



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE MEDICINA**  
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**  
**DIRECCIÓN GENERAL DE EPIDEMIOLOGÍA**

**RELACIÓN ENTRE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y  
TASA DE HOSPITALIZACIONES POR COVID-19 EN LA  
ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO, EN EL  
AÑO 2020**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL:  
TÍTULO DE ESPECIALISTA

EN:  
**EPIDEMIOLOGÍA**

PRESENTA:  
**GUSTAVO ADOLFO RODRIGUEZ DELGADO**

**EPIDEMIOLOGÍA**  
DIRECCIÓN GENERAL DE EPIDEMIOLOGÍA



**DIRECTOR DE TESIS**  
ALESSIO DAVID SCORZA GAXIOLA  
Y

**ASESORES PRINCIPALES**  
JOSÉ ROBERTO MENDOZA MARTÍNEZ  
ARACELI ZALDÍVAR SÁNCHEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., 28 DE FEBRERO 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradezco a todas las personas que brindaron su conocimiento intelectual, espiritual, emocional y humano; paciencia, explicaciones, risas y tristezas, para aportar un grano de conocimiento ante el universo epidemiológico.

*“Toda máquina del Universo es semejante a un individuo, conviene saber, semejante a una persona y así que no sea útil y necesario para la perfección y conservación de su vida, así en el cielo no hay estrella por mínima que sea que no tenga su particular virtud e influencia, conveniente y necesaria para la perfección y permanencia de todo cuerpo en el mundo”*

Enrico Martínez

(1550-1632)

¿Valió la pena esto? Lo valió cada maldito segundo.

# Contenido

Glosario.....	7
Acrónimos.....	7
Conceptos.....	7
Unidades.....	8
Resumen.....	9
Introducción .....	10
Marco Teórico.....	10
Marco conceptual.....	16
Planteamiento del problema.....	23
Pregunta de investigación .....	24
Justificación .....	24
Objetivo primario.....	25
Objetivos secundarios .....	25
Hipótesis.....	25
Metodología .....	26
Población .....	26
Criterios de selección.....	26
Diseño muestral.....	26
Operacionalización de variables.....	28
Plan de Análisis.....	29
Resultados.....	30
Zona Centro.....	38
Zona Sureste .....	39
Zona Suroeste .....	41
Zona Noreste .....	42
Zona Noroeste.....	44
<b>Modelo ARIMAX</b> .....	45
Discusión.....	49
Conclusiones y Limitaciones.....	51

Consideraciones éticas .....	52
<b>RECURSOS</b> .....	53
Cronograma.....	54
Bibliografía.....	55
<b>ANEXO</b> .....	60

## Índice de Tablas

TABLA 1 DEFINICIONES OPERACIONALES PARA COVID-19. SISVER, MAYO 2021.....	16
TABLA 2 CONTAMINANTES CRITERIOS MONITORIZADOS POR EL SIMAT EN LA ZMVM .....	20
TABLA 3 CRITERIOS PARA EMISIÓN DE CONTINGENCIA PARA LOS CONTAMINANTES OZONO Y PM <sub>2.5</sub> Y PM <sub>10</sub> .....	21
TABLA 4 CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICO POR ESTACIÓN DE MONITOREO. 30	
TABLA 5 ESTRATIFICACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS E INCIDENCIA DE HOSPITALIZACIONES.....	32
TABLA 6 COMPONENTES ARIMA DE TASA DE HOSPITALIZACIÓN POR COVID-19 POR ZONA.....	37
TABLA 7 COEFICIENTES DE MODELO ARIMAX EN TASA DE HOSPITALIZACIÓN DE COVID-19, ZMVM, 2020.....	37

## Índice de Gráficas

GRÁFICA 1 CASOS HOSPITALIZADOS POR COVID-19 EN UNIDADES MÉDICAS DE LA ZMVM.....	14
GRÁFICA 2 PROMEDIO ANUAL DE O <sub>3</sub> , ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO .....	15
GRÁFICA 3 PROMEDIO ANUAL DE 24 HORAS DE MONITOREO MANUAL DE PM <sub>2.5</sub> , ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO. ....	15
GRÁFICA 4 INCIDENCIA DE HOSPITALIZACIÓN POR COVID-19, POR ZONA.....	33
GRÁFICA 5 CONCENTRACIÓN DIARIA DE CONTAMINANTES POR ZONAS, 2020.....	33
GRÁFICA 6 SERIES DE TIEMPO .....	35
GRÁFICA 7 SERIES DE TIEMPO, ZMVM, 2020.....	36
GRÁFICA 8 SERIE DE TIEMPO. ZONA CENTRO, ZMVM, 2020 .....	38
GRÁFICA 9 MODELO ARIMA (7,1,4). ZONA CENTRO, ZMVM, 2020}.....	39
GRÁFICA 10 SERIE DE TIEMPO. ZONA SURESTE, ZMVM, 2020.....	40
GRÁFICA 11 MODELO ARIMA (8,1,4). ZONA SURESTE, ZMVM, 2020.....	40
GRÁFICA 12 SERIE DE TIEMPO. ZONA SUROESTE, ZMVM, 2020.....	41
GRÁFICA 13 MODELOS ARIMA (10,1,4). ZONA SUROESTE, ZMVM, 2020. ....	42
GRÁFICA 14 SERIE DE TIEMPO. ZONA NORESTE, ZMVM, 2020.....	43
GRÁFICA 15 MODELOS ARIMA (7,1,4). ZONA NORESTE, ZMVM, 2020 .....	43
GRÁFICA 16 SERIE DE TIEMPO. ZONA NOROESTE, ZMVM, 2020.....	44
GRÁFICA 17 MODELO ARIMA (7,1,2). ZONA NOROESTE. ZMVM, 2020 .....	45
GRÁFICA 18 MODELO ARIMAX (7,1,4). ZONA CENTRO, ZMVM, 2020.....	46
GRÁFICA 19 MODELO ARIMAX (8,1,4). ZONA SURESTE, ZMVM, 2020 .....	47
GRÁFICA 20 MODELO ARIMAX (10,1,2). ZONA SUROESTE, ZMVM, 2020.....	47
GRÁFICA 21 MODELO ARIMAX (7,1,4). ZONA NORESTE, ZMVM, 2020.....	48
GRÁFICA 22 MODELO ARIMAX (7,1,2). ZONA NOROESTE, ZMVM, 2020 .....	48

