

---

# MOVILIDAD URBANA Y CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DE TOLUCA A INICIOS DEL COVID-19

Urban mobility and air quality in the metropolitan area of Toluca at the beginning of COVID-19

Mobilidade urbana e qualidade do ar na área metropolitana de Toluca, no início da COVID-19

---

Juan Luis Retana-Olvera<sup>1</sup> , Mauricio Ruiz-Serrano<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca-México. Correo: [jretanao@uamex.mx](mailto:jretanao@uamex.mx), [mruizse@uaemex.mx](mailto:mruizse@uaemex.mx)

Fecha de recepción: 23 de julio de 2021.

Fecha de aceptación: 21 de septiembre de 2021.

## RESUMEN

**INTRODUCCIÓN.** La contingencia sanitaria provocada por el SARS-CoV-2 (Covid-19) ha representado un desafío a las ciudades en materia de transporte y movilidad. Colateralmente este fenómeno ha impactado en las condiciones ambientales y la calidad del aire de las zonas urbanas. **OBJETIVO.** La presente investigación tiene el propósito de averiguar si existe una correlación entre la movilidad del municipio de Toluca y la calidad del aire de la misma ciudad. **MÉTODO.** Contrastar la información proveída de la base de datos de *Apple Inc.* con respecto a los viajes realizados por los usuarios y las condiciones ambientales de la ciudad de Toluca en sus índices de calidad del aire en el periodo de febrero a julio 2020. **RESULTADOS.** Los resultados obtenidos indican que la población cambio drásticamente su comportamiento en materia de movilidad, por otro lado, los índices de la calidad del aire no decrecieron notablemente. **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.** Se evidencia que las actividades económicas y de movilidad de la región del Valle de Toluca disminuyeron debido a las normas sanitarias, sin embargo, la calidad del aire no mejoró como se esperaba.

**Palabras clave:** movilidad, calidad del aire, covid-19, Toluca.

---



Retana-Olvera & Ruiz-Serrano. Movilidad urbana y calidad del aire en la zona metropolitana de Toluca a inicios del Covid-19.  
Julio – Diciembre 2021

<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i2.377>





## ABSTRACT

**INTRODUCTION.** The health contingency caused by SARS-CoV-2 (Covid-19) has represented a challenge to cities in terms of transportation and mobility. Alongside these challenges, this phenomenon has influenced on the environmental conditions and air quality of urban areas. **OBJECTIVE.** The purpose of this research is to find out if there is a correlation between the mobility of the municipality of Toluca and the air quality of the same city. **METHOD.** Contrast the information provided from the Apple Inc. database regarding the trips made by users and the environmental conditions of the city of Toluca in its air quality levels in the period from February to July 2020. **RESULTS.** The results obtained indicate that the population drastically changed its behavior in terms of mobility, on the other hand, the air quality levels did not decrease significantly. **DISCUSSION AND CONCLUSIONS.** It is evident that the economic and mobility activities of the Toluca Valley region decreased due to sanitary standards, however, the air quality did not improve as expected.

**Keywords:** mobility, air quality, covid-19, Toluca.

## RESUMO

**INTRODUÇÃO.** O contingenciamento sanitário causado pelo SARS-CoV-2 (Covid-19) tem representado um desafio para as cidades em termos de transporte e mobilidade. Colateralmente, esse fenômeno tem impactado nas condições ambientais e na qualidade do ar das áreas urbanas. **OBJETIVO.** O objetivo desta pesquisa é descobrir se há correlação entre a mobilidade do município de Toluca e a qualidade do ar da mesma cidade. **MÉTODO.** Contraste as informações fornecidas do banco de dados da Apple Inc. sobre as viagens feitas pelos usuários e as condições ambientais da cidade de Toluca em seus índices de qualidade do ar no período de fevereiro a julho de 2020. **RESULTADOS.** Os resultados obtidos indicam que a população mudou drasticamente seu comportamento em termos de mobilidade, por outro lado, os índices de qualidade do ar não diminuíram significativamente. **DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.** É evidente que as atividades econômicas e de mobilidade da região do Vale do Toluca diminuíram devido às normas sanitárias, porém, a qualidade do ar não melhorou como esperado.

**Palavras-chave:** mobilidade, qualidade do ar, covid-19, Toluca.

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Toluca y la zona metropolitana del Valle de México se han caracterizado por ser urbes industrializadas. Según [1] desde el siglo XX se han convertido en un espacio estratégico de desarrollo en nuestro país, contribuyendo a una tercera parte del PIB nacional. Debido a lo anterior, estas urbes se caracterizan por una mala calidad del aire; este factor depende de distintos contaminantes, sin embargo, el polutante determinante son las PM10 (partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro varía entre 2.5 y 10  $\mu\text{m}$ ). Como lo hace notar [2], las ciudades con un problema serio en PM10 son Mexicali, la Zona Metropolitana del Valle Toluca (ZMVT), la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM)



Compartir

Retana-Olvera & Ruiz-Serrano. Movilidad urbana y calidad del aire en la zona metropolitana de Toluca a inicios del Covid-19.  
Julio – Diciembre 2021

<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i2.377>



Compartir



y Ciudad Juárez; para el resto de las ciudades, las concentraciones son menores, pero de todas formas rebasan los límites establecidos para la protección de la salud humana.

Por consiguiente, el considerable deterioro ambiental en la ciudad de Toluca ha generado una creciente preocupación en la salud pública y en las autoridades ambientales aunado a la actual pandemia del virus SARS-CoV-2 (Covid-19).

Por otro lado, en materia de movilidad, el área metropolitana de Toluca presenta evidentes problemas derivados del crecimiento acelerado de los asentamientos humanos, la estructura de usos del suelo dispersa y baja densidad, la mala calidad del servicio de transporte público, la estructura vial y la falta de planeación urbana [3]. Es evidente por lo anterior que una movilidad ineficiente genera pérdidas económicas y efectos negativos en el ambiente, así como una mala calidad del aire en la ciudad.

Con base en la información obtenida de [4], hasta el 31 de julio, los tres estados que han tenido un mayor número de contagios han sido la Ciudad de México, el Estado de México y Tabasco con 76804, 55726 y 22961, respectivamente.

