó la presencia de algunos de los contaminantes emitidos a la atmósfera producto del incremento de la cremación de cadáveres por Covid-19 en el periodo marzo 2020 a diciembre 2021 en la Ciudad de México. Esta situación revierte gran importancia, al tratar de encontrar explicaciones al por qué si la actividad industrial, comercial y la movilidad disminuyó considerablemente en la CDMX, no se presentó la misma situación para los niveles de contaminación en la calidad del aire de la capital del país. En la primera parte se analizan los resultados de los muestreos de la calidad del aire para los contaminantes NO_x, SO_x, CO y partículas suspendidas (PM_{2.5} y PM₁₀); información obtenida de las estaciones de monitoreo que la Dirección de Monitoreo

Análisis de la calidad del aire en la cdmx, para identificar la presencia de los contaminantes...

Atmosférico de la CDMX tiene en operación, y que de acuerdo al análisis realizado, demostraron en sus promedios horarios, diarios y mensuales, que las concentraciones de los contaminantes antes mencionados, se mantuvieron en rangos de calidad del aire de regular a mala.

En la segunda parte se obtuvo información que permite concluir que un gran porcentaje de los resultados de los monitoreos realizados a la calidad del aire, se pierden o desechan debido a que el sistema los determina como “nr” o “menos 99” que significan “valores faltantes”, además de que, al promediar los resultados de los diferentes horarios en cada estación, la normatividad indica que se requiere un 75% de valores para tener información válida.

Palabras clave: contaminación, atmósfera, monitoreo, calidad, aire

Correspondencia saulhernandezislas@yahoo.com.mx

Artículo recibido: 15 de agosto del 2022. Aceptado para publicación: 15 de septiembre 2022.

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio está disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](#) .

Cómo citar

Cómo citar Hernández Islas , S., Sugey Aramis, B. F., Márquez Montesino, F., Márquez Montesino, F., & Juárez Juárez , M. (2022). Análisis de la calidad del aire en la cdmx, para identificar la presencia de los contaminantes: pm10, pm2.5, co, nox y so2, emitidos en la cremación debido al incremento de cadáveres en periodo de la pandemia por covid-19. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 6(4), 5943-5994. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.306

Ananalysis of air quality in mexico city, to identify the presence of pollutants: pm₁₀, pm_{2.5}, co, no_x and so₂, emitted in cremation due to the increase in cadaveres in the period of the covid-19 pandemic.

ABSTRACT

In this research article, the presence of some of the pollutants emitted into the atmosphere because of the increase in the cremation of corpses by Covid-19 in the period March 2020 to December 2021 in Mexico City was identified. This situation reverses great importance, when trying to find explanations as to why if industrial, commercial and mobility activity decreased considerably in the CDMX, the same situation did not arise for the levels of pollution in the air quality of the capital of the country. The first part analyses the results of air quality sampling for NO_x, SO_x, CO and suspended particulate pollutants (PM_{2.5} and PM₁₀); information obtained from the monitoring stations that the Direction de Monitored atmospheric of the CDMX has in operation, and that according to the analysis carried out, demonstrated in their hourly, daily, and monthly averages, that the concentrations of the pollutants were maintained in air quality ranges from regular to bad.

In the second part, information was obtained that allows us to conclude that a large percentage of the results of the monitoring carried out on air quality are lost or discarded because the system determines them as "nr" or "minus 99" which means "missing values", in addition to that, when averaging the results of the different schedules in each station, the regulations indicate that 75% of values are required to have valid information.

Keywords: pollution, atmosphere, monitoring, quality, air.

Correspondencia: saulhernandezislas@yahoo.com.mx

Artículo recibido: 15 de julio del 2022. Aceptado para publicación: 20 de agosto del 2022.

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Como citar: Apellidos de autores (año). Título del artículo. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Volumen (Número), página inicio-página final. DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.vxix.xxx

INTRODUCCIÓN

Durante la pandemia, muchas de las actividades industriales se detuvieron, así como también el tránsito vehicular, debido al confinamiento por el incremento de muertes y contagios del virus SARS-CoV-2, Covid-19.

La cuestión que invade la cabeza de muchas personas es, ¿Por qué sigue habiendo contingencias por contaminación del aire en la CDMX?, ¿Por qué en la CDMX no hubo cambio alguno, si en otros países el aire se limpió y se observó meteorológicamente?

De igual forma se pueden observar decenas de entrevistas a personas que viven de forma aledaña a los crematorios, notas en las cuales se quejaron porque tenían problemas respiratorios, más enfermedades, así como también que su casa y los alrededores siempre se ven “sucios”.

En la nota periodística del viernes 20 de noviembre del año 2020, titulada *Revisarán que crematorio de San Isidro cumpla normatividad tras denuncias*, Nava (2020) redactó la importante respuesta de “Griselda González Cardoso, especialista en sistemas de gestión ambiental, auditoría ambiental y aire, de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), dijo que desgraciadamente con la pandemia los hornos crematorios ahorita están laborando casi las 24 horas haciendo entre 10 y 14 cremaciones, lo que lleva a que el horno trabaje de manera exhaustiva y no le den tiempo de recuperarse por lo tanto sí hay una mala combustión” (párr. 6).

Nava (2020) de igual forma redactó que Griselda Gonzales declaró “No podríamos afirmar que pudiera ocasionar un problema a la salud, sabemos que las partículas son un contaminante y afectan a la salud, pero eso va a depender del tiempo y la exposición a los que esté la población, habría que hacer el estudio toxicológico para poder hacer una afirmación que está afectando” (párr. 7).

Al mismo tiempo se estuvo desarrollando una investigación que actualmente se publicó como artículo científico, en la Revista Multidisciplinar Ciencia Latina con el título: “Estimación del incremento de las emisiones contaminantes a la atmósfera producto del proceso de

cremación de cadáveres por covid-19 en la Ciudad de México”, en el se destaca que las partículas PM tuvieron un incremento de 1,820,461.240 kg durante el periodo 2020 a enero-junio 2021, aparte de que no sólo los 3 contaminantes monitoreados por la normatividad de la CDMX tuvieron un incremento, sino que también se están produciendo adicionalmente alrededor de 13 contaminantes que tuvieron un significativo aumento (Benavides et al., 2021, p. 14-18)

OBJETIVOS

Objetivo General

Reconocer la presencia en la atmósfera de la Ciudad de México de los contaminantes: CO, NO_x, SO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}, emitidos por el incremento de la cremación de cadáveres por la pandemia de Covid-19, en los periodos 2020 y 2021 vs 2019.

Objetivos Particulares

- Ubicar las estaciones de monitoreo cercanas a los crematorios existentes en la CDMX.
- Determinar las concentraciones de los contaminantes atmosféricos: CO, NO_x, SO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}, antes de la pandemia (2019) y durante la pandemia (2020 y 2021), de los reportes de monitoreo de calidad del aire en la Ciudad de México.
- Analizar la variación de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos: CO, NO_x, SO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}, antes de la pandemia (2019) y durante la pandemia (2020 y 2021).

ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS O MATERIALES Y MÉTODOS

Las autoridades o dependencias a las cuales puntualmente se les solicitó información, fueron las siguientes:

- Dirección General de Calidad del Aire de la CDMX.
- Dirección de Monitoreo Atmosférico de la CDMX.
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la CDMX.
- Sistema de Monitoreo Atmosférico de la CDMX (SIMAT).
- Red Automática de monitoreo atmosférico (RAMA).

Metodología:

Análisis de la calidad del aire en la cdmx, para identificar la presencia de los contaminantes...

1. Se consultó la página de la Dirección de Monitoreo Atmosférico, para identificar los contaminantes que monitorea, y que se relacionan con el incremento de las emisiones producto de la cremación por muertes Covid-19.
2. Identificar las normas correspondientes a la evaluación de la calidad del aire.
3. Determinar de acuerdo con los contaminantes que son monitoreados, si se cuenta con la información necesaria para los periodos antes de la pandemia (2019), y durante la pandemia (2020 y 2021).
4. Identificar las estaciones de monitoreo de la CDMX.
5. Identificar los crematorios existentes en la CDMX.
6. Analizar la información proporcionada para ubicar las estaciones de monitoreo cercanas a crematorios en la CDMX.
7. Puntualizar las concentraciones que las estaciones de monitoreo registraron, para proceder a promediar.
8. Analizar la variación en las concentraciones de los contaminantes que fueron emitidos a la atmósfera por el incremento en la cremación de cadáveres por Covid-19, y que son monitoreados por la Dirección de Monitoreo Atmosférico de la CDMX, en particular: CO, SO₂, NO_x, PM_{2.5} y PM₁₀, antes de la pandemia vs después de la pandemia.
9. Conclusiones.
10. Recomendaciones.
11. Bibliografías.
12. Anexos.

DESARROLLO Y RESULTADOS

De inicio es importante mencionar que la mayoría de los valores que se presentan en esta sección fueron obtenidos de la Dirección de Monitoreo Atmosférico de la CDMX; dependencia que en su página de internet tiene a disposición de cualquier ciudadano la información correspondiente a los resultados de los monitoreos de los diferentes contaminantes en el aire.

Para poder comprender e interpretar adecuadamente los resultados de los monitoreos, es necesario conocer la normatividad de referencia que se utiliza. De esta manera se está en posibilidad de relacionar los resultados, analizarlos y poder presentar conclusiones.

Se identificó que la normatividad en la cual se fundamenta el análisis que realiza la Dirección de Monitoreo Atmosférico es la norma “ NOM-172-SEMARNAT-2019, que establece los lineamientos para la obtención y comunicación del Índice AIRE y SALUD (publicada en 2019 y vigente desde 2020), esta NOM es de observancia para los gobiernos estatales o municipales responsables del monitoreo de la calidad del aire en el país. Es importante mencionar que el **Índice AIRE y SALUD** (NOM-172-SEMARNAT-2019) no considera las actualizaciones de las Normas Oficiales Mexicanas en materia de salud realizadas en 2019 y 2021” (Dirección de Monitoreo Atmosférico, s.f).

La Dirección de Monitoreo Atmosférico también explica que “al iniciar la publicación del **Índice AIRE y SALUD**, este **sustituyó** al Índice de Calidad del Aire difundido en la **Ciudad de México**. Sin embargo, se **mantiene como referencia** durante el año **2022** y es importante mencionar que la NADF-009-AIRE-2017 **no considera las actualizaciones** de los valores límite en las NOM de salud ambiental, realizadas entre 2019 y 2021” (Dirección de Monitoreo Atmosférico, s.f).

Una vez se identificaron las normas, se analizaron para trabajar con la más adecuada:

1. NADF-009-AIRE-2017 que es especial para la CDMX y la norma
2. NOM-172-SEMARNAT-2019 la cual especifican qué compete a los gobiernos municipales del país.

Ambas normas son muy parecidas, lo único que cambia entre una y la otra es la actualización de la información y más condiciones, por ejemplo: la primera norma solicita un promedio de las PM₁₀ y PM_{2.5} de 24 horas; y la segunda norma indica que “la concentración promedio de 24 horas debe calcularse para un periodo continuo de 24 horas, a partir de las 00:00 horas. Un cálculo de esta naturaleza impide informar con oportunidad a la población sobre los riesgos de exposición a altos niveles de contaminación por este contaminante, razón por la cual se usará el promedio móvil ponderado de 12 horas”.

Análisis de la calidad del aire en la cdmx, para identificar la presencia de los contaminantes...

Otro punto para observar es que en la primera norma se establece directamente el IMECA como unidad de reporte, a diferencia de que cuando el gobierno publica información a la población lo hace con las unidades ppm, ppb, mg/m³, etc. En la segunda norma sí se contemplan las concentraciones para indicar la calidad del aire. Por estos motivos es que se escogió para análisis y punto de comparación la norma NOM-172-SEMARNAT-2017.

Ubicación de las estaciones de monitoreo de la CDMX.

Se consultó la página de la Dirección de Monitoreo Atmosférico, para identificar las estaciones de monitoreo presentes en la Ciudad de México, se identificó su clave, su nombre y en que parte de la ciudad se encuentra, dando un total de 15 delegaciones/alcaldías con 28 estaciones de monitoreo en diferentes localizaciones (ver tabla 1).

Tabla 1

Estaciones de monitoreo presentes en la CDMX y alcaldía a la que pertenecen.

Clave	Nombre	Alcaldía o municipio de CDMX
AJU	Ajusco	Tlalpan
AJM	Ajusco Medio	Tlalpan
BJU	Benito Juárez	Benito Juárez
CAM	Camarones	Azcapotzalco
CCA	Centro de Ciencias de la Atmósfera	Coyoacán
TEC	Cerro del Tepeyac	Gustavo A. Madero
COR	Corona	Xochimilco
CUA	Cuajimalpa	Cuajimalpa de Morelos
DIC	Diconsa	Tlalpan
EAJ	Ecoguardas Ajusco	Tlalpan
EDL	Exconvento Desierto de los Leones	Cuajimalpa de Morelos
GAM	Gustavo A. Madero	Gustavo A. Madero
HGM	Hospital General de México	Cuauhtémoc
IZT	Iztacalco	Iztacalco
LAA	Laboratorio de Análisis Ambiental	Gustavo A. Madero
IBM	Legaría	Miguel Hidalgo
LOM	Lomas	Miguel Hidalgo
MER	Merced	Venustiano Carranza
MGH	Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo
MPA	Milpa Alta	Milpa Alta
MCM	Museo de la Ciudad de México	Cuauhtémoc
PED	Pedregal	Álvaro Obregón
SNT	San Nicolas Totolapan	La Magdalena Contreras
SFE	Santa Fe	Cuajimalpa de Morelos
SAC	Santiago Acahualtepec	Iztapalapa
TAH	Tláhuac	Xochimilco
UIZ	UAM Iztapalapa	Iztapalapa
UAX	UAM Xochimilco	Coyoacán

Nota: Dirección de Monitoreo Atmosférico, s.f

Ubicación de los crematorios presentes en la CDMX.

Es importante mencionar que fue escasa la información en diferentes dependencias de gobierno de la CDMX sobre la dirección de los crematorios que se encuentran operando. Por lo cual, para identificar los crematorios en la Ciudad de México, se utilizó el mapa de Google, que cuenta con los crematorios registrados de manera oficial, se contabilizaron y ubicaron un total de 14 crematorios de cadáveres humanos. Una vez identificados y registrada su

Análisis de la calidad del aire en la cdmx, para identificar la presencia de los contaminantes...

dirección, se procedió a relacionarlos con las estaciones de monitoreo presentes en la misma delegación que las estaciones de monitoreo (ver tabla 2).