## Índice de mapas

MAPA 1 ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO, 2010.....	19
--	----

## Índice de ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1 ALGORITMO PARA VALORACIÓN DE HOSPITALIZACIÓN DE PACIENTE SOSPECHOSO A COVID-19.....	17
---	----

## Anexos

ANEXO 1 POBLACIÓN 2010 DE LOS MUNICIPIOS Y ALCALDÍAS DE LA ZMVM POR SU DIVISIÓN POR ZO- DE ACTIVACIÓN .....	60
ANEXO 2 DISTRIBUCIÓN DE LA ZMVM POR ZONAS DE ACTIVACIÓN DE CONTINGENCIA .....	61
ANEXO 3 DISTRIBUCIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO.....	62
ANEXO 4 INCIDENCIA ACUMULADA POR MUNICIPIO Y ALCALDÍA, ZMVM.....	63
ANEXO 5 ANÁLISIS DE RESIDUOS. ZONA CENTRO, ZMVM, 2020.....	65
ANEXO 6 ANÁLISIS DE RESIDUOS. ZONA SUROESTE, ZMVM, 2020. ....	65
ANEXO 8 ANÁLISIS DE RESIDUOS. ZONA NORESTE, ZMVM, 2020. ....	66
ANEXO 7 ANÁLISIS DE RESIDUOS. ZONA SURESTE, ZMVM, 2020.....	66
ANEXO 9 ANÁLISIS DE RESIDUOS. ZONA NOROESTE, ZMVM, 2020. ....	67

# Glosario

## Acrónimos

**ACE-2:** Enzima convertidora de Angiotensina 2

**AIC:** Criterio de información de Akaike

**CLUES:** Clave Única de Establecimientos de Salud:

**CONAPO:** Consejo Nacional de Población

**CONEVAL:** Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social

**ERV:** Enfermedad Respiratoria Viral.

**INECC:** Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

**OPS:** Organización Panamericana de la Salud

**OMS:** Organización Mundial de la Salud

**SIMAT:** Sistema de Monitoreo Atmosférico

**SISVER:** Sistema de Vigilancia de Enfermedad Respiratoria Viral

**RAMA:** Red Automatizada de Monitoreo Atmosférico

**USMER:** Unidad de Salud Monitora de Enfermedad Respiratoria Viral.

**ZMVM:** Zona Metropolitana del Valle de México

## Conceptos

**Concentración promedio móvil de 24 horas:** al promedio o media aritmética de 24 horas continuas, que representa el promedio de la hora de interés y las 23 horas previas, ya sea que correspondan al mismo día o al anterior.(1)

**Concentración promedio horaria, dato horario o promedio horario:** al promedio o media aritmética de las concentraciones registradas en el intervalo de tiempo de 60 minutos delimitado por los minutos 0 y 59 de la hora. Para efectos del manejo de datos se considerará válido, cuando se calcule con al menos el 75 % de las concentraciones registradas en la hora.



**Índice de Calidad del Aire:** Indicador para la notificación del estado de la calidad del aire que evidencia el grado de pureza o de contaminación atmosférica y los efectos potenciales para la salud.

**Índice de Aire Salud:** Escala adimensional que sirve para calificar la calidad del aire con respecto a la concentración de los contaminantes atmosféricos criterio. Utiliza funciones lineales segmentadas para el cálculo de los índices y se reporta únicamente el índice máximo.

**Zona Metropolitana:** Conjunto de dos o más municipios donde se localiza una ciudad de 50 mil y más habitantes. Su área urbana, funciones y actividades rebasan el límite del municipio que originalmente la contenía, incorporando como parte de sí misma o de su área de influencia directa a municipios vecinos, predominantes urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica.(2)

## Unidades

**$\mu$  g/m<sup>3</sup>:** Microgramos/metro cúbico

**Ppb (partes por billón):** Unidad empleada usualmente para valorar la presencia de elementos en pequeñas cantidades en una mezcla. Generalmente es referida en porcentaje en peso en el caso de sólidos y en volumen en caso de gases.

# Resumen

**Título:** Relación entre contaminantes atmosféricos y tasa de hospitalizaciones por COVID-19 en la Zona Metropolitana del Valle de México, en el año 2020.