La principal motivación de esta investigación es la de indagar si existe una correlación entre la movilidad del municipio de Toluca, a partir de la información proveída de la base de datos de Apple con respecto a los viajes realizados por los usuarios y las condiciones ambientales reportadas por la de Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México en sus índices de calidad del aire y riesgos a la salud en el periodo caracterizado por el inicio de la contingencia sanitaria del SARS-CoV-2 (Covid-19) de Febrero a Julio 2020. Del mismo modo, comparar la calidad del aire del mismo periodo con el año anterior, sin las restricciones de movilidad impuestas por los organismos de salud pública.

## Movilidad urbana

Las dos aplicaciones más populares de mapas móviles son *Google Maps* y *Apple Maps*, teniendo la ventaja la primera porque funciona tanto en teléfonos con sistema operativo Android como con IOS [5], a diferencia de la segunda que solo funciona en sistema IOS. Por lo anterior *Google Maps* tiene mayor porcentaje de usuarios. De acuerdo con la encuesta llevada a cabo en abril del 2018 por *Verto Analytics* [6] en los Estados Unidos aproximadamente el 10% de los usuarios usan *Apple Maps* contra casi el 80% que emplean algún producto de la compañía *Alphabet Inc.*

De la misma manera, el uso de los productos de la marca *Apple* en México - particularmente el *iPhone*- es empleado por del 10% del total de la población, según la encuesta anual 2019 realizada por *Deloitte* [7].

Asumiendo que la preferencia por uso en los Estados Unidos es extrapolable a la República Mexicana, entonces se tiene un uso de la aplicación *Apple Maps* de alrededor del 10% de los usuarios totales de aplicaciones de mapas móviles.

En México como en todo el mundo el número de viajes en transporte público y privado disminuyeron por las normas sanitarias que aplicaron los gobiernos para evitar los contagios masivos. La Secretaría de Salud publicó en el Diario Oficial de la Federación el Acuerdo por el que se suspenden actividades no esenciales el 31 de marzo del 2020 [8] entrando en vigor de inmediato, dando así comienzo a la cuarentena que duraría hasta el 14 de mayo del mismo año [9] cuando se comenzaron a flexibilizar las medidas permitiendo



Compartir



Compartir

que actividades como la industria de la construcción, minería y fabricación de equipo de transporte regresaran a operar, hasta que el 3 de julio se publicó en la Gaceta de Gobierno del Estado de México [10] que se permitiría la reanudación de actividades gubernamentales de atención al público así como la operación de restaurantes y plazas comerciales con algunas restricciones, dando así por concluida la primer cierre económico por la emergencia sanitaria.

En particular, según datos de [11], de los 19 millones de viajes diarios (Metro, Metrobús, RTP, Tren Ligero, Trolebús o Ecobici) de Febrero a Julio del 2020 se redujeron en un 75%; y en específico, en el metro se llegó a una disminución del 80% de su flujo habitual.

### Calidad del aire

Con base en los Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud [12], los niveles de los contaminantes que se deben medir y comunicar a la población correspondientes son:

**Ozono (O<sub>3</sub>):** Es un alótropo triatómico de oxígeno, en otras palabras, un átomo de oxígeno que en vez de tener 2 átomos como en la forma normal tiene 3. Se considera un contaminante atmosférico del tipo fotoquímico porque se forma a partir de la reacción de dióxido de nitrógeno e hidrocarburos -como los producidos por vehículos de combustión interna en la presencia de luz solar-. Los efectos sobre el cuerpo humano son: irritar los ojos y las membranas mucosas lo que en personas sensibles puede llevar a reacciones alérgicas [13].

Para determinar la concentración del ozono en el aire se usa el método de luminiscencia química que consiste en hacer entrar al mismo tiempo en una cámara aire y etileno, la porción de ozono presente en el aire reacciona con el etileno emitiendo luz que se mide a través de sensores [14].

**Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>):** Es un gas que se forma durante la combustión de carbón o petróleo que contienen azufre como una impureza, es escasa la producción de este gas por vehículos automotores. Este gas causa irritación de ojos y garganta, así como daño al tejido pulmonar [13].

Para determinar la concentración de SO<sub>2</sub> se toma una muestra de aire que se pasa a través de una solución de tetracloromercurato de potasio (TCM) para que el azufre reaccione y se forme un compuesto que posteriormente se expone a un otro de pararrosanilina lo que hace que el producto de esta reacción adquiera una coloración intensa que es la que se mide para determinar la concentración de este contaminante [15].

**Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>):** Los óxidos de nitrógeno se forman cuando las temperaturas de combustión son lo suficientemente altas que el nitrógeno molecular en el aire reacciona con el oxígeno. Estos óxidos son los causantes de que en las ciudades con altos niveles de contaminación se aprecie una capa café de humo. Las principales fuentes que lo producen son las plantas carboníferas y en menor medida los vehículos automotores. Este gas es muy irritante y ocasiona edema pulmonar y una acumulación excesiva de fluidos en los pulmones [13].



Compartir



Compartir



La concentración de NO<sub>2</sub> en el aire se obtiene de forma indirecta midiendo la intensidad de la luz a longitudes de onda mayores a 600 nanómetros resultante de la reacción de quimioluminiscencia entre el óxido nítrico (NO) y el Ozono (O<sub>3</sub>) [16].

**Monóxido de Carbono (CO):** Es un gas sin olor ni color que resulta de una combustión incompleta, particularmente se produce en motores a gasolina, aunque también ciertos productos industriales los producen, curiosamente las plantas generadoras de energía eléctrica producen muy poco porque están diseñadas para tener combustiones lo más completas posible. Es particularmente peligroso porque desplaza el oxígeno dentro del fluido sanguíneo lo que puede llevar a la asfixia en grandes concentraciones [13].

El método para medir la concentración de CO consiste en pasar un haz de luz a través de una muestra de aire midiendo la cantidad de energía que absorbió la muestra mediante un fotómetro y eso da la concentración en partes por millón de este contaminante [17].

**Partículas suspendidas iguales o menores a 10 micrómetros (PM10):** Son fragmentos de material sólido o líquido que pueden variar en cuanto a tamaño, forma y composición, el rasgo principal es que el tamaño va de 2.5 micrómetros hasta 10 micrómetros de diámetro, son producidas por vehículos principalmente los que funcionan a diésel y por industrias, así como de plantas generadoras de energía. Los principales efectos a la salud de estas partículas son: la incidencia de asma y en general afectación a los pulmones asociado a enfermedades respiratorias [18].