Tabla 2

Crematorios (solo humanos) presentes en la CDMX, que se encuentran cercanos a las estaciones de monitoreo.

Clave de Estación de monitoreo	Nombre del crematorio	Alcaldía correspondiente
SAC/UIZ	Crematorio San Lorenzo Tezonco	Iztapalapa
SAC/UIZ	Crematorio San Nicolas Tolentino	Iztapalapa
SAC/UIZ	Crematorio S/N	Iztapalapa
SAC/UIZ	Crematorio Leyes de Reforma	Iztapalapa
IZT	Crematorio Agrícola Oriental	Iztacalco
IZT	Crematorios Guadalupe	Iztacalco
IZT	Crematorio Baltazar	Iztacalco
UAX/CCA	Santa Gloria Velatorios	Coyoacán
UAX/CCA	Naser Ruca Hornos Crematorios	Coyoacán
HGM/MCM	Funerales Flor del Saná	Cuauhtémoc
HGM/MCM	IMSS Velatorio y Crematorio Dolores No.1	Cuauhtémoc
IBM/LOM/MGH	Crematorio Británico	Miguel Hidalgo
IBM/LOM/MGH	Crematorio Panteón Español	Miguel Hidalgo
CAM	Velatorio Crematorio San Isidro	Azcapotzalco

Obtención de Concentraciones de contaminantes

Las estaciones de monitoreo que se localizaron y de las cuales se descargaron las concentraciones para realizar los promedios y poder comparar el comportamiento de los contaminantes, fueron: CAM, CCA, HGM, IZT, MGH, SAC, UAX, UIZ; cabe destacar que la RAMA no proporciona información de las estaciones MCM, IBM y LOM, es por eso por lo que a pesar de que son estaciones cercanas a los crematorios, no podemos realizar una comparativa con estas.

Cabe destacar que dependiendo del contaminante van a variar las estaciones de monitoreo que proporcionen información de este, por ejemplo, mientras que para el contaminante PM₁₀ proporcionan información las estaciones CAM, HGM, IZT, MGH, SAC Y UIZ, para el contaminante SO₂ se proporciona información de las estaciones CAM, CCA, HGM, IZT, MGH, SAC, UAX Y UIZ; así ocurre con todos los contaminantes.

Comportamiento de los contaminantes PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, CO y NO_x.

Cabe mencionar que de todos los gases contaminantes que se emiten a la atmósfera producto de la cremación de un cadáver en la Ciudad de México, sólo se están monitoreando de manera continua PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, CO y NO_x, por lo cual sólo se presenta información de estos.

Una vez identificadas las estaciones de monitoreo de interés, se buscaron de igual manera en la página de la Dirección de Monitoreo Atmosférico, los objetivos de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), la cual redireccionó a información que proporciona el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) de la Ciudad de México la cual dice que el objetivo 3 de la RAMA es “Generar información para cuantificar los niveles de exposición de la población a la contaminación del aire ambiente en la zona representativa de la estación” (SIMAT, 2018); por lo tanto, las concentraciones que se trataron fueron las proporcionadas por la RAMA.

Otro punto para observar es que la información proporcionada por la RAMA no contiene cuáles son las unidades de medida de los contaminantes registrados; situación por la cual directamente de la página no es posible obtener los niveles de concentración de los contaminantes tal y como lo publica la autoridad, en específico cuando hay contingencias ambientales.

Por lo anterior, en la misma Dirección de Monitoreo Atmosférico, en la sección de Datos, con información de los contaminantes por año, se buscaron los apartados nombrados “catálogo de parámetros” y “catálogo de unidades”(Dirección de Monitoreo Atmosférico, s.f), los cuales indican la unidad en la que se expresa cada contaminante, así que fueron las unidades consideradas para las concentraciones proporcionadas por la RAMA.

A continuación, se presenta el **procedimiento** a seguir para obtener los niveles de concentración de los contaminantes antes mencionados:

- a) Se descargaron las concentraciones de los contaminantes por año (antes de la

Análisis de la calidad del aire en la cdmx, para identificar la presencia de los contaminantes...

pandemia 2019, y durante la pandemia 2020 y 2021), se seleccionaron únicamente aquellas concentraciones presentes en las estaciones de monitoreo de interés, estas se encuentran registradas con un período de 24 horas para cada día de los 12 meses.

Como ya se mencionó con anterioridad para llevar a cabo los cálculos pertinentes de los promedios se consideró la Norma Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019, cuyo título es “Lineamientos para la obtención y comunicación del índice de calidad del aire y riesgos a la salud”; la cual proporciona información en diferentes tablas, como lo es la tabla 3, que indica cada cuanto se deben sacar los promedios de las concentraciones de contaminantes (ver tabla 3).

Tabla 3

Concentraciones base para el cálculo del índice de Aire y Salud para cada contaminante.

Contaminante	Concentración base
PM ₁₀	Concentración promedio móvil ponderado de 12 horas*
PM _{2.5}	
ozono (O ₃)	Concentración promedio móvil de 8 horas
monóxido de carbono (CO)	
dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Concentración promedio horario
ozono (O ₃)	
Dióxido de azufre (SO ₂)	Concentración promedio móvil de 24 horas (como aproximación al promedio de 24 horas).

* La NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire ambiente y criterios para su evaluación, establece que la concentración promedio de 24 horas debe calcularse para un periodo continuo de 24 horas, a partir de las 00:00 horas. Un cálculo de esta naturaleza impide informar con oportunidad a la población sobre los riesgos de exposición a altos niveles de contaminación por este contaminante, razón por la cual se usará el promedio móvil ponderado de 12 horas. Este método de cálculo es conocido en Estados Unidos como NowCast y es empleado por la Agencia de Protección Ambiental de ese país en el cálculo y comunicación de su Índice de calidad del aire en tiempo real para estos contaminantes, dando a la población la posibilidad de tomar medidas oportunas para reducir su exposición y proteger su salud (<https://www3.epa.gov/airnow/aqi-technical-assistance-document-may2016.pdf>) Nota: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2019.

Análisis de la calidad del aire en la cdmx, para identificar la presencia de los contaminantes...

- b) Una vez que se promediaron las concentraciones de los contaminantes, se debe considerar también la tabla 2, de la NOM-172-SEMARNAT-2019, para respetar las cifras significativas que deben considerarse en cada uno de los resultados (ver tabla 4).

Tabla 4

Cifras decimales significativas y unidades de medida.

Contaminante	Unidad de medida	Cifras decimales significativas
PM ₁₀	µg/m ³	0
PM _{2.5}	µg/m ³	0
ozono (O ₃)	ppm	3
dióxido de nitrógeno (NO ₂)	ppm	3
dióxido de azufre (SO ₂)	ppm	3
monóxido de carbono (CO)	ppm	2

Nota: SEMARNAT, 2019.

Representación gráfica de los promedios horarios de los contaminantes antes de la pandemia (2019) y durante la pandemia (2020 y 2021).

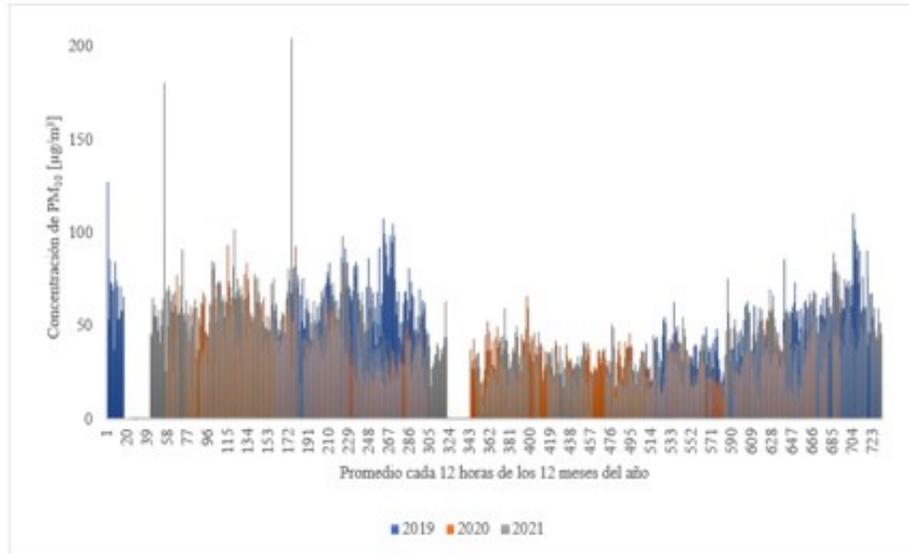
Inicialmente, se descartaron los valores inválidos para que no repercutieran en las gráficas y en el análisis de estas, se considera inválidos a todos aquellos valores que no alcanzaron el 75% (según como lo indica la NOM-172-SEMARNAT-2019) de las concentraciones del contaminante para promediar, algunos promedios no las alcanzaron por la presencia de valor faltantes, representados por la cifra “menos 99” o las letras “nr” (Dirección de Monitoreo Atmosférico, s.f), así como también en algunas ocasiones los valores faltantes representaron el 100% de las concentraciones proporcionadas por algunas de las estaciones de monitoreo.

- a) Contaminante PM₁₀.

Inicialmente el contaminante PM₁₀, se proporciona en unidades de $\frac{\mu g}{m^3}$, estas unidades no se convirtieron, puesto que son las que se solicitan en la norma NOM-172-SEMARNAT-2019; la misma norma indica que las concentraciones se deben promediar con 12 horas, con 0 cifras significativas.

Figura 1

Comparativa del comportamiento de PM₁₀, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo CAM.



Una vez que se promediaron las concentraciones, se procedió a graficar el comportamiento de los contaminantes por estación de monitoreo (ver figura de la 1 a la 6), cabe destacar que se consideran 732 valores, porque son promedios de 12 horas para todos los días de los 12 meses, y considerando que el 2020 tuvo 366 días.

Figura 2

Comparativa del comportamiento de PM_{10} , en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo HGM.

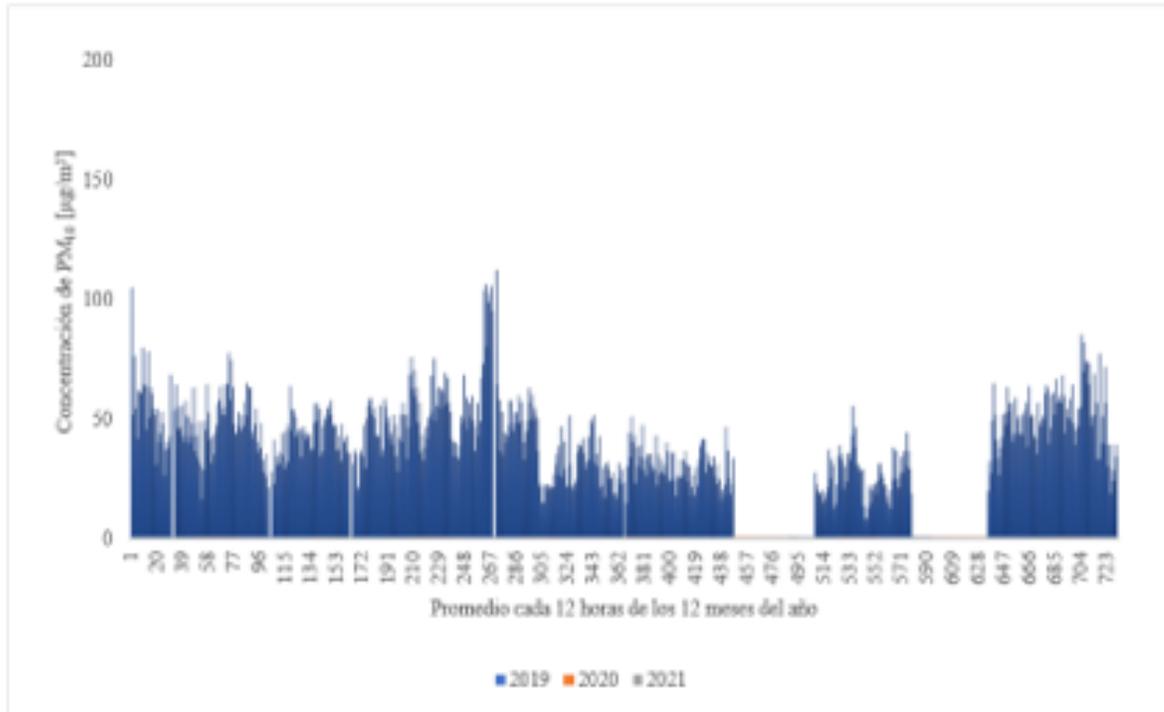


Figura 3

Comparativa del comportamiento de PM₁₀, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo IZT.

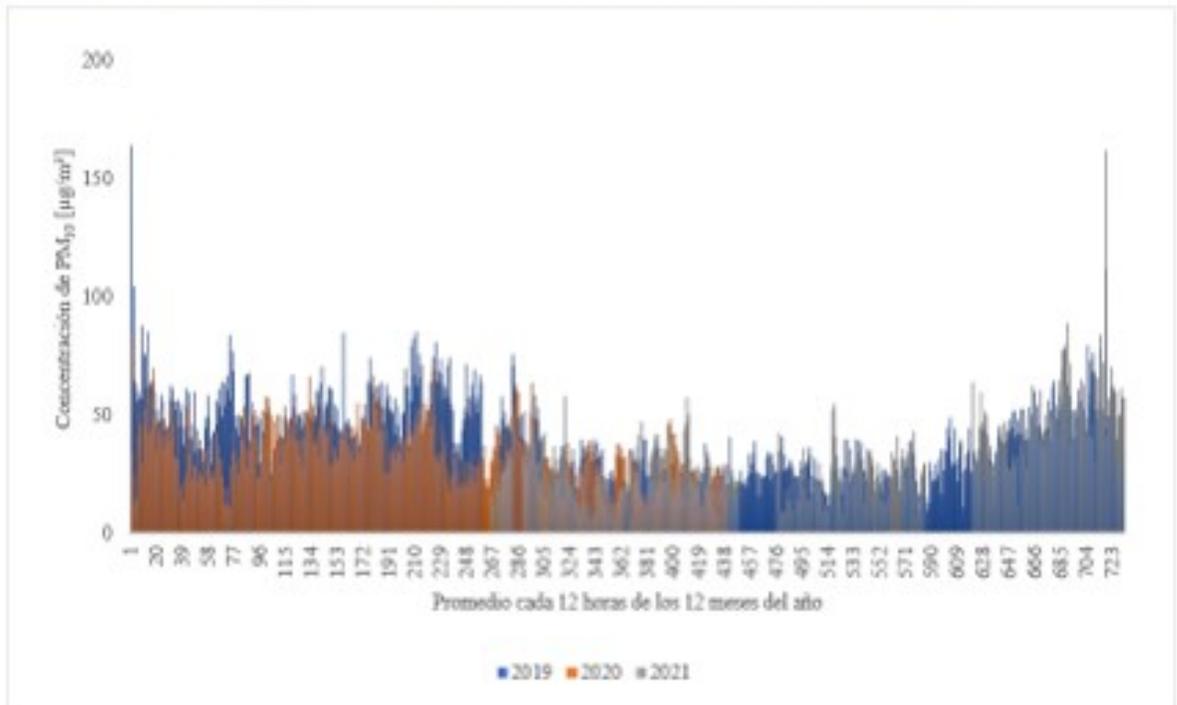


Figura 5

Comparativa del comportamiento de PM_{10} , en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo SAC.