**Antecedentes:** La actual pandemia por COVID-19 ocasionó la reducción de las concentraciones de contaminantes en zonas metropolitanas por la disminución de actividades sociales, sin embargo, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) continúa siendo una de las regiones más contaminadas del país. Las concentraciones de contaminantes atmosféricos han sobrepasado lo establecido en las NOM-025-SSA1-2014 y NOM-020-SSA1-2014 la mayor parte del tiempo. La exposición constante a una mala calidad del aire se relaciona con el agravamiento clínico de los casos por COVID-19.

**Objetivo:** Evaluar la relación entre la concentración de  $O_3$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ ; y la tasa de hospitalizaciones por COVID-19, diarias, durante el 2020, en la ZMVM.

**Material y métodos:** Estudio ecológico de análisis de series temporales. Se describirán los componentes de tendencia, estacionalidad y residuos de las series de tiempo de contaminantes ambientales y tasa de hospitalizaciones por COVID-19. Se evaluará su correlación con métodos de autoregresión integrada por media móvil (ARIMA), ajustándose por variables atmosféricas y estratificado por regiones de la ZMVM.

**Resultados:** Los contaminantes atmosféricos tuvieron un efecto sobre la tasa de hospitalización por COVID-19 en sus rezagos óptimos (7 a 10 días). La zona centro tuvo el mayor coeficiente para  $PM_{2.5}$ , donde el incremento de  $1 \mu g/m^3$  de  $PM_{2.5}$  aumentaría, 7 días después, 0.0031 la tasa de hospitalización por 100 mil habitantes. La zona noroeste los coeficientes fueron positivos por cada aumento en una unidad de concentración de los contaminantes ozono,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ , con 0.0005, 0.0001, 0.0002, respectivamente. Las zonas sureste y suroeste tuvieron un coeficiente positivo para ozono y  $PM_{10}$ , y negativo para  $PM_{2.5}$  con rezagos de 8 y 10 días respectivamente. La zona noreste tuvo un impacto coeficiente positivo de 0.001 para  $PM_{2.5}$  pero coeficientes inversos para ozono y  $PM_{10}$ .

**Conclusiones:** Nuestros hallazgos concuerdan con los estudios en la literatura, aunque nuestro análisis se basó en la aplicación de descomposición de series de tiempo y la integración de modelos óptimos pudieran explicar robustamente la asociación temporal de contaminantes atmosféricas y su implicación en la exacerbación clínica en las infecciones virales del tracto respiratorio.

# Introducción

A finales de diciembre del 2019, fueron notificados cinco pacientes hospitalizados por síndrome respiratorio de probable etiología viral, en la Ciudad de Wuhan, China. El 31 de diciembre de este año, las autoridades sanitarias chinas notificaron a la Organización Mundial de la Salud por un conglomerado de 27 casos con Síndrome Respiratorio Agudo de etiología desconocida.

Para el 1 de enero del 2020, se tomaron acciones de control de brote y cierre del mercado de aves de Wuhan, por ser el lugar donde los primeros casos tuvieron antecedente de visitar. Para el 7 de enero, logró aislarse y secuenciarse el agente viral en muestras de pacientes, identificándose como un beta-coronavirus, relacionado en un 79% con SARS-CoV-1 (SARS en Hong Kong, 2003).(3)

México emitió un aviso preventivo de viaje hacia China, en 9 de enero del 2020. (4)El primer caso en las Américas fue notificado por los CDC de Estados Unidos, el 21 de enero. El 28 de febrero del 2020, en México, fueron confirmados los tres primeros casos a COVID-19, en los estados de Sinaloa y Ciudad de México. (5)

El 11 de marzo del 2020, la OMS declaró la infección de SARS-CoV-2 como pandemia posterior a la confirmación de 118 mil casos y 4,291 defunciones en 114 países. (6)

Hasta el 31 de diciembre del 2020, en el mundo, habían sido confirmados 82,363,568 casos y 1,803,179 defunciones. (7) En México, 1,462,094 casos y 125,807 defunciones fueron confirmadas; teniendo una tasa de incidencia acumulada de 1,115.9 casos por 100'000 habitantes y una letalidad del 8.8%. (8)

En las zonas metropolitanas de China e Italia, se han iniciado investigaciones para cuantificar la relación entre la distribución de contaminantes ambientales y las distribuciones de casos, hospitalizaciones y defunciones por COVID-19.

## Marco Teórico

El SARS-CoV-2 tiene un periodo de incubación promedio de 5.2 días. Su transmisión es generalmente por gotas, aunque se ha documentado la transmisión por aerosoles. Los síntomas más comunes descritos para COVID-19 son fiebre, tos y fatiga; disnea, insuficiencia respiratoria y dolor torácico, en los cuadros clínicos graves. (9) El mecanismo fisiopatológico descrito es la unión de las proteínas virales espiculadas (*spike*) a la enzima convertidora de Angiotensina 2, presente en todas las células del organismo, pero con mayor densidad en el epitelio respiratorio. El ACE2 funciona como antiinflamatorio, expresándose en estados proinflamatorios respiratorios. (9,10)

La sintomatología clínica respiratoria grave y la presencia de comorbilidades crónicas respiratorias y metabólicas han impactado en las hospitalizaciones por COVID-19. Las manifestaciones clínicas documentadas como pronóstico para ser hospitalizado por COVID-19 son disnea (OR: 3.28; IC 95%: 2.09-5.15), fatiga (OR: 2.67; IC 95%: 1.25-3.20), taquipnea (OR:2.85; IC 95%: 1.28-6.33); así como antecedentes de comorbilidades, como EPOC (OR: 2.48; IC 95%: 1.44-4.27), Diabetes Mellitus (OR: 2.10; IC 95%: 1.33-3.34) e Hipertensión Arterial Sistémica (OR: 2.33; IC95%: 1.42-3.81). (11)