**Partículas suspendidas iguales o menores a 2.5 micrómetros (PM2.5):** Son las partículas que tienen un tamaño menor a 2.5 micrómetros, son producidas por el hombre como productos de la combustión de automotores como o de forma natural como las erupciones volcánicas, tolvánicas, incendios, etc. Al ser tan pequeñas llegan directo a los alvéolos y se traslada directo a la sangre y son las más nocivas para la salud de todos los contaminantes porque ocasionan problemas respiratorios, muerte prematura, irritación en ojos y garganta hasta problemas cardiacos como se menciona en [19] y [20].

Para medir la concentración tanto de PM2.5 como de PM10 se emplea el mismo método, que consiste en utilizar radiación de alta potencia para hacerla pasar a través de la muestra de aire impregnada en placas de cristal para medir la atenuación que tienen la radiación utilizada y en base a esa atenuación se determina la masa de las partículas para posteriormente calcular la concentración volumétrica considerando la cantidad de flujo, presión y temperatura [21], [22].

Los principales indicadores de la quema de gasolina son: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas y carbonos sin quemar, estos últimos al quedar suspendidos en el aire y al entrar en contacto con la luz solar se descomponen en ozono. Por lo tanto, los principales rastros para detectar un mayor consumo de gasolina y por lo tanto mayor movilidad en la zona de estudio son: Ozono, CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> [23].



Compartir



Compartir

## METODOLOGÍA

La base de datos de la intensidad de la movilidad de usuarios de automóviles es la publicada por la empresa *Apple* a lo largo del año 2020, donde se indica cuánto ha subido o bajado la demanda de indicaciones para llegar a algún sitio dentro de su aplicación de Mapas. Este sistema toma como base los datos del 13 de enero de 2020 como punto de referencia, es decir, los valores mayores a los registrados este día sobrepasarán el 100% y los menores quedarán por debajo. Los resultados se presentan por día sin tener desagregación horaria, algún ajuste estacional y siempre dentro de los límites de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Análogamente, este artículo incluyó la información obtenida de la Red Automática de Monitoreo de la Zona Metropolitana de la Zona Metropolitana de Toluca (RAMA), operada por la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México. Dicha red consta de 8 estaciones de monitoreo -como la que se presenta en la Imagen 1- repartidas en el territorio del Valle de Toluca como se muestra en la Imagen 2 y todas miden los siguientes contaminantes: O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> tal como lo indica la tabla 2. Además, funcionan como estaciones meteorológicas que miden distintos parámetros climatológicos. Cada contaminante tiene un rango de concentración límite con base en criterios de salud ambiental, por lo tanto, para estandarizar dichas concentraciones se emplea el índice metropolitano de calidad del aire (IMECA), el cual es una herramienta para informar sobre los niveles de contaminación de una manera fácil. La Tabla 1 indica la interpretación de la calidad del aire conforme a los puntos IMECA:

**Tabla 1. Interpretación de la calidad del aire según la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México**

Índice de Calidad del Aire	Condición	La calidad del aire es:
0 - 50	Buena	Adecuada para llevar a cabo actividades al aire libre
51 - 100	Regular	Se pueden llevar a cabo actividades al aire libre. Posibles molestias en niños, adultos mayores y personas con enfermedades
101 - 150	Mala	Causante de efectos adversos a la salud en la población, en particular los niños y los adultos mayores con enfermedades respiratorias como el asma o del corazón.
151 - 200	Muy mala	Causante de mayores efectos adversos a la salud en la población en general, en particular los niños y los adultos mayores con enfermedades respiratorias como el asma o del corazón.
>200	Extremadamente mala	Causante de mayores efectos adversos a la salud de la población en general. Se pueden presentar complicaciones graves en los niños y los adultos mayores con enfermedades respiratorias como el asma o del corazón.

Fuente: Elaboración propia con base en reporte mensual de contaminantes en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca [24]



Compartir

Retana-Olvera & Ruiz-Serrano. Movilidad urbana y calidad del aire en la zona metropolitana de Toluca a inicios del Covid-19.  
Julio – Diciembre 2021

<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i2.377>



Compartir



**Imagen 1. Estación Meteorológica**

Fuente: [25].



Compartir

Retana-Olvera & Ruiz-Serrano. Movilidad urbana y calidad del aire en la zona metropolitana de Toluca a inicios del Covid-19.  
Julio – Diciembre 2021