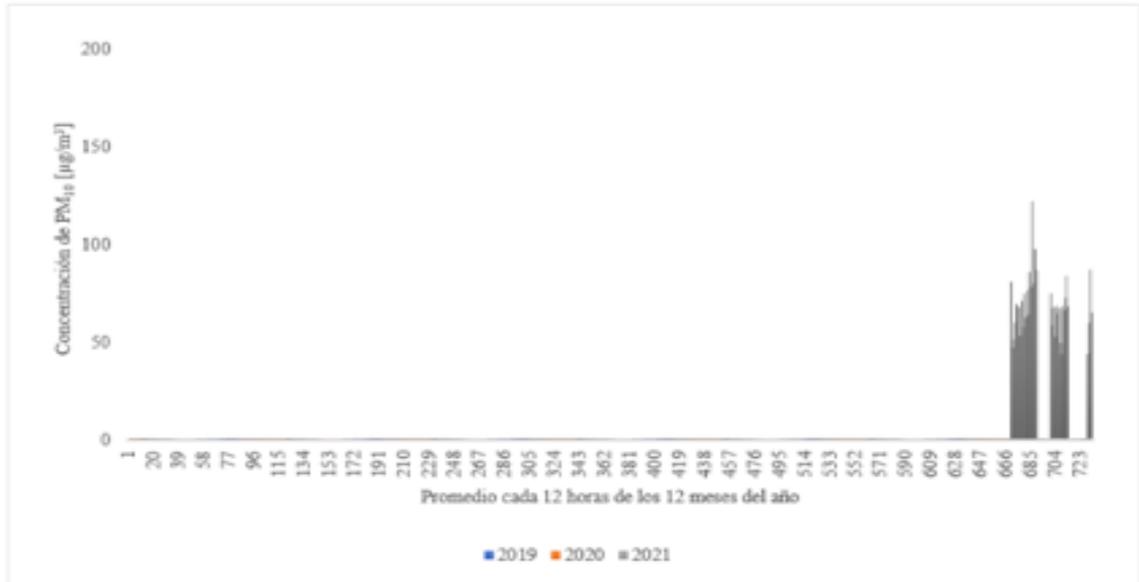
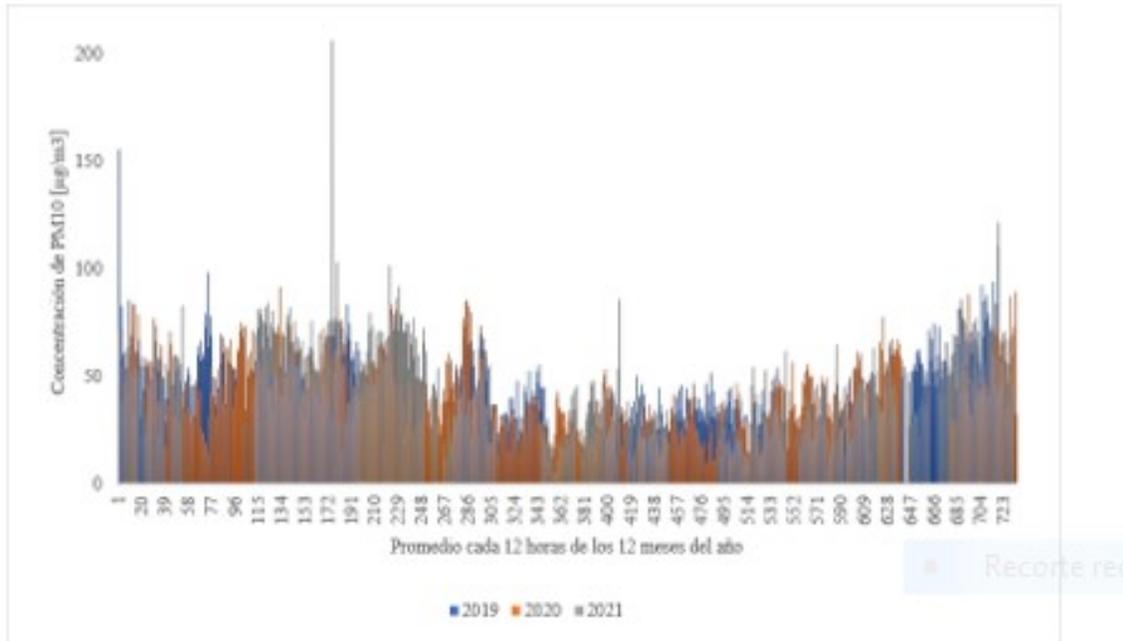


Figura 6

Comparativa del comportamiento de PM₁₀, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo UIZ.



Contaminante PM_{2.5}.

En cuanto a este contaminante, el procedimiento fue el mismo que para las partículas PM₁₀, puesto que se rigen de igual forma en la normatividad (ver figura 7 a 13).

Figura 7

Comparativa del comportamiento de PM_{2.5}, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de

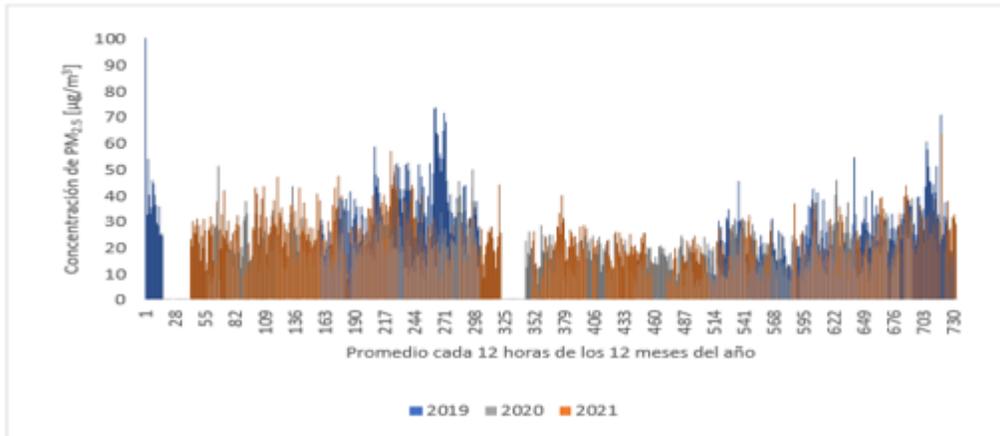


Figura 8

Comparativa del comportamiento de PM_{2.5}, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo CCA

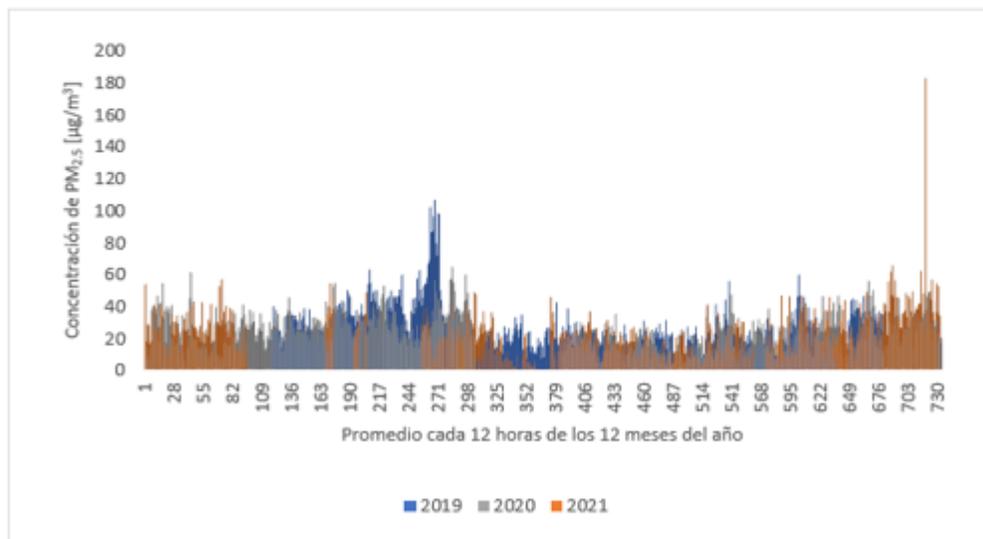
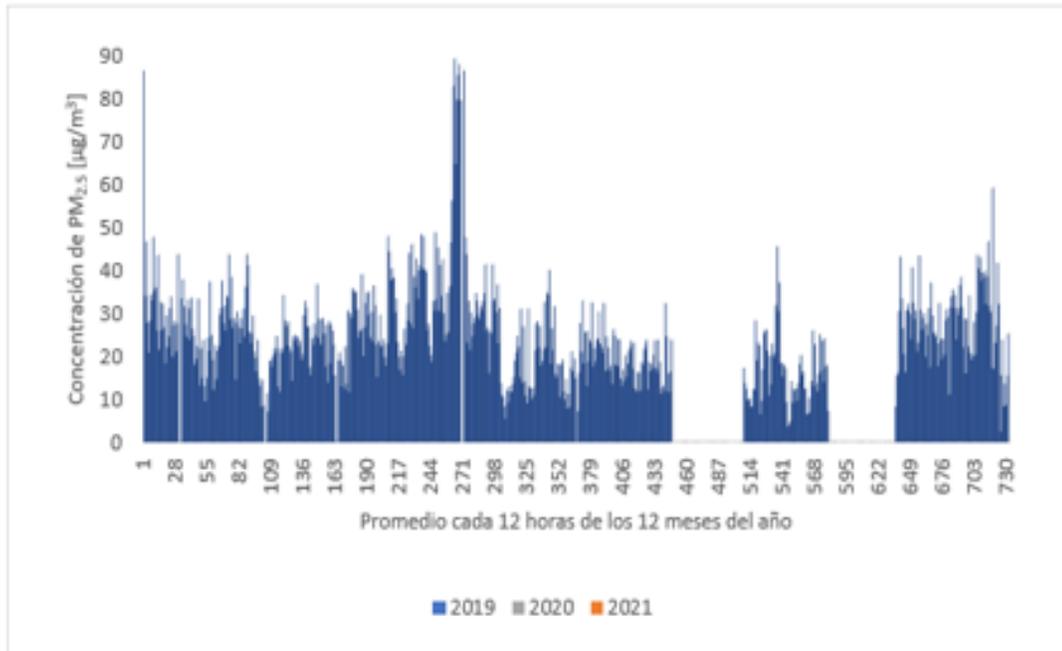


Figura 9

Comparativa del comportamiento de $PM_{2.5}$, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo HGM



b) Contaminante NO_x .

Inicialmente el contaminante NO_x , se proporciona en unidades de *ppb*, estas unidades si se convirtieron, puesto que la norma NOM-172-SEMARNAT-2019 los solicita en son *ppm* (Partes por millón), ya que la norma indica que a partir de una concentración >0.210 ppm ya se considera una calidad del aire mala, se debe hacer la conversión a ppm para poder hacer un análisis, en este caso las concentraciones >210 ppb son el equivalente a >0.210 ppm, así como también la misma norma indica que las concentraciones se deben promediar cada hora y con 3 cifras significativas.

Una vez se promediaron las concentraciones, se procedió a graficar el comportamiento de los contaminantes por estación de monitoreo (ver figuras de la 14 a la 21), cabe destacar que se consideran 8784 valores, porque son promedios horarios para los 12 meses del año.

Figura 10

Comparativa del comportamiento de PM_{2.5}, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo MGH



Figura 11

Comparativa del comportamiento de $PM_{2.5}$, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo SAC

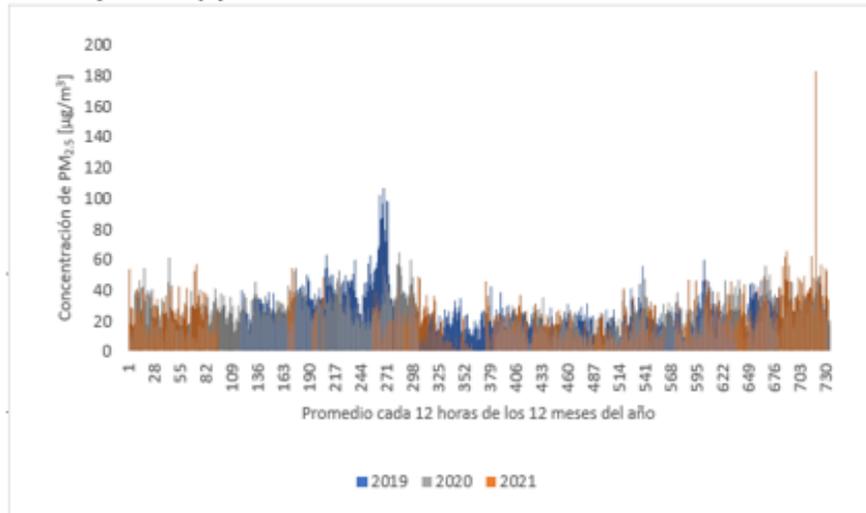


Figure 12

Comparativa del comportamiento de $PM_{2.5}$, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo UAX