La edad ha sido una variable en consideración para el desenlace y evolución clínica de COVID-19. Se ha evidenciado la asociación entre hospitalizaciones, hasta 2.7 veces más, por COVID-19 y personas mayores de 50 años. (12,13)

### **Contaminantes atmosféricos.**

El ambiente es el conjunto de elementos naturales, artificiales o, inducidos por el hombre, que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos, interactuando en un espacio y tiempo determinados. (14)La contaminación ambiental refiere a la presencia de materia o energía en cualquier estado físico; que altere o modifique la composición y condición natural del nicho ecológico, afectando todos los elementos existentes en la misma. (14)

La contaminación atmosférica es el tipo de contaminación ambiental más importante respecto a su impacto en la salud humana; la Organización Mundial de la Salud (OMS) la establece como la presencia de una o varias sustancias extrañas dentro de la composición del aire, en un periodo y tiempo determinados y que pueden ser nocivas a los humanos, animales, plantas o la tierra. (15)La contaminación atmosférica genera una carga de enfermedad importante. Estudios del *Global Burden of Disease* del IHME (*Institute for Health Metrics and Evaluation*) estimaron la atribución 4.2 millones de muertes por exposición a PM<sub>2.5</sub>, representando 7.6% de la mortalidad mundial; mientras que 254 mil muertes anuales han sido atribuidas a la exposición al ozono. (15,16)

Anteriormente, el enfoque de la contaminación del aire sobre la salud humana se reducía a la salud pulmonar, aunque estudios posteriores evidenciaron la asociación entre los contaminantes atmosférico con una diversidad de padecimientos, como enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus, obesidad; alteraciones neurológicas y del sistema inmune; oncológicas, entre otras. (17)

### **Tipo y origen de las partículas contaminantes del aire.**

Las partículas contaminantes en el aire son variadas, pero el Material Particulado y Ozono, han sido analizadas en su impacto en la salud humana.

El material particulado (PM, por sus siglas en inglés) son partículas heterogéneas presentes en forma sólida o líquida originadas por gases precursores de partículas, como el dióxido de azufre, óxidos de nitrógenos y amoníaco; así como partículas suspendidas de origen orgánicos. (18) El tamaño de las partículas varía, clasificándose en: (19,20)

- Ultrafinas (PM de 0.1 micrómetros): Su concentración está afectada por actividades antropogénicas. Son partículas en suspensión con un diámetro aerodinámico de hasta 0.1  $\mu\text{m}$ .
- Finas (PM menores a 2.5 micrómetros): Su tiempo de residencia en la atmósfera es prolongada porque los mecanismos de remoción son menos eficientes; afectan la visibilidad, por su efecto de dispersión lumínica.
- Gruesas (PM de 2.5 a 10 micrómetros): Producidas en su mayoría por procesos mecánicos, evaporación de aerosoles y suspensión de polvos. La composición es heterogénea para este tipo de partículas:  $\text{PM}_{10}$  (hierro, aluminio, calcio, sodio, sílice y polvo mineral);  $\text{PM}_{2.5}$  (nitratos, amonio, plomo, carbón negro, sulfatos).

El ozono es una molécula triatómica ( $\text{O}_3$ ), componente natural de la atmósfera que se encuentra en bajas concentraciones y es vital para la vida. La mayor parte del ozono se encuentra en la parte superior de la atmósfera en una región de la estratósfera, a más de 20 km de la superficie, denominada ozonósfera, en donde se concentra más del 90% del ozono atmosférico y forma una capa que limita el ingreso de radiación ultravioleta proveniente del Sol.

El ozono que se encuentra en la superficie, o troposférico, tiene acciones nocivas documentadas para la salud humana. La producción de ozono troposférico se origina en la reacción con óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y compuestos orgánicos con la radiación Ultravioleta (UV). Por esta razón, las máximas concentraciones de  $\text{O}_3$  son cuantificadas en los horarios con mayor radiación solar (14:00 -16:00 horas). (20) Por su origen, los contaminantes se agrupan en: 1) Fuentes puntuales: Aquellas que son estacionarias como plantas energéticas e industrias químicas, refinerías y fábricas; 2) Fuentes móviles: Su origen son formas de transporte y vehículos automotores; 3) Fuentes naturales o biogénicas: resultado de fenómenos de procesos biológicos y geotécnicos (descomposición y creación de metano; liberación de gases y ceniza en eventos volcánicos.) (21)

### **Efecto de la contaminación ambiental en las exacerbaciones respiratorias durante la pandemia de COVID-19.**

En cuanto a la COVID-19, se ha evidenciado la asociación negativa en la disminución del 11% en la tasa de hospitalizaciones y ciudades que respetaron los límites permisibles de  $\text{PM}_{2.5}$ ; así como el aumento de concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$  como

predictor para hospitalizaciones o ingresos en Unidad de Cuidados Intensivos (UCI).(12,22) Un estudio de análisis espacial para identificar conglomerados de hospitalizaciones por COVID-19 correlacionados con la calidad del aire en Países Bajos encontraron que, al sobrepasar 20% el límite de la concentración de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2.5}$ , aumentaría el 100% de hospitalizaciones estimadas por COVID-19. (23) Otros estudios han señalado limitaciones al no incluir variables meteorológicas y demográficas, como la edad y presencia de comorbilidades, en los análisis de correlación y de series de tiempo; esto permitiría robustecer la relación entre los contaminantes atmosféricos y las hospitalizaciones por COVID (22,24,25)