<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i2.377>



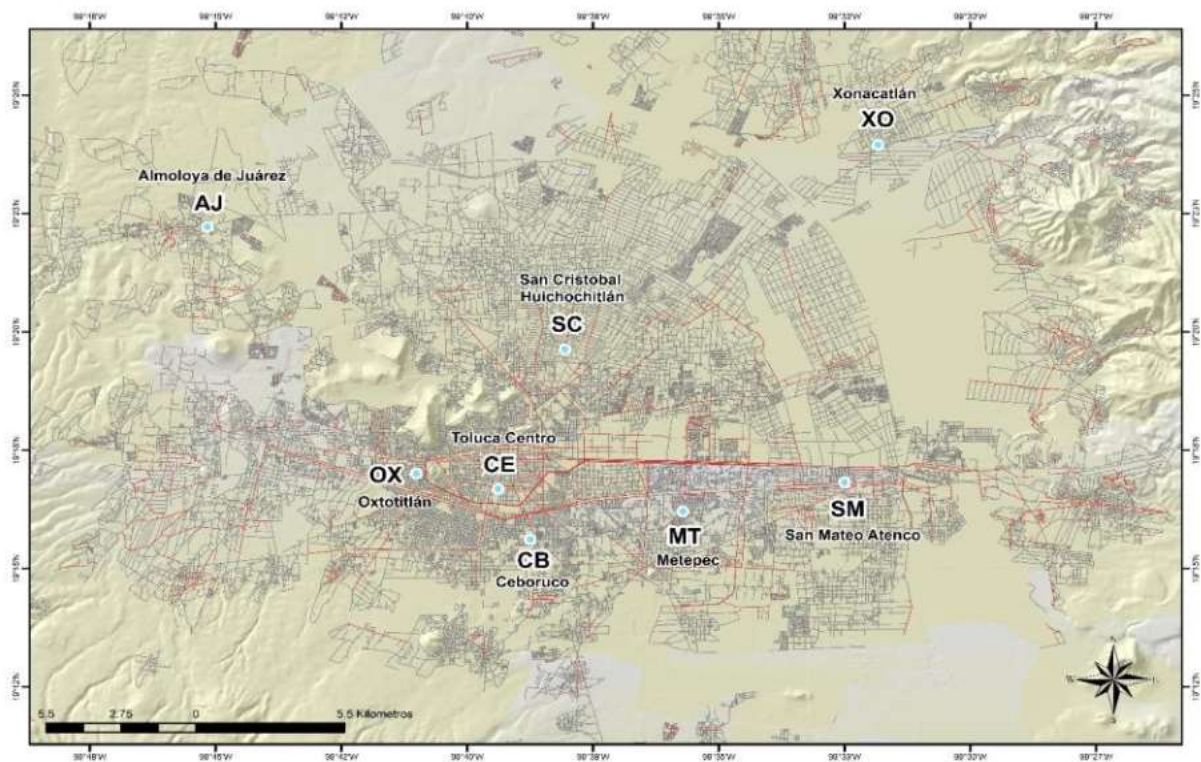
Compartir

**Tabla 2. Ubicación de las estaciones de medición en el Valle de Toluca**

Contaminante:	Estación:	Oxtotitlán (OX)	Toluca Centro (CE)	Metepec (MT)	Ceboruco (CB)	San Mateo Atenco (SM)	San Cristobal Huichochitlán (SC)	Xonacatlán (XO)	Almoloya de Juárez (AJ)
Ozono (O3)		X	X	X	X	X	X	X	X
Bióxido de Azufre (SO2)		X	X	X	X	X	X	X	X
Bióxido de nitrógeno (NO2)		X	X	X	X	X	X	X	X
Monóxido de Carbono (CO)		X	X	X	X	X	X	X	X
PM10		X	X	X	X	X	X	X	X
PM2.5		X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia con base a Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México [24].

**ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA (ZMVT)**



**Imagen 2. Ubicación de las estaciones de Monitoreo en el Valle de Toluca**

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México [24]



Compartir

Retana-Olvera & Ruiz-Serrano. Movilidad urbana y calidad del aire en la zona metropolitana de Toluca a inicios del Covid-19. Julio – Diciembre 2021

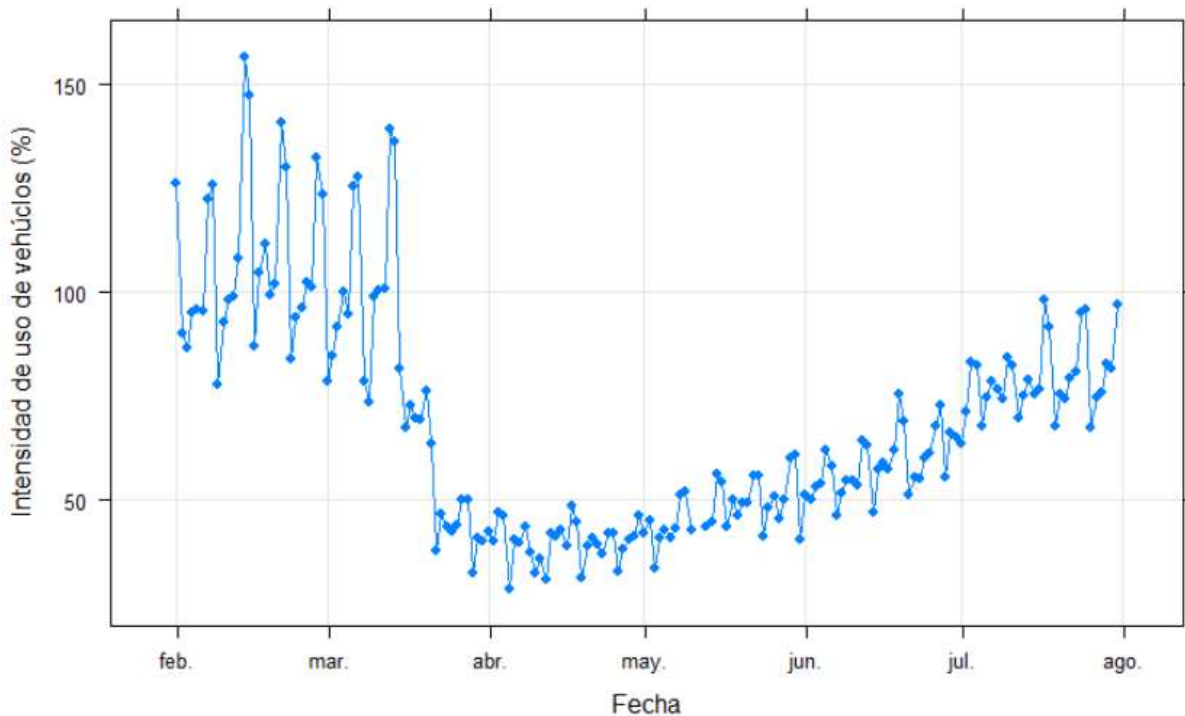
<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i2.377>



Compartir

## RESULTADOS

El 11 de marzo de 2020 la Organización Mundial de la Salud declara pandemia al SARS-CoV-2 (Covid-19), posteriormente, el Gobierno Federal mexicano publicó el acuerdo de medidas preventivas para la mitigación y control de riesgos el 24 de marzo, pero fue hasta el 2 de abril que se implementó el semáforo epidemiológico el Estado de México (Secretaría de Salud, 2020). Se puede observar en la gráfica 1 que la población comenzó a disminuir drásticamente su movilidad a partir del 15 de marzo y para el 31 de julio los niveles de intensidad de uso de vehículos comienzan a elevarse sin llegar a los valores previos a la pandemia.



**Gráfica 1.** Intensidad de uso de vehículos en la ZMVT en 2020

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Apple Inc. [26].