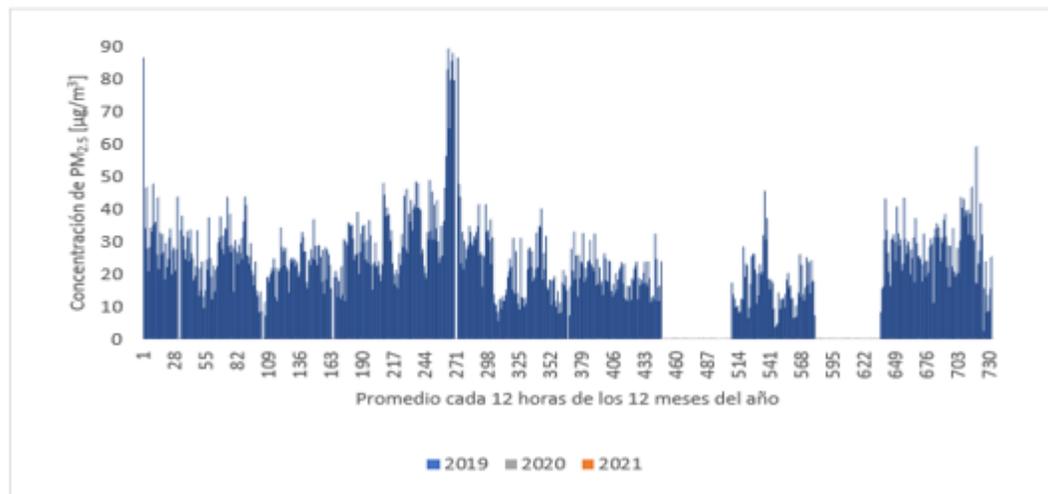


Figure 13

Comparativa del comportamiento de PM_{2.5}, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo UIZ

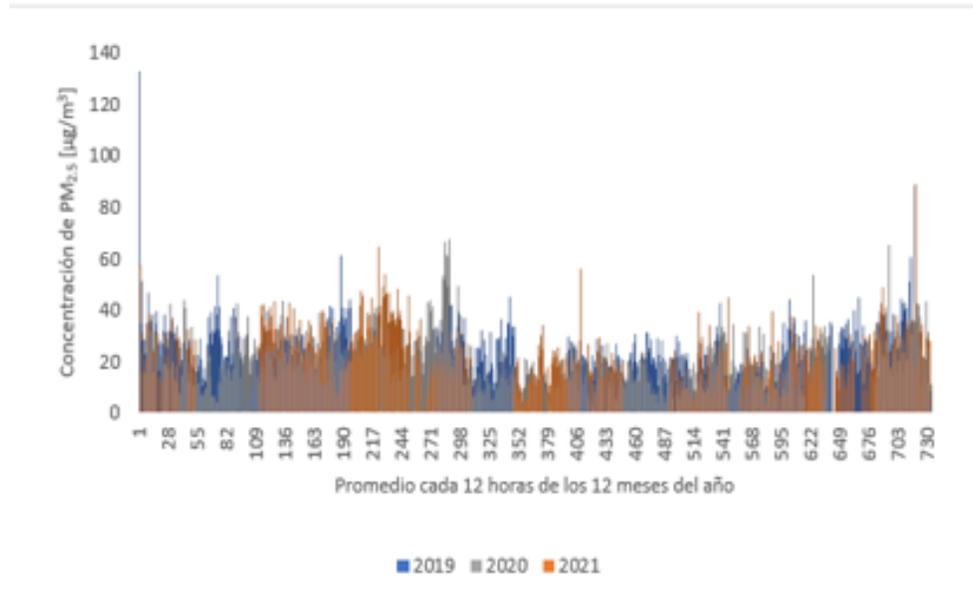
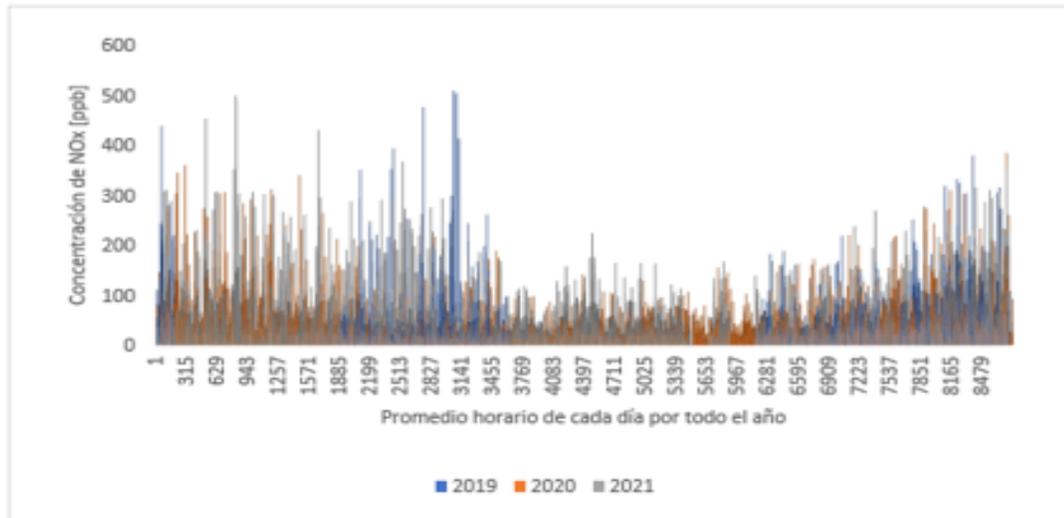


Figura 14

Comparativa del comportamiento de NOx, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo CAM



c) Contaminante CO.

Inicialmente el contaminante CO, se proporciona en unidades de *ppm* (Partes por millón), estas unidades no necesitaron convertirse a otro valor, ya que la norma NOM-172-SEMARNAT-2019 solicita las mismas, de igual forma esta indica que las concentraciones se deben promediar cada 8 horas, con 2 cifras significativas.

Una vez se promediaron las concentraciones, se procedió a graficar el comportamiento contaminantes por estación de monitoreo (ver figuras de la 22 a la 29), cabe destacar que se consideran 1095 valores, porque son promedios cada 8 horas para los 12 meses del año.

Figura 15

Comparativa del comportamiento de NOx, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo CCA

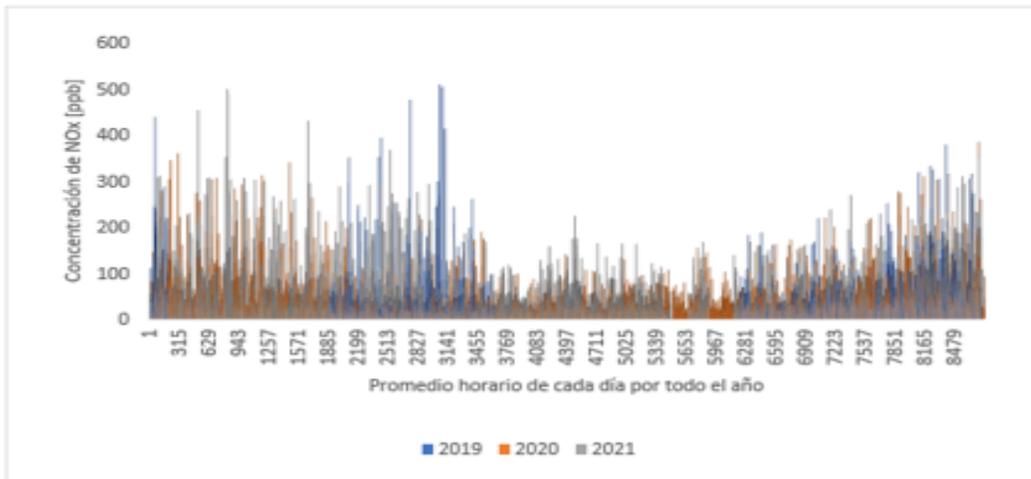


Figura 16

Comparativa del comportamiento de NOx, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo HGM

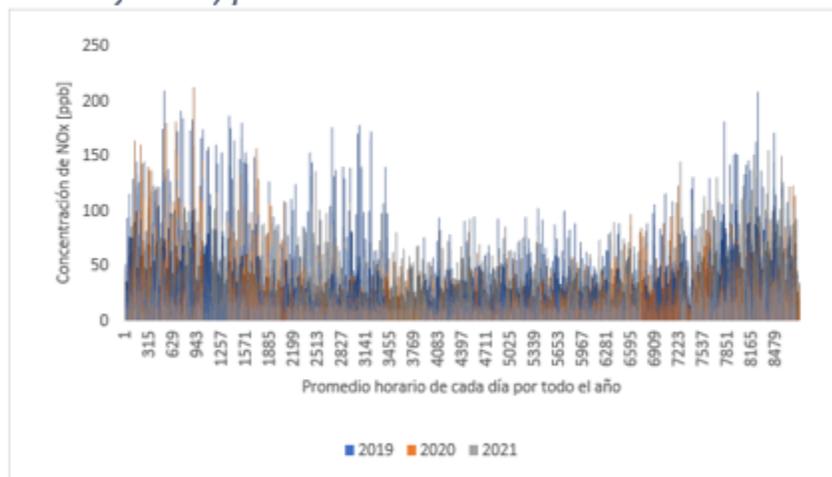


Figura 17

Comparativa del comportamiento de NOx, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo IZT

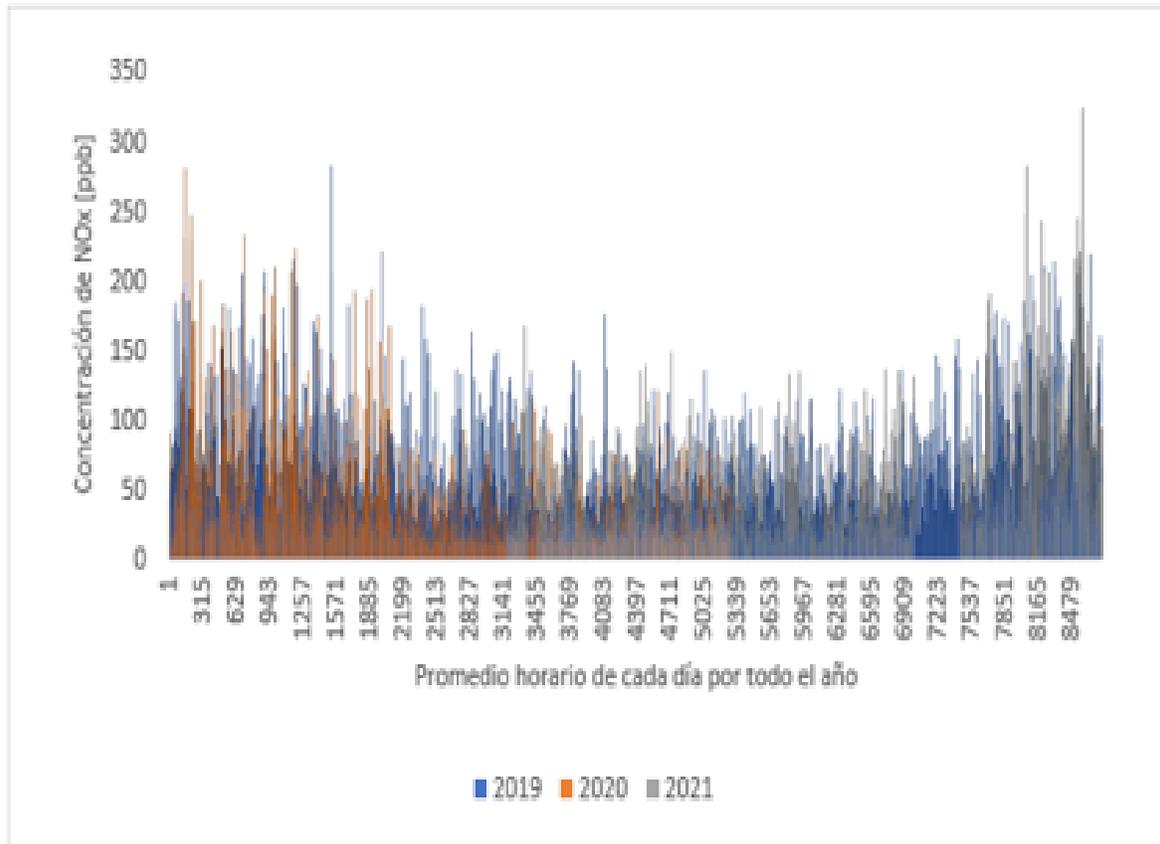


Figura 18

Comparativa del comportamiento de NOx, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo MGH

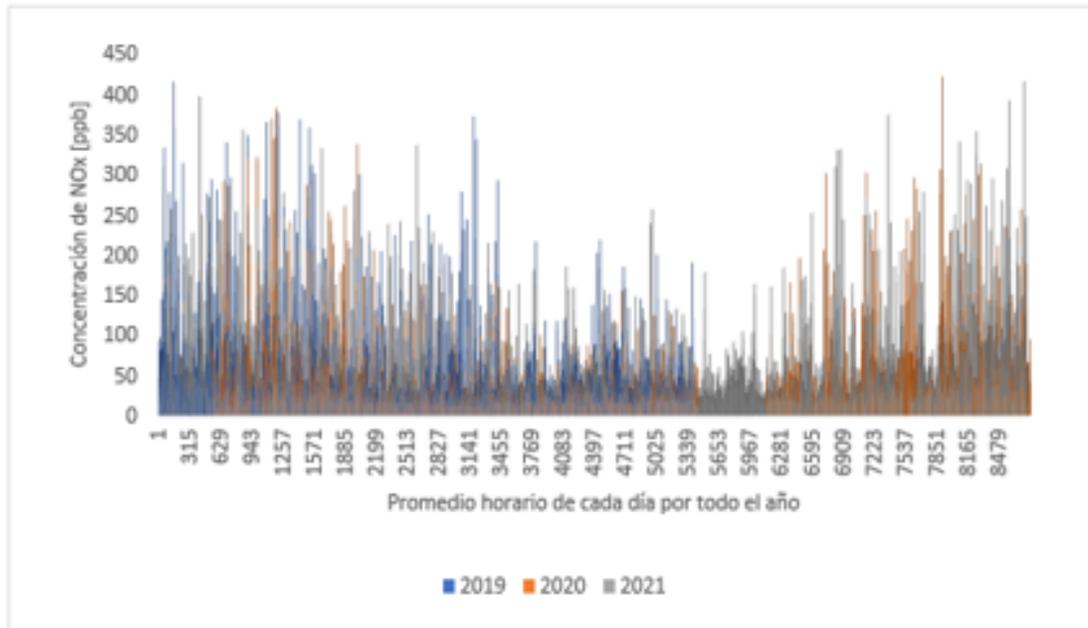


Figura 19

comparativa del comportamiento de NOx, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo SAC