Últimamente, la evidencia de asociación entre los contaminantes atmosféricos y las exacerbaciones y severidad de infecciones virales y bacterianas ha aumentado. (10) Un estudio realizado por Cao et al., en 2014, evidenciaron la correlación positiva de las concentraciones de partículas suspendidas ( $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$ ) y la de patógenos bacterianos. Además, la concentración de contaminantes atmosféricos se relacionado con la permanencia de partículas virales en el ambiente, aumentando su transmisión. (10,26) Por otro lado, se ha estudiado el efecto de la contaminación ambiental en la transmisión de SARS-CoV-2 por muestras ambientales, (Chia et al., 2020, y Setti et al., 2020) donde se ha logrado identificar partículas virales en partículas suspendidas, aunque no se ha determinado la viabilidad del virus para infectar por este medio. (25)

La inhalación constante de material particulado, ozono y dióxido de nitrógeno, desarrolla un estado proinflamatorio crónico en el endotelio respiratorio. El estudio realizado por Zerboni et al, 2018, indicó que el estrés oxidativo causado por  $\text{PM}_{2.5}$  fue acompañado de un incremento de Interleucina 8, incrementando la actividad de macrófagos en ratas. La revisión realizada por Comunian, perfila una asociación causal de contaminantes atmosféricos en la fisiopatología de COVID-19, por la sobreexpresión del receptor ACE-2, como mecanismo de protección pulmonar, debido al aumento de especies reactivas y daño al endotelio pulmonar. (10)

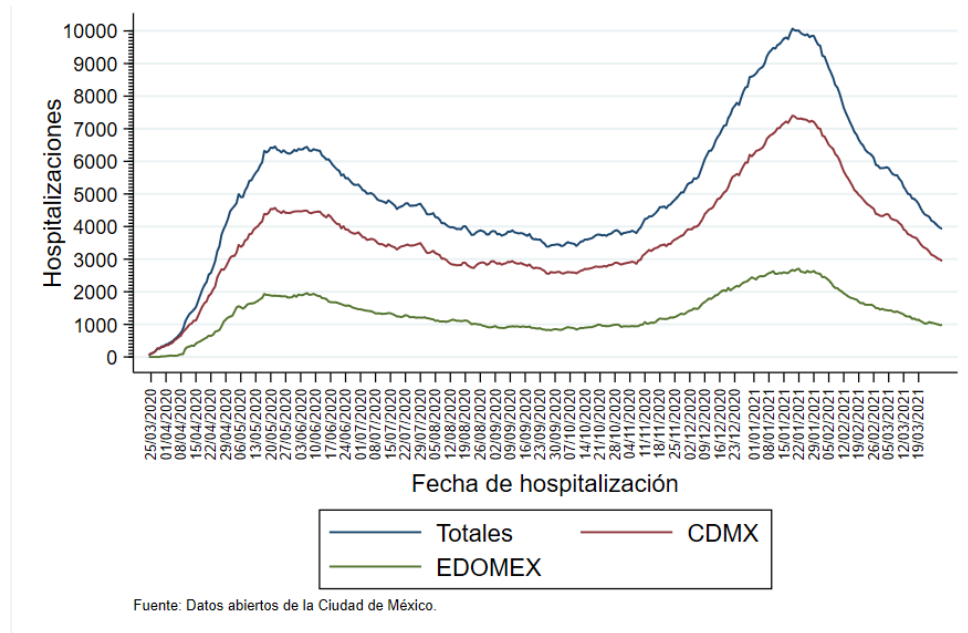
### **Hospitalizaciones por COVID-19 en la ZMVM**

La dinámica de hospitalizaciones de pacientes con COVID-19 está relacionado con el aumento de transmisión de SARS-CoV-2. Esta condiciona un mayor número de casos sintomáticos con manifestaciones clínicas que requieren hospitalización. En México, la ZMVM ha presentado una considerable magnitud de hospitalizaciones respecto a otras zonas metropolitanas del país; esto puede explicarse por la concentración de centros médicos de alta especialidad o de segundo y tercer nivel de atención; la densidad poblacional; movilidad urbana, etc.

El comportamiento en las hospitalizaciones tuvo dos periodos de importancia: 1) Durante mayo del 2020; y 2) tercera semana del enero 2021, con 10,071 camas

ocupadas en su punto más alto, superior de las camas ocupadas pronosticadas por la Ciudad de México para el mismo periodo (escenario de alta transmisión: 9,512; escenario de transmisión media: 8,907) las cuales coinciden con las temporadas de ozono y partículas, respectivamente; y secundarios por las actividades sociales de los periodos vacacionales de Semana Santa, Navidad y Año Nuevo. (27,28) **GRÁFICA 1**