El comportamiento de los contaminantes fue muy distinto según el tipo, en la Gráfica 2 se puede observar que el Monóxido de Carbono, el Dióxido de Azufre y Óxido Nitroso durante todo el periodo de estudio se mantienen en concentraciones bajas y relativamente constantes en alrededor de 20 puntos. Por otro lado, el Ozono presenta una gran dispersión a lo largo del tiempo que va de 18 hasta 120 sin presentar una tendencia. Por último, las partículas suspendidas menores a 10 y a 2.5 micras son las que se presentan en mayores

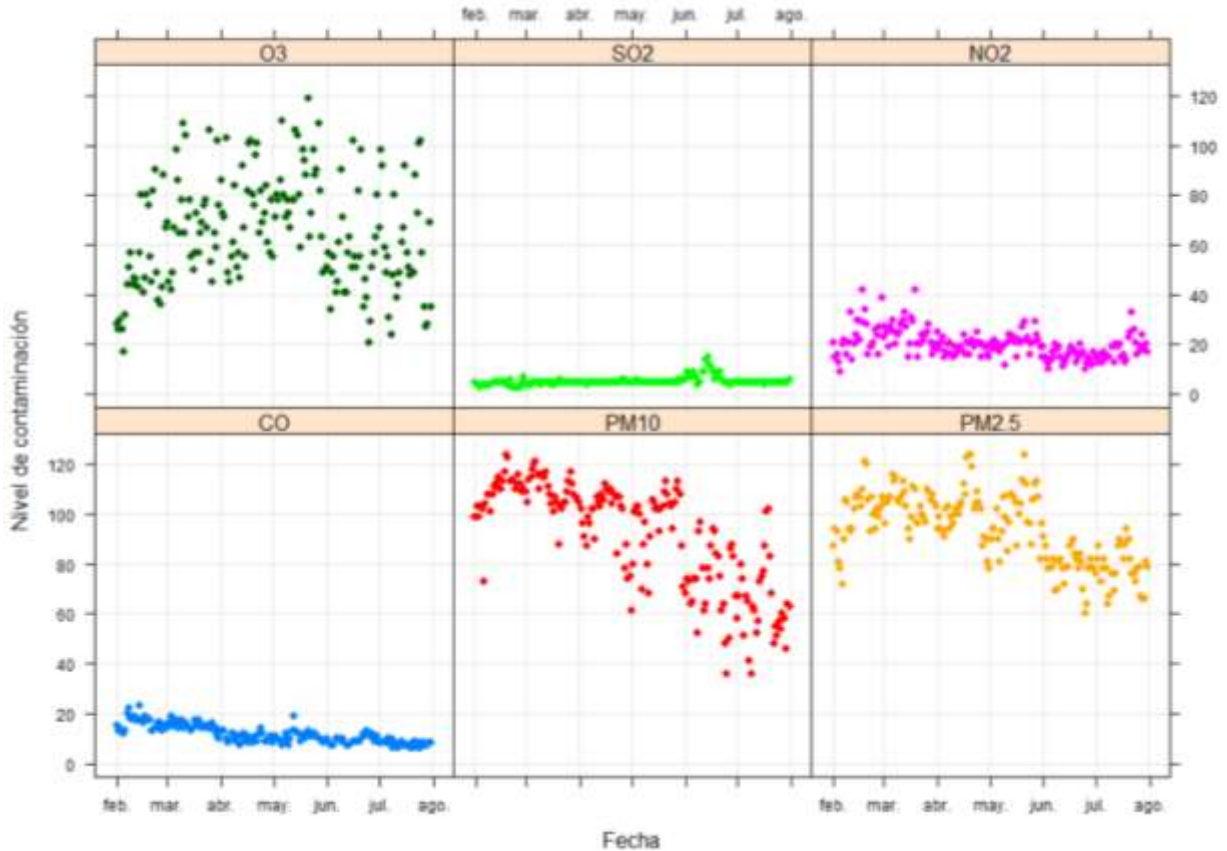


Compartir



Compartir

concentraciones durante el lapso de estudio, además, se comportan de manera similar entre ellas teniendo mayores concentraciones entre enero y mayo, pero disminuyendo hasta julio.



**Gráfica 2.** Nivel de los contaminantes por fecha

Fuente: Elaboración propia con base en Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México [21].

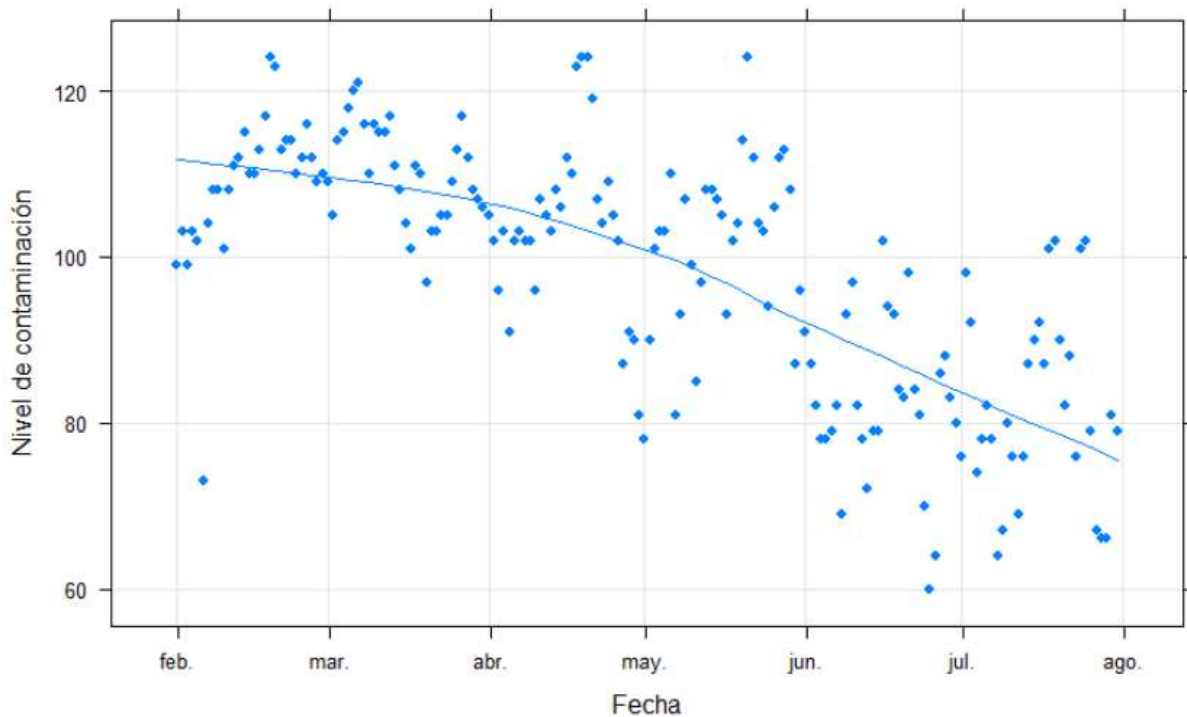
Al analizar las concentraciones máximas de contaminantes (IMECAS) queda claro que los contaminantes que rigen son las partículas suspendidas, presentando niveles de alrededor de 100 que conforme se acercan al final del periodo estudiado van disminuyendo, como se indica en la gráfica siguiente:



Compartir



Compartir



**Gráfica 3.** Nivel máximo de contaminantes diario

Fuente: Elaboración propia con base en la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México [24].

La siguiente grafica muestra la comparativa entre los viajes realizados por los ciudadanos y los valores máximos de cualquiera de los contaminantes analizados o IMECAs, se aprecia que la tendencia de los datos no se acerca ni tienen relación directa o indirecta. Al inicio de las restricciones de movilidad bajan drásticamente los viajes, pero los niveles de contaminación se mantienen estables, sin embargo, al final del cierre y al permitirse mayores actividades productivas la movilidad tuvo un rebote, no así los niveles de contaminantes, por el contrario, tienen una disminución que si bien existe fue leve y con tendencia a la baja, lo que refuerza la idea de que la contaminación en el Valle de Toluca no está ligada a la movilidad sino a otros factores.



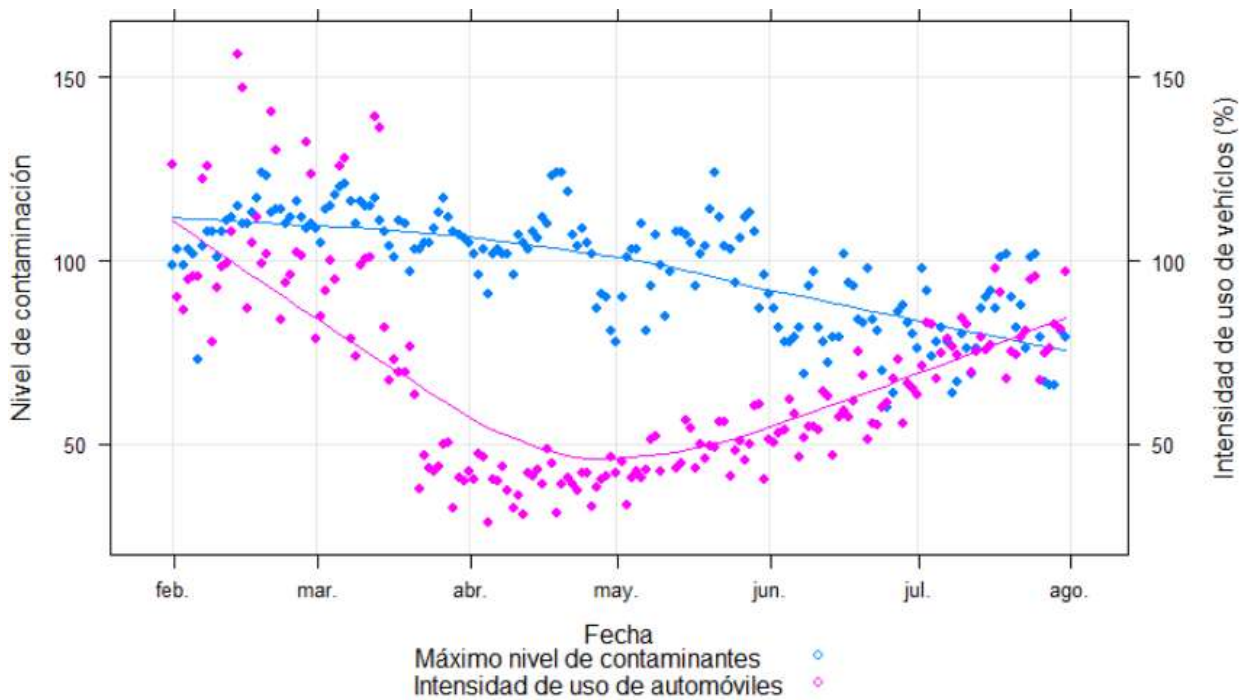
Compartir

Retana-Olvera & Ruiz-Serrano. Movilidad urbana y calidad del aire en la zona metropolitana de Toluca a inicios del Covid-19.  
Julio – Diciembre 2021

<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i2.377>



Compartir



**Gráfica 4.** Máximos niveles de contaminantes e intensidad de viajes por fecha

Fuente: Elaboración propia con base en la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México [21] y datos de viajes de *Apple Inc.* [26].

Cabe mencionar que para este estudio se hicieron análisis de regresiones con el fin de modelar y/o investigar si existe alguna relación entre las variables de los contaminantes y la intensidad de uso de automóviles de febrero a julio 2020. Es decir, la variable dependiente a considerar fue el porcentaje de intensidad y las variables independientes los valores de los contaminantes. Al aplicar el modelo de regresión lineal y tomando en cuenta que todos los valores  $p$  de las variables independientes fueron mayores a 0.01 y el coeficiente de determinación  $R^2$  fue de 0.4606; lo cual indica que no existe una relación significativa entre las variables.