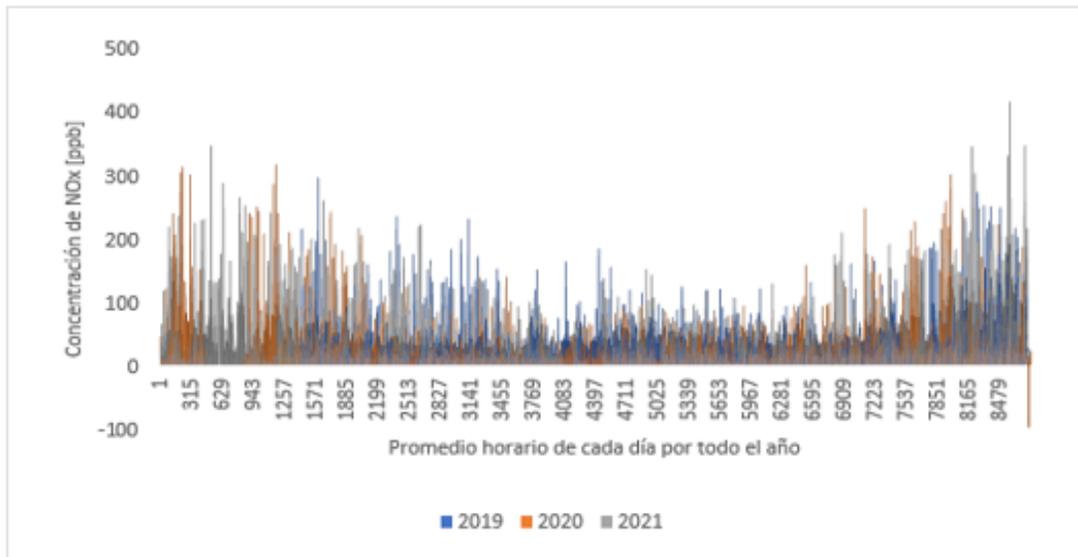
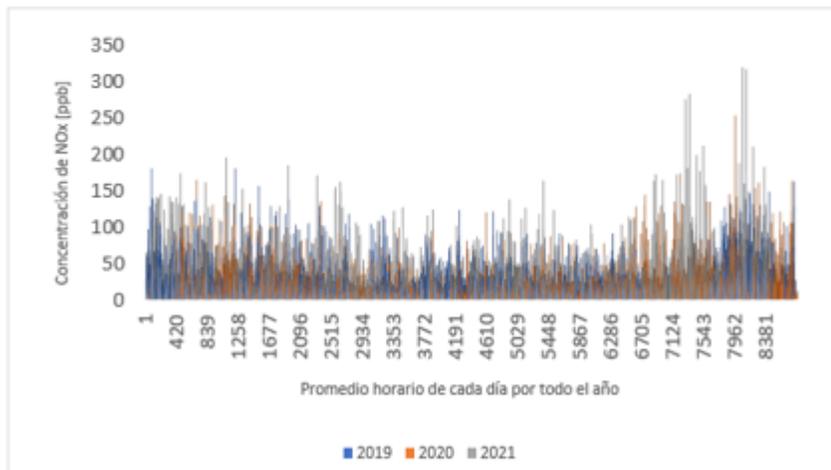


Figura 20

Comparativa del comportamiento de NOx, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo UAX



d) Contaminante CO.

Análisis de la calidad del aire en la cdmx, para identificar la presencia de los contaminantes...

Inicialmente el contaminante CO, se proporciona en unidades de *ppm* (Partes por millón), estas unidades no necesitaron convertirse a otro valor, ya que la norma NOM-172-SEMARNAT-2019 solicita las mismas, de igual forma esta indica que las concentraciones se deben promediar cada 8 horas, con 2 cifras significativas.

Una vez se promediaron las concentraciones, se procedió a graficar el comportamiento de los contaminantes por estación de monitoreo (ver figuras de la 22 a la 29), cabe destacar que se consideran 1095 valores, porque son promedios cada 8 horas para los 12 meses del año.

Figura 21

Comparativa del comportamiento de NOx, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo UIZ

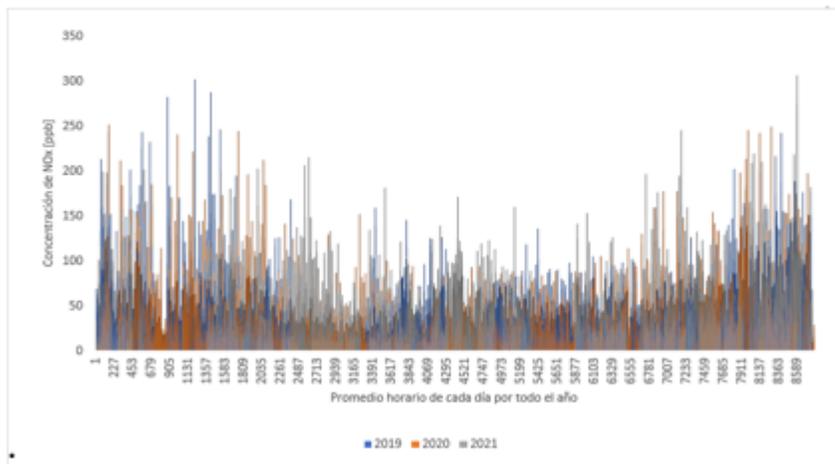
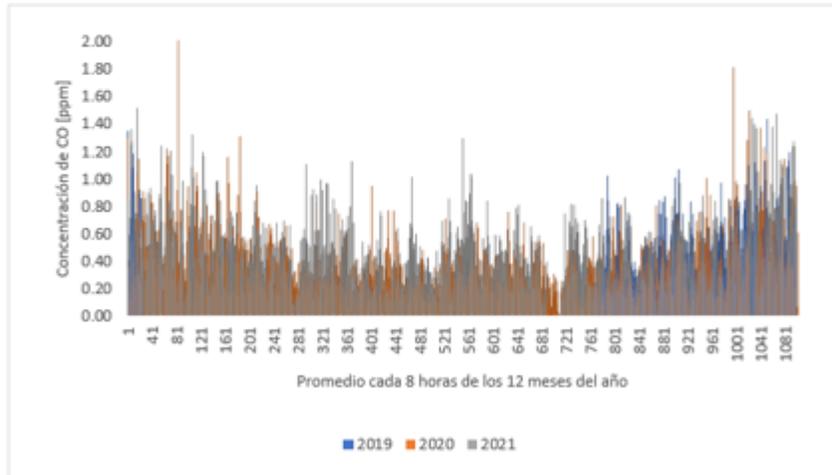


Figura 22

Comparativa del comportamiento de CO, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo CAM



Contaminante SO₂

Inicialmente el contaminante SO₂, se proporciona en unidades de *ppb*, estas unidades si se convirtieron, puesto que la norma NOM-172-SEMARNAT-2019 los solicita en son *ppm* (Partes por millón), ya que la norma indica que a partir de una concentración >0.110 ppm ya se considera una calidad del aire mala, se debe que hacer la conversión a ppm para poder hacer un análisis, en este caso las concentraciones >110 ppb son el equivalente a >0.110ppm, así como también la misma norma indica que las concentraciones se deben promediar cada 24 horas y con 3 cifras significativas.

Una vez se promediaron las concentraciones, se procedió a graficar el comportamiento de los contaminantes por estación de monitoreo (ver figuras de la 30 a la 37), cabe destacar que se consideran 366 horas, porque son promedios cada 24 horas equivalentes a un día, para los 12 meses del año.

Figura 23

Comparativa del comportamiento de CO, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo CCA

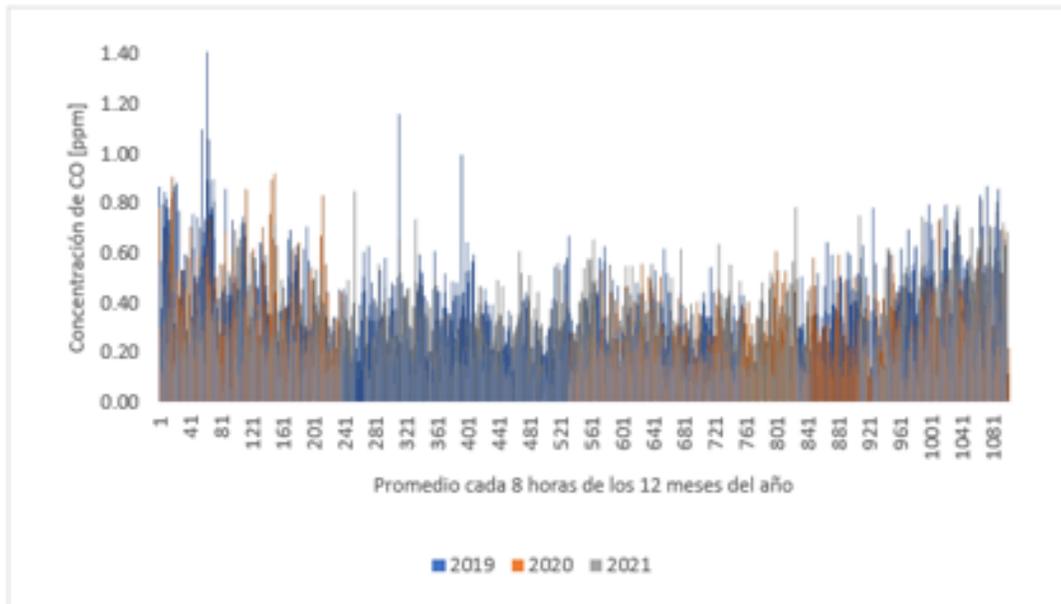


Figura 24

Comparativa del comportamiento de CO, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo HGM

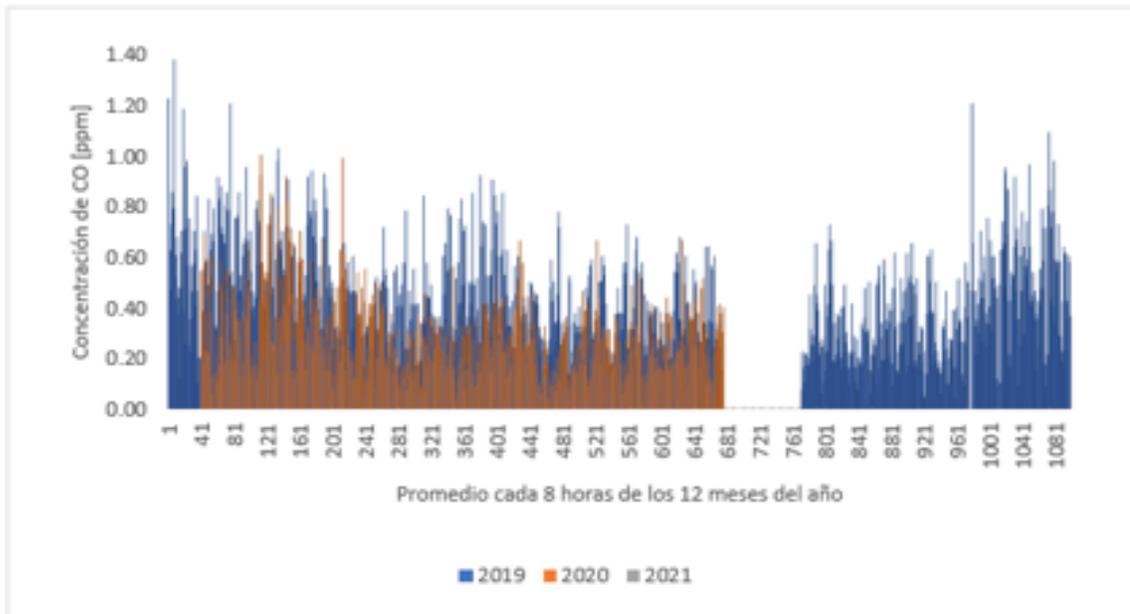


Figura 25

Comparativa del comportamiento de CO, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo IZT

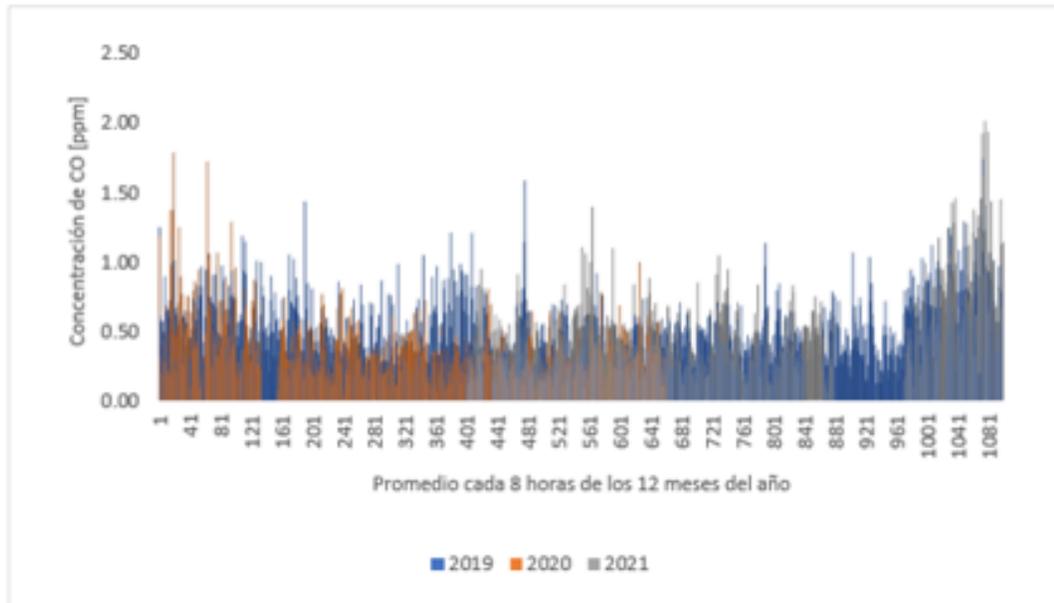


Figura 26

Comparativa del comportamiento de CO, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo MGH