GRÁFICA 1 CASOS HOSPITALIZADOS POR COVID-19 EN UNIDADES MÉDICAS DE LA ZMVM



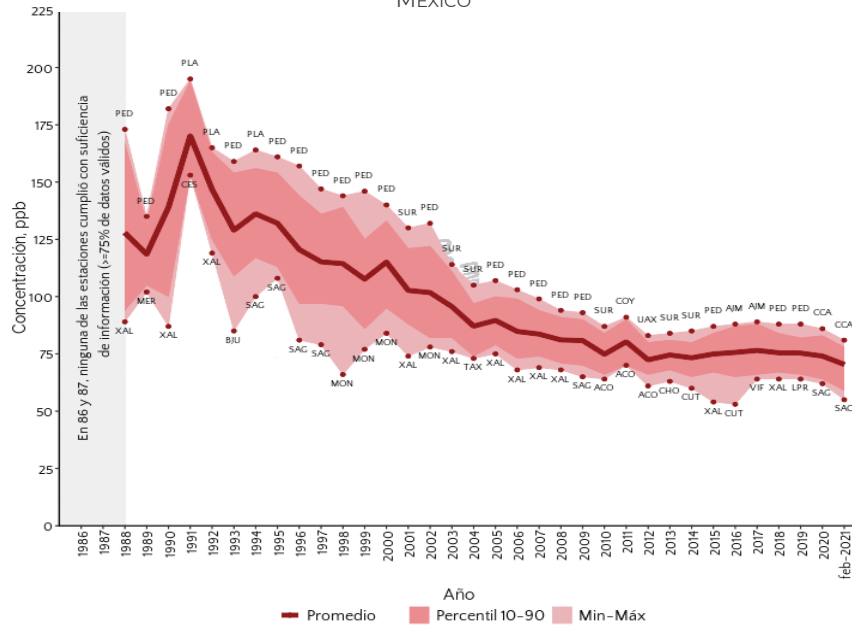
### Situación de la calidad del aire en la ZMVM

La ZMVM es una de las regiones más contaminadas, atmosféricamente, de México. El Dióxido de Azufre tiene su formación en el corredor industrial de Tula-Tepeji, en Hidalgo; en el 2018 la estación de Cuautitlán y Villa Flores (ambos al norte de la ZMVM) reportaron los niveles más altos del contaminante. Por su parte, el Dióxido de Nitrógeno no ha rebasado los límites normados desde el 2010, pero la estación de Tlalnepantla (norte de la ZMVM) registró los niveles más altos en el 2018. Igualmente, el monóxido de carbono se ha mantenido debajo de lo establecido por la norma desde el 2001, atribuido principalmente al Programa de Restricción Vehicular. (29)

El ozono ha disminuido su concentración anual promedio en un 61%, desde 1992, aunque su ha habido un incremento en la última década **GRÁFICA 2**. (20,29) En 2020, 208 días excedieron la norma (más de 95 ppb de Ozono), siendo semejante a los 204 y 210 días excedidos en el 2019 y 2018, respectivamente. En el año 2020, la concentración de ozono disminuyó por la reducción de los Compuestos Volátiles

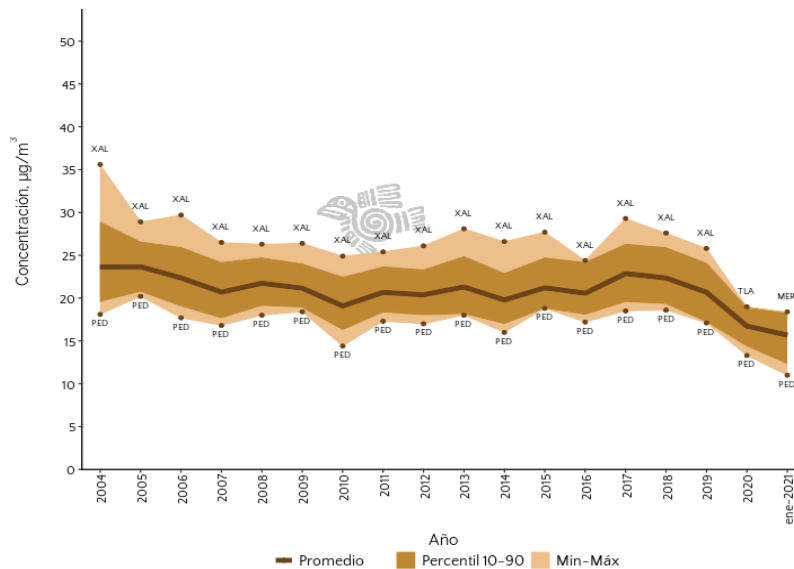
Orgánicos (CVO), fenómeno atribuido a las medidas de confinamiento y control vehicular durante la pandemia de COVID-19. (30)

GRÁFICA 2 PROMEDIO ANUAL DE O<sub>3</sub>, ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO



**Tendencia histórica del promedio anual de Ozono.** Fuente: Gráficos estadísticos de Calidad del Aire.  
<http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27aqBhnmOkZA==%27>

GRÁFICA 3 PROMEDIO ANUAL DE 24 HORAS DE MONITOREO MANUAL DE PM<sub>2.5</sub>, ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO.