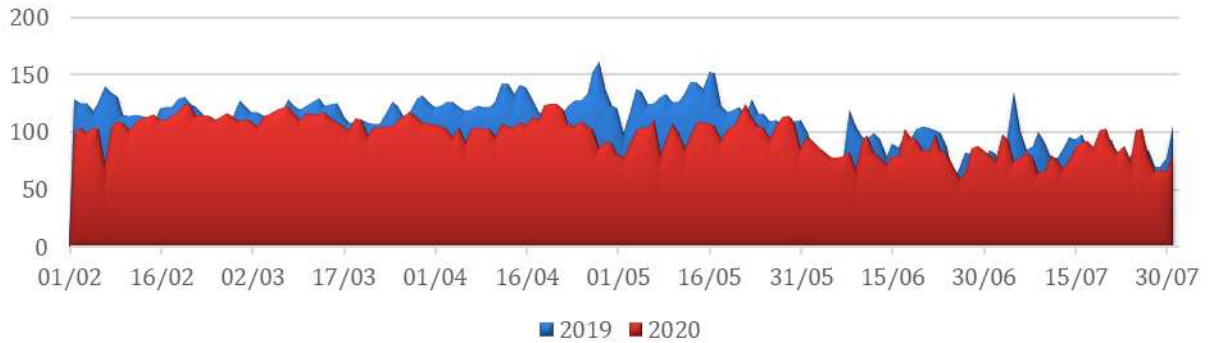
A continuación, se pudo observar en el gráfico de áreas la comparativa entre los índices IMECAs del año 2019 contra los mismos del año 2020.



Compartir



Compartir



**Gráfica 5.** IMECAs del año 2019 versus 2020

Fuente: Elaboración propia en base a Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México, 2020.

Como podemos observar en la gráfica anterior para los días 2, 18, 24 y 25 de julio de 2020, los niveles sobrepasaron en al menos 15 puntos imecas a los del año anterior, a pesar de las restricciones gubernamentales del semáforo rojo epidemiológico que entró en vigor dos meses antes.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Es evidente que con la actual pandemia provocada por el virus SARS-CoV-2 (Covid-19) las actividades económicas de la región del Valle de Toluca hayan disminuido debido a las normas sanitarias. Sin embargo, la calidad del aire no mejoró como se esperaba.

En contraste, en ciudades como Bogotá, se registró una marcada reducción de hasta un 64% de la concentración de PM<sub>2.5</sub> en la primera semana de abril de 2019. En São Paulo (Brasil), se apreció una disminución de las concentraciones de NO<sub>2</sub> de más del 30% a mediados de marzo de 2020 respecto de la misma fecha en 2019 y en Lima se observa una gran disminución de la concentración de NO<sub>2</sub> en 2020 que supone una reducción del 80%. [29].

En el valle de Toluca hubo cuatro días del mes de julio 2020 que superaron los niveles de contaminantes del año anterior a pesar del semáforo rojo, es decir, hubo una mayor contaminación en esos días que en el año anterior con condiciones normales de movilidad.

El análisis de los datos de calidad del aire en conjunto con la información de movilidad urbana permitió establecer que no existe una correlación directa entre la densidad del uso del automóvil y los niveles de los contaminantes ambientales. Los factores de contaminación (O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) en la ciudad no decrecieron como se esperaba durante la contingencia sanitaria. Esto puede ser debido al crecimiento económico de la ciudad en ausencia de medidas efectivas para el control de las emisiones causadas por las fuentes fijas y móviles.



Compartir



Compartir



Si bien el número de viajes realizados por los usuarios de estos teléfonos móviles disminuyó drásticamente a lo largo de la pandemia, los niveles de contaminantes no. Es probable que los vehículos particulares no sean necesariamente los únicos causantes de dichas condiciones del aire. A futuro se debería realizar un análisis más a fondo de otros sectores emisores de estos contaminantes, como el sector de transporte de carga, la industria energética, de la construcción, química, entre otras.

## REFERENCIAS

- [1] L. Rendón y J. A. Godínez, Evolución y cambio industrial en las Zona Metropolitanas del Valle de México y Toluca, 1993-2008, Revista Análisis Económico, vol. XXXI, n° 77, pp. 115-146, 2016.
- [2] M. Zuk, M. Tzintzun y L. Rojas, Tercer Almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas [online]. México: Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, 2007. Disponible en: <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/informes/3erAlmanaque.pdf>.
- [3] L. Quintero, S. Padilla y E. Velázquez, Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá, Revista de Ingeniería, pp. 81-92, 2007.
- [4] Gobierno de México, Covid-19 México [online]. México: Gobierno de México, 2020. Disponible en: <https://datos.covid-19.conacyt.mx/#COMNac>
- [5] M. Lopes, Apple Maps y Google Maps: ¿cuál crees que puede guiarte mejor? [online]. Estados Unidos: Digitaltrends, 2020, Disponible en: <https://es.digitaltrends.com/celular/apple-maps-y-google-maps>
- [6] C. Hwong, Map This: What Are the Most Popular Mapping Apps? [online]. Estados Unidos: Verto Analytics, 2018. Disponible en: <https://vertoanalytics.com/chart-of-the-week-what-are-the-most-popular-mapping-apps/>
- [7] Deloitte Development LLC, Estudio: Hábitos de los consumidores móviles en México, 2019 [online]. Estados Unidos: Deloitte Insights, 2019. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/technology/Global-Mobile-Consumer-Survey.pdf>
- [8] Secretaría de Salud, Acuerdo por el que se establecen acciones extraordinarias para atender la emergencia sanitaria generada por el virus SARS-CoV2 [online]. México: Diario Oficial de la Federación, 2020. Disponible en:



Compartir

Retana-Olvera & Ruiz-Serrano. Movilidad urbana y calidad del aire en la zona metropolitana de Toluca a inicios del Covid-19.  
Julio – Diciembre 2021

<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i2.377>



Compartir

[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5590914&fecha=31/03/2020&print=true](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5590914&fecha=31/03/2020&print=true)