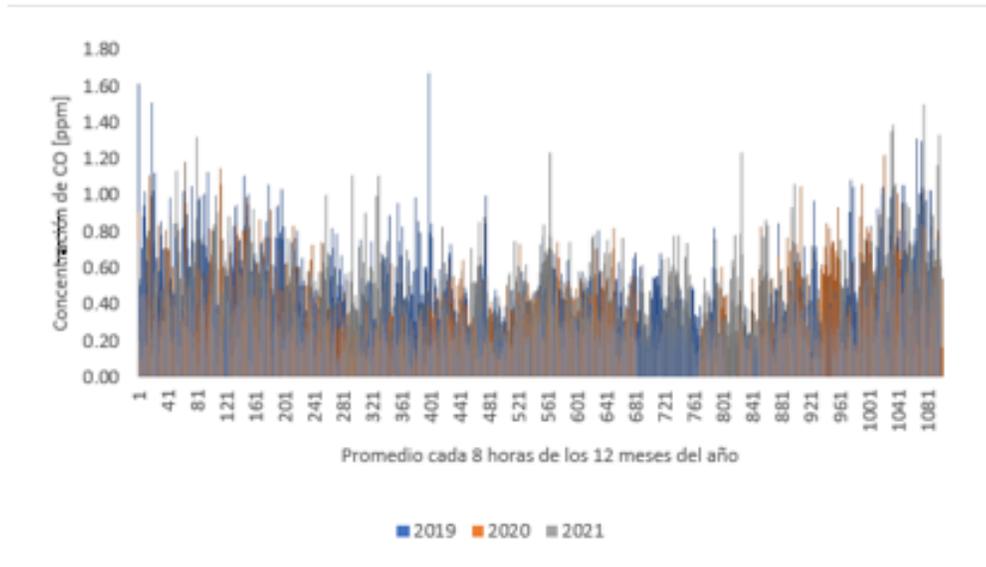


Figura 27

Comparativa del comportamiento de CO, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo SAC

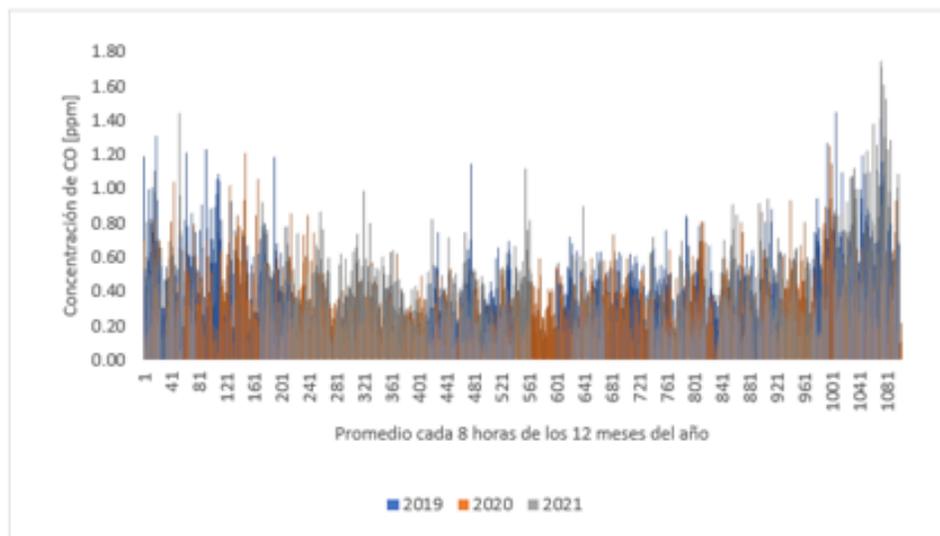


Figura 28

Comparativa del comportamiento de CO, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo UAX

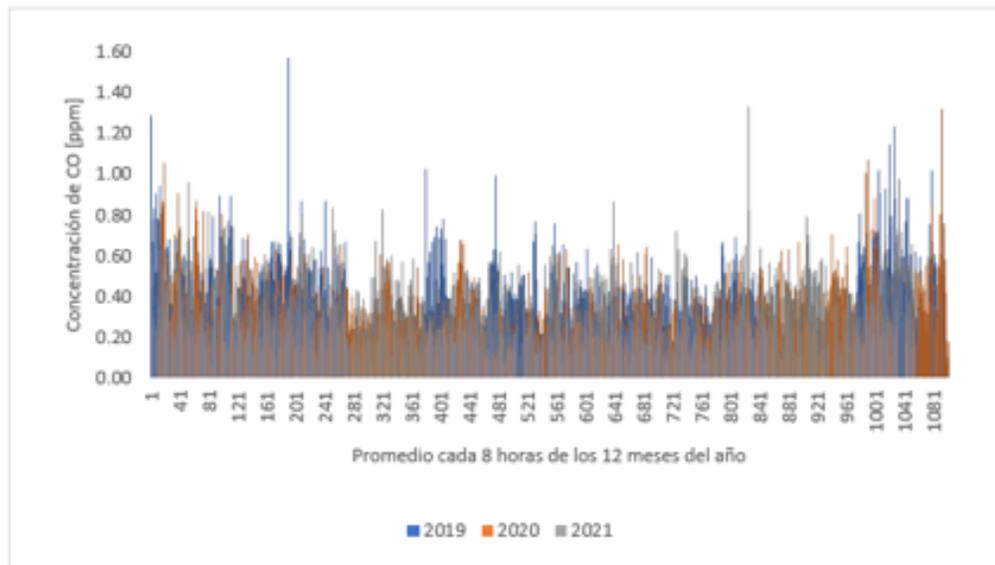


Figura 29

Comparativa del comportamiento de CO, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo UIZ

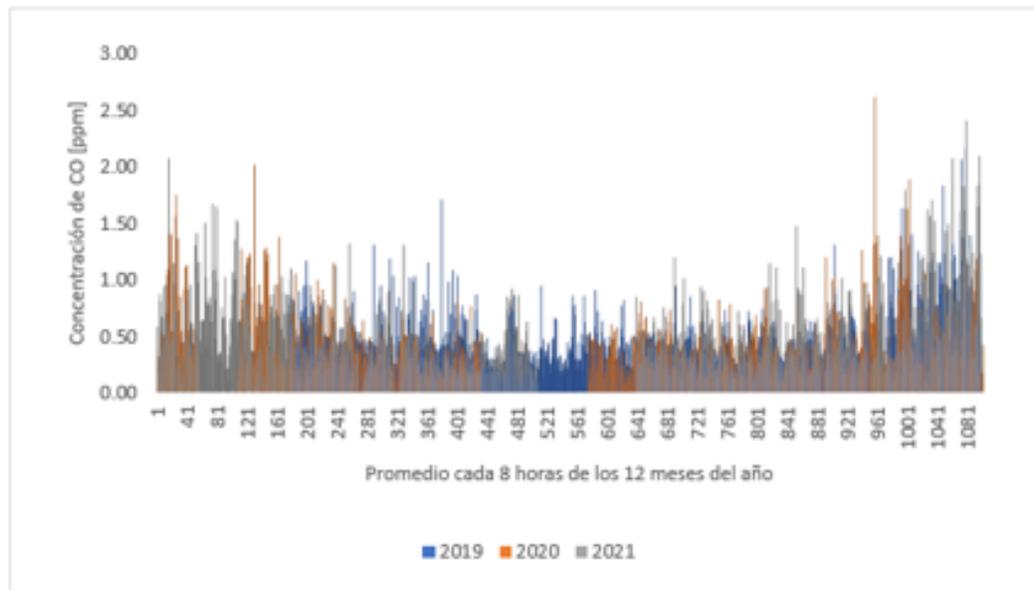


Figura 30

Comparativa del comportamiento de SO₂, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo CAM

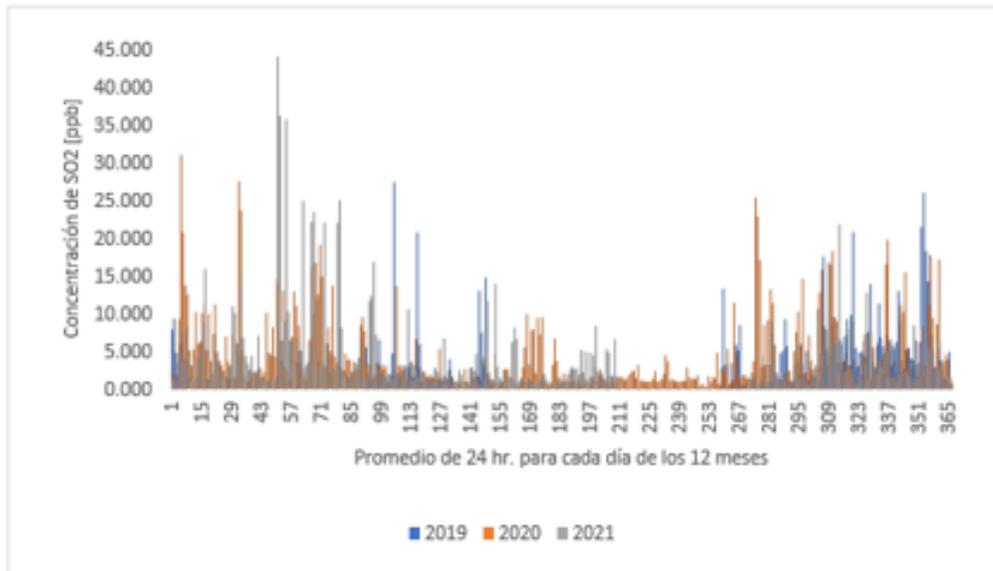


Figura 31

Comparativa del comportamiento de SO₂, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo CCA

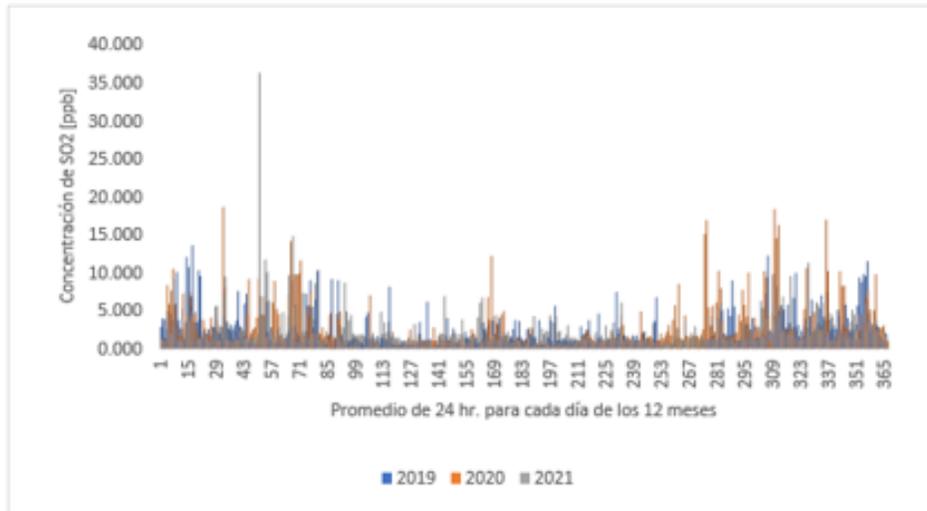


Figura 32

Comparativa del comportamiento de SO₂, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo HGM

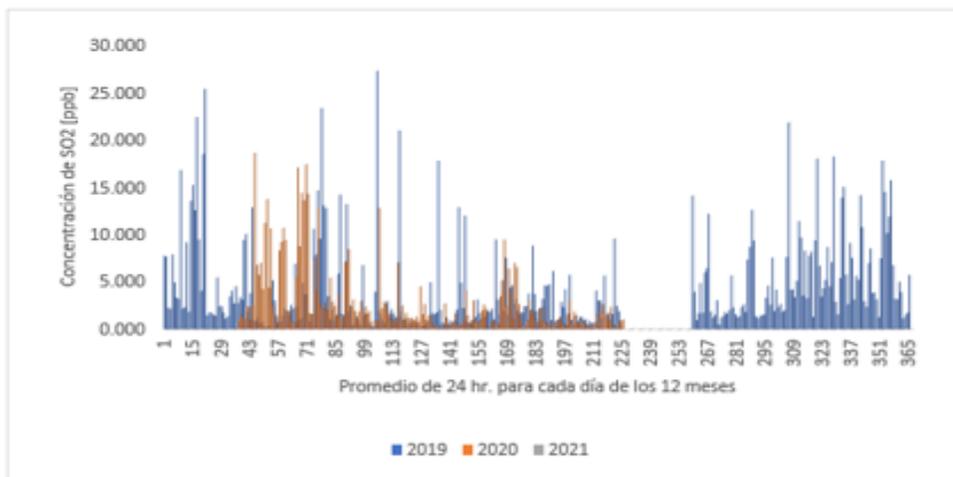


Figura 33

Comparativa del comportamiento de SO₂, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo IZT

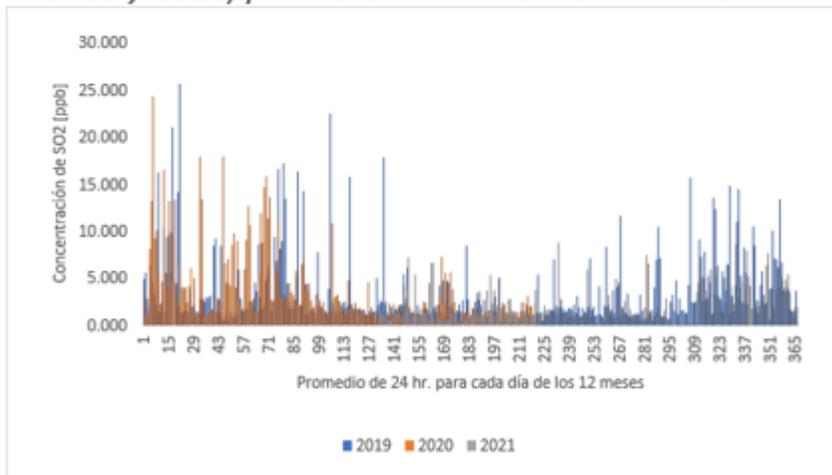


Figura 34

Comparativa del comportamiento de SO₂, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo MGH

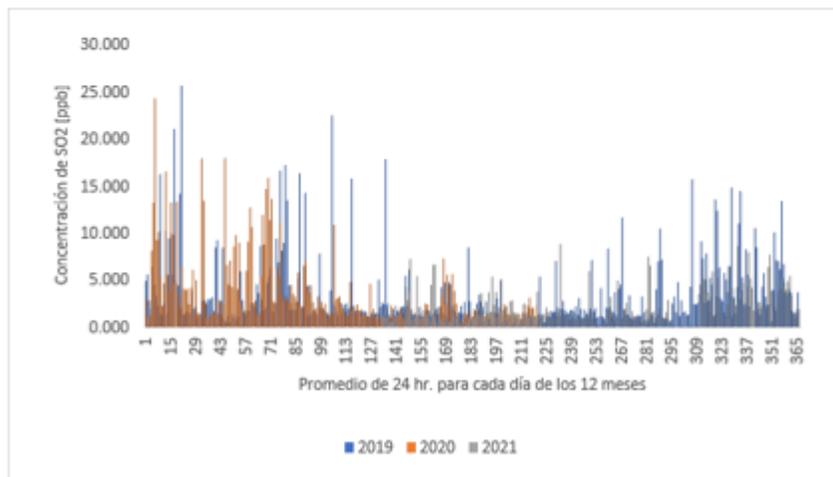


Figura 35

Comparativa del comportamiento de SO₂, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo SAC