**Tendencia histórica del promedio anual de PM<sub>2.5</sub>.** Fuente: Gráficos estadísticos de Calidad del Aire.  
<http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27aqBhnmOkZA==%27>



La concentración de Material Particulado aumenta durante la temporada fría donde la dispersión de las partículas es limitada, permaneciendo cerca de la superficie. Para PM<sub>2.5</sub> ha habido una reducción del 29.2% desde 2004 al 2020 **GRÁFICA 3** y 74.7% para PM<sub>10</sub> en el mismo periodo. Para el 2018, los indicadores sobrepasaron los límites permisibles para contaminantes atmosféricos, concentrándose en la región noroeste de la ZMVM. Estudios previos habían estimado la concentración de PM, donde era esperado su incremento en dicha región. (20,30,31)

## Marco conceptual

El Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica a través del SISVER (Sistema de Vigilancia Epidemiológica de Enfermedad Respiratoria Viral) realiza la vigilancia epidemiológica de enfermedades respiratorias virales, incluyendo a SARS-CoV-2. Los lineamientos vigentes para la Vigilancia Epidemiológica de ERV define como casos: (32)

TABLA 1 DEFINICIONES OPERACIONALES PARA COVID-19. SISVER, MAYO 2021.

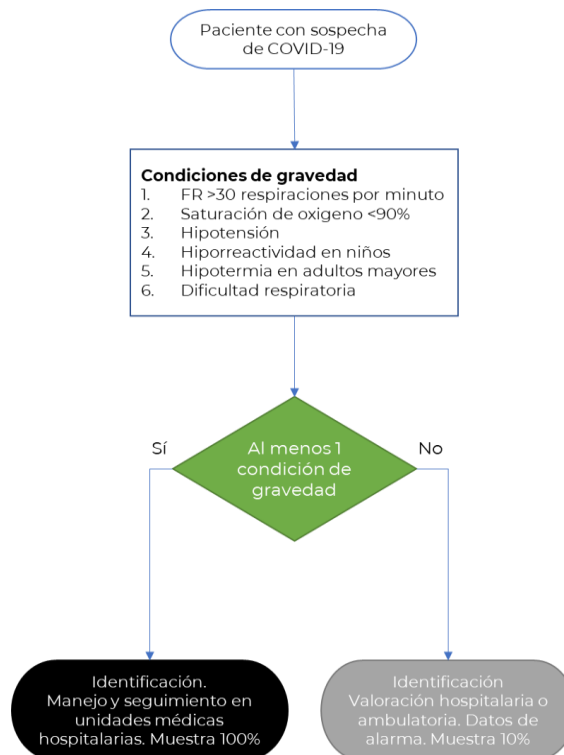
Definición Operacional	Caso	Defunción
<b>Sospechoso</b>	Persona de cualquier edad con los siguientes signos o síntomas: <b>tos, disnea, fiebre o cefalea</b> . Acompañado de los siguientes signos o síntomas: Mialgias, Artralgias, Odinofagia, Escalofríos, Dolor torácico, Rinorrea, Polipnea, Anosmia, Disgeusia, Conjuntivitis.	No aplica
<b>Confirmada por laboratorio</b>	A través de PCR-RT por parte de la RED Nacional de Laboratorios de Salud Pública reconocidos por el InDRE.	
<b>Confirmada por prueba rápida</b>	Cuenta con una prueba antigénica rápida positiva para SARS-CoV-2 mediante un estuche comercial avalado por el InDRE. La toma de muestra para prueba antigénica rápida debe realizarse únicamente durante los <b>primeros 7 días a partir del inicio de los síntomas</b> . Las pruebas antigénicas rápidas no están indicadas en personas asintomáticas.	
<b>Confirmada por asociación epidemiológica</b>	Persona que cumpla con definición operacional de caso sospechoso y que haya estado en contacto estrecho (convivencia a menos de 1 metro de distancia por 15 minutos o más continuos o acumulados*) con un caso confirmado por laboratorio a PCR-RT o prueba antigénica rápida para SARS-CoV-2, desde 2 hasta 14 días antes del inicio de síntomas y que el caso confirmado al cual se encuentra asociado, se encuentre registrado en la plataforma del SISVER o en el Sistema de Notificación en Línea para la Vigilancia Epidemiológica (SINOLAVE).	
<b>Confirmada por dictaminación epidemiológica</b>	No aplica	Persona fallecida que cumpla con la definición operacional de caso sospechoso, con resultado de muestra rechazada, no amplificada, no adecuada, no recibida o sin toma de muestra y que haya tenido contacto con un caso confirmado por laboratorio a PCR-RT o prueba antigénica rápida para SARS-CoV-2, durante los últimos 14 días previos a la fecha de inicio de síntomas y que el caso confirmado al cual se encuentra asociado, este registrado en la plataforma del SISVER.

Fuente: SS/Dirección General de Epidemiología/SINAVE-SISVER/Lineamiento Estandarizado para la Vigilancia Epidemiológica y por Laboratorio de la enfermedad respiratoria viral, publicado en enero 2021: <https://www.gob.mx/salud/documentos/lineamiento-estandarizado-para-la-vigilancia-epidemiologica-y-por-laboratorio-de-la-enfermedad-respiratoria-viral>

**Caso de Infección Respiratoria Aguda Grave (IRAG):** Toda persona que cumpla con la definición de caso sospechoso de Enfermedad Respiratoria Viral y con presencia de alguno de los siguientes datos de gravedad: disnea, dolor torácico o desaturación.