- [9] Secretaría de Salud, ACUERDO por el que se establece una estrategia para la reapertura de las actividades sociales, educativas y económicas, así como un sistema de semáforo por regiones para evaluar semanalmente el riesgo epidemiológico [online]. México: Diario Oficial de la Federación, 2020. Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5593313&fecha=14/05/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5593313&fecha=14/05/2020)
- [10] Secretaría de Salud del Gobierno del Estado de México, Acuerdo por el que se establecen las medidas sanitarias para la operación de unidades económicas cuya actividad sea la venta de alimentos preparados y/o bebidas, con motivo de la enfermedad por el virus (COVID19), en el Estado de México [online]. México: Gaceta de Gobierno del Estado de México, 2020. Disponible en: <https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/gct/2020/jul034.pdf>
- [11] Gobierno de la Ciudad de México, Segundo Informe de Gobierno. Resumen Ejecutivo Agosto 2019-Julio 2020 [online]. México: Congreso de la Ciudad de México, 2020. Disponible en: <https://www.congresocdmx.gob.mx/media/documentos/0d8661011f20020bcdf28af0d59465db27b9744.pdf>
- [12] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Norma Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud [online]. Diario Oficial de la Federación, 2019. Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019)
- [13] Enciclopedia Británica, Air Pollution [online]. Inglaterra: Enciclopedia Británica, 2021. <https://www.britannica.com/science/air-pollution>
- [14] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Norma Oficial Mexicana NOM-036-SEMARNAT-1993 que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición [online]. México: Calidad del Aire Gobierno de la Ciudad de México, 1993. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/monitoreo/normatividad/NOM-036-SEMARNAT-1993.pdf>
- [15] Secretaría de Salubridad y Asistencia, Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2019, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Valores normados para la concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección de salud a



Compartir



Compartir

la población [online]. México: Diario Oficial de la Federación, 2019. Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5568395&fecha=20/08/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5568395&fecha=20/08/2019)

- [16] Instituto Nacional de Ecología, Norma Oficial Mexicana NOM-CCAM-004-ECOL/1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición [online]. México: Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial Ciudad de México, 1993. Disponible en: <http://www.paot.org.mx/centro/normas/037-ecol.doc>
- [17] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Norma Oficial Mexicana NOM-034-SEMARNAT-1993 que establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición [online]. México: Calidad del Aire Gobierno de la Ciudad de México, 1993. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/monitoreo/normatividad/NOM-034-SEMARNAT-1993.pdf>
- [18] R. M. Á. Canales, N. M. Quintero, R. T. G. Castro y C. R. O. García, Las Partículas Respirables PM10 y su Composición Química en la Zona Urbana y Rural de Mexicali, Baja California en México [online]. Chile: CIT Información Tecnológica, 2014. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v25n6/art03.pdf>
- [19] Siberzone Ventilación Inteligente, Partículas PM2.5, ¿las más contaminantes del aire? [online]. España: Siber Ventilación, 2020. Disponible en: <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/particulas-pm25/>
- [20] H. Maguey, Partículas PM2.5, las más dañinas [online]. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2019. Disponible en: <https://www.gaceta.unam.mx/particulas-pm2-5-las-mas-daninas/>
- [21] Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México, Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT [online]. México: Red de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT, 10 agosto 2020. Disponible en: [http://rama.edomex.gob.mx/tecnicas\\_medicion](http://rama.edomex.gob.mx/tecnicas_medicion)
- [22] Secretaría de Salubridad y Asistencia, Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación [online]. México: Diario Oficial de la Federación, 2014. Disponible en: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20%2F08%2F2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20%2F08%2F2014)



Compartir



Compartir

- [23] L. E. Tipanlusia, A. P. Remache, C. R. Ayabaca y S. W. Reina, Emisiones Contaminantes de un Motor de Gasolina [online]. Chile: CIT Información Tecnológica, 2017. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v28n1/art02.pdf>
- [24] Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México, Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT [online] México: Red de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT, 2020. Disponible en: [http://rama.edomex.gob.mx/sites/rama.edomex.gob.mx/files/files/Calidad\\_Aire\\_ZMVT\\_MAYO\\_2020.pdf](http://rama.edomex.gob.mx/sites/rama.edomex.gob.mx/files/files/Calidad_Aire_ZMVT_MAYO_2020.pdf)
- [25] Sistema Mexiquense de Medios Públicos, Radio y TV Mexiquense [online]. México: Radio y Televisión Mexiquense, 2020. Disponible en: <https://radioytmexiquense.mx/index.php/2020/08/06/durante-contingencia-por-covid-19-mejora-calidad-del-aire-en-el-valle-de-toluca/>
- [26] Apple Inc., Informes de tendencias de movilidad [online]. Estados Unidos: Apple Inc., 12 agosto 2020. Disponible en: <https://covid19.apple.com/mobility>
- [27] Instituto de Salud del Estado de México, Boletines Informativos [online]. México: Secretaría de Salud del Gobierno del Estado de México, 2020. Disponible en: [https://salud.edomex.gob.mx/isem/ac\\_boletines\\_informativos](https://salud.edomex.gob.mx/isem/ac_boletines_informativos)
- [28] Organización Mundial de la Salud, COVID-19: cronología de la actuación de la OMS [online]. Suiza: World Health Organization, 27 abril 2020. Disponible en: <https://www.who.int/es/news/item/27-04-2020-who-timeline---covid-19#>
- [29] Organización de las Naciones Unidas, Informes Covid: Efectos de las cuarentenas y restricciones de actividad relacionadas con el COVID-19 sobre la calidad del aire en las ciudades de América Latina [online]. Chile: Comisión Económica para América Latina (CEPAL), 31 agosto 2020. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/45839>




Compartir




Compartir

## NOTA BIOGRÁFICA



Juan Luis Retana Olvera. **ORCID iD**  <http://orcid.org/0000-0002-7569-3222>  
Es investigadora de la Universidad Autónoma del Estado de México desde 2015. Obtuvo su licenciatura en Ingeniería Civil, tiene una maestría en Valuación. Su línea de investigación es en valuación a través de modelos estadísticos. Actualmente es investigador/docente en la Universidad Autónoma del Estado de México, en Toluca, México.



Mauricio Ruiz Serrano. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0003-4067-8943>  
Es profesor de la Universidad Autónoma del Estado de México desde 2019. Obtuvo su licenciatura en Ingeniería Física por la Universidad Iberoamericana, tiene una maestría en Estudios Sustentables Regionales y Metropolitanos. Su línea de investigación es en sustentabilidad y bioconstrucción. Actualmente es docente y doctorante del programa de Diseño de la Universidad Autónoma del Estado de México, en Toluca, México.



This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.



Compartir

Retana-Olvera & Ruiz-Serrano. Movilidad urbana y calidad del aire en la zona metropolitana de Toluca a inicios del Covid-19.  
Julio – Diciembre 2021

<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i2.377>



Compartir