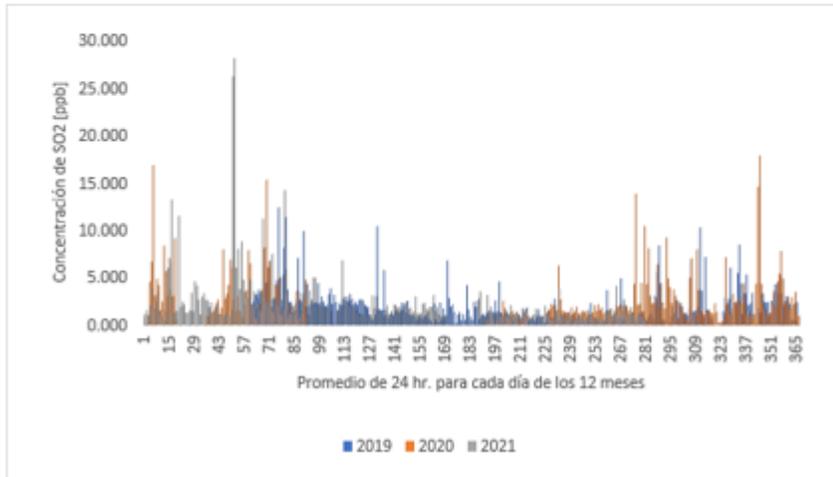


Figura 36

Comparativa del comportamiento de SO₂, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo UAX

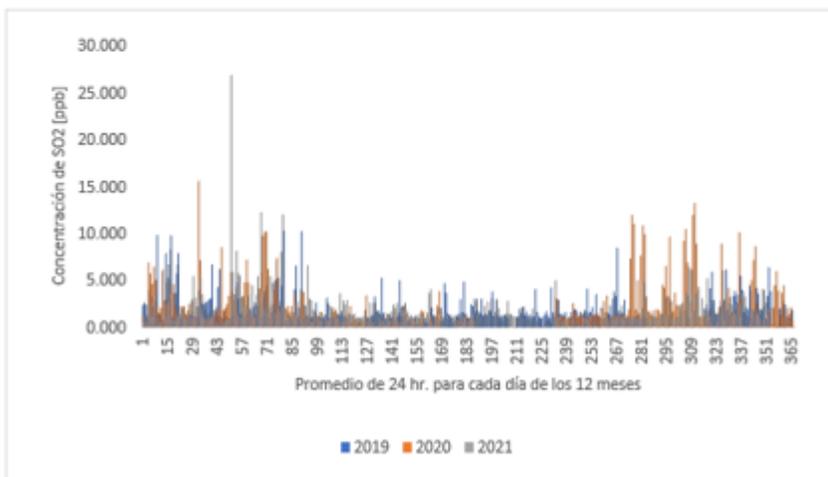
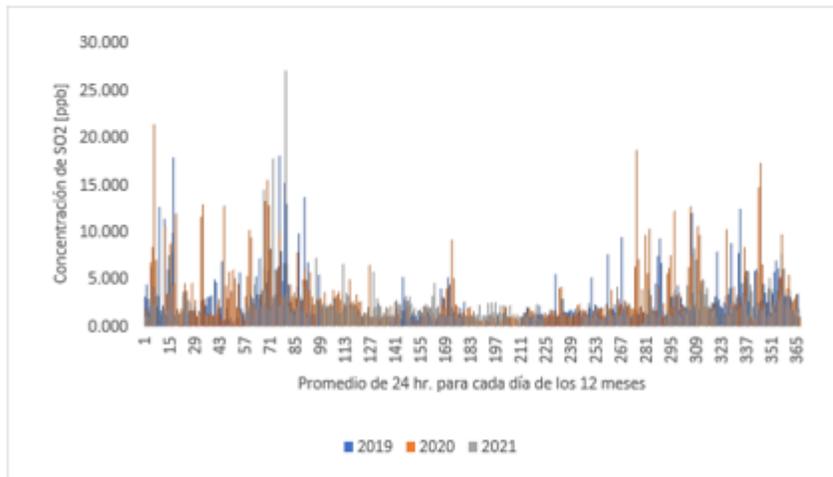


Figura 37

Comparativa del comportamiento de SO₂, en 2019, 2020 y 2021, para la estación de monitoreo UIZ



e) Contaminante SO₂

Inicialmente el contaminante SO₂, se proporciona en unidades de *ppb*, estas unidades si se convirtieron, puesto que la norma NOM-172-SEMARNAT-2019 los solicita en son *ppm* (Partes por millón), ya que la norma indica que a partir de una concentración >0.110 ppm ya se considera una calidad del aire mala, se debe que hacer la conversión a ppm para poder hacer un análisis, en este caso las concentraciones >110 ppb son el equivalente a >0.110ppm, así como también la misma norma indica que las concentraciones se deben promediar cada 24 horas y con 3 cifras significativas.

Una vez se promediaron las concentraciones, se procedió a graficar el comportamiento de los contaminantes por estación de monitoreo (ver figuras de la 30 a la 37), cabe destacar que se consideran 366 horas, porque son promedios cada 24 horas equivalentes a un día, para los 12 meses del año.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Contaminante PM₁₀

En la **Figura 1** donde se muestra la comparativa del comportamiento de PM₁₀, en 2019, 2020 y 2021, correspondiente al Velatorio Crematorio San Isidro, perteneciente a la alcaldía

Azcapotzalco, donde también está la estación de monitoreo Camarines (CAM); se puede observar que durante el periodo de pandemia, años 2020 y 2021, la concentración de partículas suspendidas PM_{10} fue mayor que en el año 2019, lo que evidencia que el contaminante analizado no fue emitido por vehículos automotores ni por los procesos industriales, los cuales estuvieron muy disminuidos durante estos años, a diferencia de la gran cantidad de cadáveres cremados en la CDMX en los años 2020 y 2021.

Con la **Figura 2** se comparó el comportamiento de las partículas PM_{10} , en el mismo periodo, sobre la base de la información obtenida correspondiente a los crematorios Funerales Flor del Saná e IMSS Velatorio Crematorio Dolores No.1, pertenecientes a la alcaldía Cuauhtémoc, donde también está la estación de monitoreo Hospital General de México (HGM). Esta estación reporta el 100% de información como valores faltantes para las partículas PM_{10} , lo cual representa una problemática debido a que esto no permite tener una visualización del contaminante o identificar si la calidad del aire fue buena.

La Comparativa del comportamiento de PM_{10} , en 2019, 2020 y 2021, tal como se muestra en la **Figura 3**, corresponde a los crematorios Agrícola Oriental, Crematorios Guadalupe y Crematorio Baltazar, perteneciente a la alcaldía Iztacalco, donde también está la estación de monitoreo Iztacalco (IZT). La gráfica muestra que hubo un monitoreo bastante sostenido, reflejando que la calidad del aire bueno disminuyó a través de los años, ya que en 2019 fue de 531 promedios, mientras que para el 2020 bajo a 385 y para el año 2021 fue de 350, demostrando también que esta estación de monitoreo paso de marcar como valore faltantes solo el 4%, a designar hasta el 45% como valore faltantes, disminuyendo la visualización de días con mala calidad del aire o hasta extremadamente mala.

En la **Figura 4**, cuyos resultados son reportados por los crematorios Crematorio Británico y Crematorio Panteón Español, que pertenecen a la alcaldía Miguel Hidalgo, donde se encuentra también la estación de monitoreo Miguel Hidalgo (MGH), no reporta resultados de emisión para los años 2020 y 2021, siendo a su vez, muy limitados los reportados para 2019. Peor aún sucede con los reportes mostrados en la **Figura 5** correspondiente a los crematorios San Lorenzo Tezonco, San Nicolás Tolentino, Crematorio S/N y Crematorio Leyes

de Reforma, que están en la alcaldía Iztapalapa, donde también se encuentra la estación de monitoreo Santiago Acahualtepec (SAC).

El reporte que se muestra en la **Figura 6**, representa el comportamiento de las concentraciones de PM_{10} en los períodos estudiados, de los crematorios Crematorio San Lorenzo Tezonco, Crematorio San Nicolás Tolentino, Crematorio S/N y Crematorio Leyes de Reforma, como ya antes se mencionó pertenecientes a la alcaldía Iztapalapa, donde también la estación de monitoreo UAM Iztapalapa (UIZ) registra las concentraciones del contaminante. La gráfica demuestra la presencia de concentraciones elevadas en las mediciones de los contaminantes PM_{10} , comprobando que a pesar de que hubo detenimiento industrial y vehicular en el año 2020 se continuo el registro de concentraciones iguales a las del 2019, así como también en 2021 hubo una mayor cantidad de registros con niveles de concentraciones que indican una muy mala calidad del aire, lo que corresponde con los momentos de mayor cremación de cadáveres en la CDMX.

Como resultado del análisis efectuado, se encontró que, en el año 2019 el 16.6% de las estaciones de monitoreo (estaciones proporcionadas por RAMA y cercanas a los crematorios), registro como valores faltantes el 100% de sus monitoreos, mientras que en el año 2020 el 50% de estas estaciones registró como valores faltantes el 100% de sus monitoreos, y para el año 2021 el 33.3% de las estaciones marcaron como valores faltantes el 100% de sus valores, cabe mencionar que una de las estaciones proporcionó el 5% de sus registros, marcando como valores faltantes el 95% de las concentraciones (ver tabla 6).

Contaminante $PM_{2.5}$

Las representaciones de las comparaciones respecto al comportamiento de las macropartículas $PM_{2.5}$ para las estaciones de monitoreo CAM y Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA), se muestran en las **Figuras 7 y 8** respectivamente. De las representaciones se observa que ambas estaciones realizaron un control sostenido y homogéneo en las mediciones del contaminante, siendo más sostenido el monitoreo de la estación de CCA. En ambos casos las mediciones demuestran la presencia de las partículas $PM_{2.5}$ durante todo el período de estudio, y principalmente durante el período de pandemia correspondiente al intervalo 2020 y 2021.

La comparación del monitoreo de las estaciones HGM y MGH, representada en las **Figuras 9 y 10**, demuestran que no hubo mediciones de las concentraciones de partículas $PM_{2.5}$ durante los años 2020 y 2021, igual como sucedió con el monitoreo de las partículas PM_{10} , siendo aún peor el monitoreo de la estación MGH, cuyo control del año 2019 no es representativo de las concentraciones de ese año.

Por su parte, las estaciones de monitoreo SAC, UAM Xochimilco (UAX) y UIZ, demuestran en las representaciones del comportamiento de las concentraciones de las partículas $PM_{2.5}$ de las **Figuras 11, 12 y 13**, la presencia de esta partícula contaminante durante los periodos estudiados 2019, 2020 y 2021. Las mediciones muestran un graficado homogéneo y sostenido en el tiempo lo que permite resaltar la permanente presencia de este contaminante, principalmente en la etapa de pandemia.

También se encontró que, en el año 2019 el 14.2% de las estaciones de monitoreo, marco hasta el 61% de sus resultados de monitoreo como valores faltantes, mientras que en el año 2020 el 28.5% de estas estaciones registro como valores faltantes el 100% de sus monitoreos, y para el año 2021 el 28.5% de las estaciones marcaron como valores faltantes el 100% de sus valores registrados (ver tabla 8).

Contaminante NO_x

Al observar la **Figura 14** para la estación de monitoreo CAM, podemos derivar que las emisiones de NO_x tuvieron una presencia sostenida en el tiempo, con una marcada contaminación según las mediciones correspondientes a los años 2020 y 2021. Las mediciones obtenidas por esta estación sobrepasan los valores de 0.210 ppm acorde a la norma NOM-172-SEMARNAT-2019, se puede observar que, para los tres años se alcanzaron concentraciones de extremadamente mala calidad del aire, en 2019 se alcanzó en 37 ocasiones, en 2020 fueron 34 ocasiones aun considerando que en esta etapa se detuvieron grandes procesos que lo liberan, así como también en 2021 se alcanzó en 49 ocasiones, superando a los años 2019 y 2020.

La **Figura 15** muestra la comparación de las mediciones reportadas por la estación de monitoreo CCA, presentes en la misma alcaldía que los crematorios Santa Gloria Velatorios y Naser Ruca Hornos Crematorios. Al igual que el análisis realizado para la Figura 1, se observa la presencia de NO_x para las mediciones correspondientes a los años 2020 y 2021.

En su totalidad se observa que no se superó el valor permisible de la norma NOM-172-SEMARNAT-2019. Manteniéndose una calidad regular del aire, sin embargo, se observa un sostenido comportamiento en los 3 años.

En la **Figura 16** se registran las mediciones correspondientes a las emisiones de NOx de la estación de monitoreo HGM, cuyos registros comparativos no son homogéneos en los años 2019 y 2020, de igual forma en 2021 todos los datos fueron registrados como valores faltantes, por lo que no hay una sostenibilidad en la frecuencia de mediciones, la falta de datos no permite realizar un análisis válido debido a que la información del 2020 es limitada. Para la **Figura 17** se registran las mediciones correspondientes a las emisiones de NOx monitoreadas por la estación de monitoreo IZT. La representación gráfica muestra que hubo presencia del contaminante NOx durante el período de estudio, del año 2019 al 2021, se puede ver un marcado comportamiento que sobrepasa los valores de 0.210 ppm, principalmente los años 2020 y 2021 con mayor cantidad de valores, que alcanzan la mala, muy mala y extremadamente mala calidad del aire.

En la representación **Figura 18**, los registros corresponden a la estación de monitoreo MGH donde similar a la representación del reporte de la estación IZT, se muestra una presencia del contaminante NOx principalmente en los años 2020 y 2021. Durante los primeros cuatro meses y los últimos tres meses de medición, se observan picos que superan el valor límite permisible de emisión de NOx según la norma NOM-172-SEMARNAT-2019, lo que puede relacionarse con un incremento en las cremaciones de cadáveres.

Los datos del monitoreo de la estación SAC, representados en la **Figura 19**, muestran un nivel de contaminación que sobrepasan los valores de 0.210 ppm, principalmente el año 2020, siendo el comportamiento del 2019 muy similar al del año 2021; mientras que los datos mostrados en la **Figura 20**, correspondiente a la estación de monitoreo UAX demuestra, que los valores de NOx, llegaron a una calidad del aire extremadamente mala tanto en el año 2020 como en el 2021.

Finalmente, los datos monitoreados por la estación de monitoreo UIZ y presentados en la **Figura 21**, muestran la presencia del contaminante NOx en el periodo de estudio,

manteniéndose los valores que sobrepasan la calidad regular del aire, llegándose a presentar horarios de mala, muy mala y hasta extremadamente mala calidad del aire.

Los niveles de NO_x, aunque de manera general, no sobrepasan el límite establecido por la norma, si están presentes y pueden haberse producido por la combustión del nitrógeno presente en la troposfera que comprende cerca del 80 % de la masa gaseosa. Relacionado con el proceso de cremación, los NO_x se formaron durante la cremación de los cuerpos, los que, en su constitución, tienen una cuarta parte de este elemento químico. El NO₂, principal componente de la masa de NO_x, tiene una gran capacidad de penetrar a los pulmones provocando bronquitis y pulmonía. Asimismo, constituye uno de los reaccionantes principales en la formación del ozono troposférico.

Como análisis final de este contaminante se encontró que, en el año 2019, el 75% de las estaciones de monitoreo presento índices de mala, muy mala y extremadamente mala calidad del aire, así como también el 25% de las estaciones, registro del 41% al 51% de sus resultados de monitoreo como valores faltantes; para el año 2020, el 87.5% de las estaciones de monitoreo presentó índices de mala, muy mala y extremadamente mala calidad del aire, así como también se encontró que el 25% de estas estaciones registró como valores faltantes desde el 43% a 45% de su monitoreo; finalmente para el año 2021, el 75% de las estaciones de monitoreo presentó índices de mala, muy mala y extremadamente mala calidad del aire, eso considerando que el 12.5% de las estaciones marcaron como valores faltantes el 100% de sus valores, así como también para este año el 12.5% registró como valores faltantes el 44% de su monitoreo (ver tabla 10).

Contaminante CO

Todas las estaciones de monitoreo reportaron valores bajos del contaminante CO para los períodos estudiados, pero con una presencia permanente del contaminante.

Las **Figuras 22 y 23**, representan el monitoreo de las concentraciones del contaminante atmosférico CO, correspondiente a las estaciones CAM y CCA. Durante el año 2019 se observa la falta de valores para CAM, pero las mediciones de los años 2020 y 2021 se realizaron de manera sostenida en el tiempo, demostrándose la presencia del contaminante durante todo el período estudiado. En cuanto a CCA se puede observar que los valores son

más homogéneos, permitiendo observar cómo los valores de calidad buena del aire en el año 2020 disminuyeron, manteniéndose muy iguales en los años 2019 y 2021.

El monitoreo del contaminante CO realizado por la estación HGM y presentado en la **Figura 24**, muestra la falta de valores durante el año 2021 y la reducción de los valores de monitoreo de las emisiones del año 2020. No obstante, con la información presentada, se observa un comportamiento muy similar del contaminante. Por su parte se pueden visualizar los valores presentados por la estación de monitoreo IZT en **Figura 25**, está muestra un monitoreo más sostenido en los años 2020 y 2021, sin embargo, ahora es el año 2019 donde se presentan problemas con los valores proporcionados, ya que están mucho más reducidos, por lo tanto, es difícil llevar a cabo un análisis válido y congruente para los valores presentados por esta estación de monitoreo.

Las estaciones de monitoreo MGH y SAC, muestran también en sus representaciones gráficas de las **Figuras 26 y 27**, un registro homogéneo de las mediciones realizadas demostrando la presencia del contaminante durante todo el período de estudio, revelando la presencia permanente del CO durante el año 2020 y el período del año 2021. Estos resultados confirman un comportamiento muy similar del contaminante en los 3 años.

Por su parte los registros del monitoreo de las estaciones UAX y UIZ, representados en las **Figuras 28 y 29**, en cuanto a los valores proporcionados por la estación de UAX, estos si son sostenidos en el periodo de estudio, demostrando un comportamiento constante del contaminante CO. Sin embargo, para la estación de monitoreo UIZ, fue un poco diferente puesto que a pesar de que en los años 2020 y 2021 si presentó valores sostenidos, para el año 2019, fueron registrados muy pocos valores, por lo tanto, es difícil realizar un análisis válido y congruente para los valores presentados por esta estación de monitoreo.

Finalmente se puede analizar, que este contaminante no sobrepasó los límites establecidos por la normatividad, sin embargo, tuvo un comportamiento constante para los 3 años. De igual manera se encontró que en el año 2019 el 25% de las estaciones de monitoreo, marcó hasta el 68% de sus resultados como valores faltantes, mientras que en el año 2020 el 25% de estas estaciones registró como valores faltantes el 42% de su monitoreo, y para el año 2021 el 12.5% de las estaciones marcaron como valores faltantes el 100% de su monitoreo,

así como también para este año el 12.5% registró como valores faltantes el 46% de su monitoreo (ver tabla 12).

Contaminante SO₂

Todas las estaciones de monitoreo reportaron valores muy bajos del contaminante SO₂ para los períodos estudiados, pero con una presencia permanente del contaminante.

Las estaciones CAM y CCA, representadas respectivamente en las **Figuras 30 y 31**, CAM, presenta fallas en el año 2019, debido a que más de la mitad de sus datos se presentan como valores faltantes, no permitiendo un análisis congruente de sus resultados, sin embargo, la estación de monitoreo CCA si muestra un control sistemático y estable sus resultados.

Para las estaciones HGM e IZT representadas respectivamente por las **Figuras 32 y 33**, la estación de monitoreo HGM tuvo irregularidades en las mediciones que realizó, puesto que a pesar de que en el 2019 presentó la mayoría de los valores, en el año 2020 tuvo un aumento de valores registrados como faltantes, y para el año 2021, marcó todos sus valores como faltantes, bajo estas condiciones no es posible realizar un análisis congruente de esta estación de monitoreo; en cuanto a la estación IZT ocurre algo muy parecido, puesto que mientras que en el año 2019 se presenta de manera sostenida su monitoreo, para los años 2020 y 2021 se puede observar una reducción de valores.

En cuanto a las estaciones de monitoreo MGH, SAC, UAX y UIZ, representados por las **Figuras 34, 35, 36 y 37**, respectivamente, éstas si mantuvieron un monitoreo estable y sistemático de las emisiones de SO₂ durante todo el período estudiado, en los cuales se puede observar un comportamiento muy parecido del contaminante, para los años de estudio.

Aunque los valores de emisión no superaron el límite establecido por la norma NOM-172-SEMARNAT-2019, se puede analizar, que tuvo un comportamiento de concentraciones constante para los 3 años, concentraciones con las que puede llegar a ser capaz de formar una disolución ácida en presencia del agua atmosférica. Se encontró que en el año 2019 el 25% de las estaciones de monitoreo, marcó hasta el 54% de sus resultados como valores faltantes, mientras que en el año 2020 el 25% de estas estaciones registró como valores

faltantes del 40% hasta el 48% de su monitoreo, y para el año 2021 el 12.5% de las estaciones marcaron como valores faltantes el 100% de su monitoreo, así como también para este año el 12.5% registro como valores faltantes el 42% de su monitoreo (ver tabla 14).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación nos permiten confirmar la presencia de los contaminantes NO_x, SO₂, CO y Partículas Suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5}, en la atmósfera de la Ciudad de México en periodo de pandemia por Covid-19, aun cuando las actividades industriales, comerciales y de movilidad disminuyeron considerablemente en los años 2020 y 2021.

Los datos obtenidos permiten concluir que existen fuentes de emisiones de contaminantes a la atmósfera, que pudieran no estar ligadas a las actividades industriales, comerciales y de movilidad (transporte), pero que si impactan la calidad de la atmósfera de la Ciudad de México. En este caso el incremento de la cremación de cadáveres por Covid-19 en los años 2020 y 2021, podrían explicar o ser algunas de las causas de la no disminución, y en muchas estaciones de monitoreo del aumento en las concentraciones de dichos contaminantes.

De acuerdo con el análisis efectuado se puede afirmar que los contaminantes SO₂, CO y Partículas Suspendidas PM_{2.5}, aunque no aumentaron en el periodo 2020 y 2021, no disminuyeron como era de esperarse, es decir se mantuvieron presentes en un rango de valores similares en la atmósfera de la CDMX durante el periodo de estudio (2019, 2020 y 2021), aun cuando se vio disminuida la actividad industrial, comercial y la movilidad.

Las partículas Suspendidas PM₁₀ y los NO_x, presentaron resultados contundentes puesto que a pesar de que hubo menor movilidad y se vio disminuida la actividad industrial, las PM₁₀ continuaron registrando días de mala calidad del aire, por ejemplo, en la estación de monitoreo IZT en el año 2019 se tuvo un total de 531 promedios con buena calidad del aire, en 2020 fue de 385 promedios y para el año 2021, hubo un máximo de 350 promedios de buena calidad del aire; en cuanto a las NO_x, se puede observar cómo es que también hubo empeoramiento en la calidad del aire, esto se puede analizar ya que la extremadamente mala

Análisis de la calidad del aire en la cdmx, para identificar la presencia de los contaminantes...

calidad del aire en 2019 se registró con un 0.47%, en 2020 fue de 0.39% manteniéndose en niveles similares a los del año 2019, y en el 2021 se registró un 0.56%.

Durante el análisis efectuado pudimos observar que la eficiencia del sistema de monitoreo que efectúa la Dirección de Monitoreo Atmosférico de la CDMX es aproximadamente del 50%. Lo anterior debido a la gran cantidad de información que se pierde, producto de que sin una justificación técnica congruente la información de horas, días y semanas de monitoreo de contaminantes continuos, son despreciados (mediciones invalidadas) colocándoles la iniciales "nr" o "menos 99"; de esta manera no se consideran una gran cantidad de datos de días en donde la calidad del aire es de mala a extremadamente mala.

Cabe destacar que los porcentajes varían en el análisis de cada contaminante, puesto que mientras que para las partículas PM_{10} presentaron registros solo 6 estaciones de monitoreo de interés, para las partículas $PM_{2.5}$ fueron 7 estaciones las que presentaron valores, y para CO, NO_x y SO_2 presentaron registro hasta 8 estaciones de monitoreo de interés, aunado a esto se encontró en la Página de la Dirección de Monitoreo Atmosférico que al menos desde el año 2018, no se ha presentado un informe de alguna evaluación de desempeño de las estaciones de monitoreo.

Esto quiere decir, que urge realizar una evaluación de desempeño a las estaciones de monitoreo, puesto que hay estaciones que al menos en el año 2021, marcaron el 100% de sus registros de todos los contaminantes (PM_{10} y $PM_{2.5}$, CO, NO_x , SO_2) como valores faltantes, así como otras estaciones lo hicieron con casi el 50% de sus registros, esto es un resultado alarmante puesto que impide saber la calidad del aire respecto a esos contaminantes, y de esta manera se pierde la oportunidad de aplicar acciones de prevención, mitigación y control.

RECOMENDACIONES

1. Realizar lo antes posible una evaluación de desempeño a las diferentes estaciones de monitoreo, para identificar las causas por las que se invalidan tantos registros de monitoreo.

Análisis de la calidad del aire en la cdmx, para identificar la presencia de los contaminantes...

2. Indicar las unidades bajo las que se están expresando los valores de los contaminantes, para evitar confusiones al momento de descargarlos; ya que se dan casos en que se reporta una contingencia ambiental en unidades diferentes a las que se manejan en la normatividad vigente.
3. Actualizar la norma NADF-009-AIRE-2017 de acuerdo con las observaciones presentadas en esta investigación; lo anterior debido a que si se hace el promedio de 24 horas de las Partículas Suspendidas (PM₁₀ y PM_{2.5}) este no es confiable y representa un peligro para la salud de las personas. De igual forma esta norma solicita pasar las concentraciones a IMECA para poder evaluar la calidad del aire, en comparación con la NOM-172-SEMARNAT-2019 que evalúa la calidad del aire desde las concentraciones.
4. Debido a que no solamente los contaminantes CO, NO_x, SO₂ y Partículas Suspendidas (PM₁₀ y PM_{2.5}) son emitidos a la atmósfera, que la normatividad incluya más Límites Máximos Permisibles de contaminantes presentes en el aire.
5. Realizar investigaciones sobre las diferentes fuentes de emisiones a la atmósfera que impactan la calidad del aire en la Ciudad de México.

BIBLIOGRAFÍAS

Nava C. (20 de noviembre de 2020). Revisarán que crematorio de San Isidro cumpla normatividad tras denuncias. *El sol de México*. <https://www.elsoldemexico.com.mx/metropoli/cdmx/revisaran-que-crematorio-de-san-isidro-cumpla-normatividad-tras-denuncias-6039292.html>

Benavides S., Soto N., Ugalde L., Hernández S., Márquez F. (2021). Estimación del incremento de las emisiones de contaminantes a la atmósfera producto del proceso de cremación de cadáveres por covid-19 en la ciudad de México. *Ciencia Latina*. 5(6), 14-18. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1194

Dirección de Monitoreo Atmosférico. (s.f). Normatividad. <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnml=&dc=%27Yw==>

Dirección de Monitoreo Atmosférico. (s.f). Estaciones de monitoreo. <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnml=&dc=%27Yw==http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnml=%27&dc=ZA==>

Análisis de la calidad del aire en la cdmx, para identificar la presencia de los
contaminantes...

Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT). (septiembre de 2018). Objetivos de monitoreo de la calidad del aire de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). <http://www.aire.cdmx.gob.mx/objetivos-redes/objetivos-monitoreo-calidad-aire-rama.html>

Dirección de Monitoreo Atmosférico. (s.f). Contaminante. <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27aKBhnmI=%27&opcion=Zg==>

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). Norma Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud, D.O.F https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019#gsc.tab=0

Dirección de Monitoreo Atmosférico. (s.f). Consultas estadísticas de las concentraciones. <http://www.aire.cdmx.gob.mx/estadisticas-consultas/concentraciones/index.php>

ANEXOS

Nota: Por cuestiones de espacio para el artículo, los anexos no se prestan, en caso de requerirse, comuníquese con los autores.