La Vigilancia Epidemiológica se realiza en las Unidades de Salud Monitoras de Enfermedad Respiratoria Viral (USMER), donde se muestrean al 10% de los casos ambulatorios; y 100% de los casos graves u hospitalizados. Las unidades médicas no USMER muestrean y notifican al 100% de los casos que cumplan definición operacional de IRAG. (32) En las unidades médicas No USMER se captura pacientes hospitalizados con resultado por PCR-RT y antigénicas y por asociación clínico-epidemiológica. **ILUSTRACIÓN 1** En abril 2020, la vigilancia epidemiológica se basaba en el componente centinela para enfermedad por influenza. Durante los primeros meses de la pandemia en México, la vigilancia era realizada en los 475 USMER (anteriormente Unidades Médicas Monitoras de Influenza) muestreando al 10% de

ILUSTRACIÓN 1 ALGORITMO PARA VALORACIÓN DE HOSPITALIZACIÓN DE PACIENTE SOSPECHOSO A COVID-19



**Algoritmo modificado de los Algoritmos Interinos para la Atención del COVID-19, IMSS, con actualización a septiembre 2020.**

los casos ambulatorios; y 100% de casos sospechosos con sintomatología grave y 100% de IRAG. (33)

### **Conformación de las Zonas de monitoreo del SIMAT en el ZMVM.**

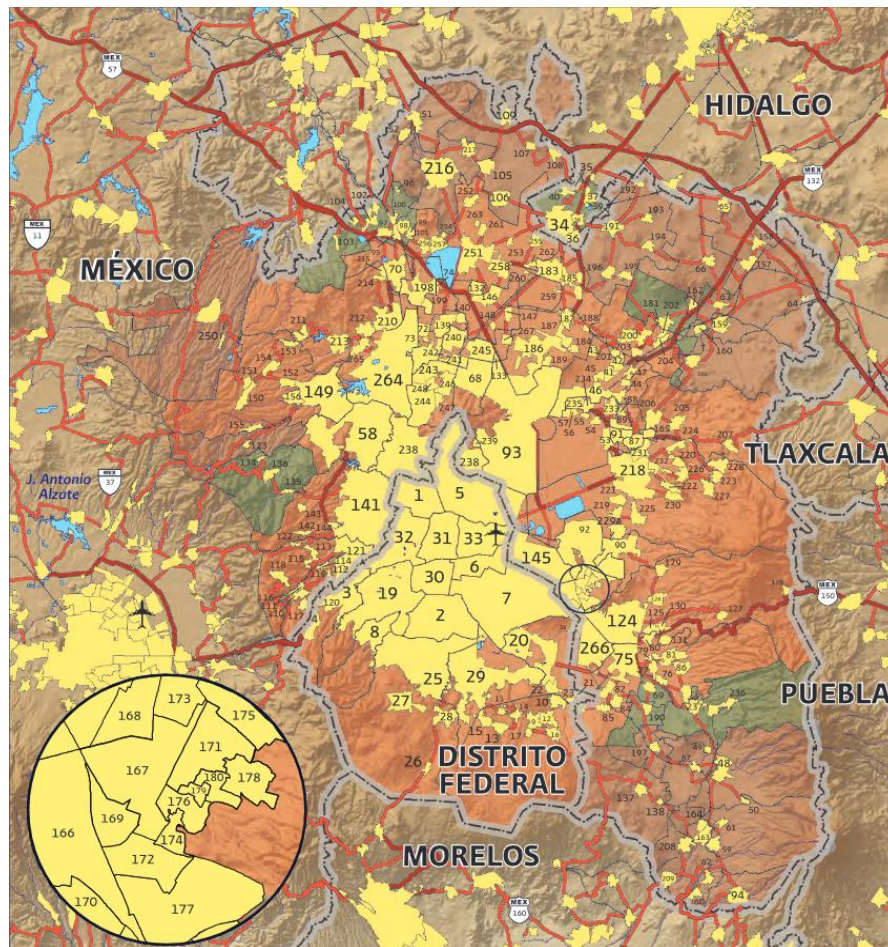
De acuerdo con la última delimitación territorial de Zonas Metropolitanas de México, del CONAPO, del año 2010, La ZMVM está conformada por 59 municipios del Estado de México y 16 alcaldías de la Ciudad de México y el municipio de Tizayuca, Hidalgo. La población en el 2020 de la ZMVM fue estimada en 22,086,499 personas, siendo Iztapalapa el territorio con mayor población (**ANEXO 1**) La extensión territorial de la ZMVM fue calculada en 7,866 km<sup>2</sup>, siendo la más extensa del país (2)

### **Sistemas de información y repositorios de valores de contaminantes, validación de datos**

La NOM-172-SEMARNAT-2019 define a la calidad del aire como “el estado de la concentración de los diferentes contaminantes atmosféricos en un periodo de tiempo y lugar determinados, cuyos valores máximos de concentración se establecen en las normas oficiales mexicanas y que son catalogados por un índice estadístico atendiendo sus efectos en la salud humana”. (1)El Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) es el encargado de la recolección, validación y publicación de los datos de la concentración de contaminantes en el aire, por medio de 44 sitios de monitoreo en la ZMVM (28 en la Ciudad de México y 16 en el Estado de México), distribuidas espacialmente en cinco zonas delimitadas por el SIMAT (centro, suroeste, sureste, noroeste, noreste. (**ANEXO 2**). (20,34)

El SIMAT evalúa cinco contaminantes que cumplen características requeridas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y los incluidos en la Norma Oficial Mexicana para cada contaminante. La finalidad de estandarizar valores para cada contaminante es la de generar resultados reproducibles, trazables y evaluables. Los cinco contaminantes son: El dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, ozono y partículas suspendidas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>). (1,20,35) Los límites permitidos para cada contaminantes criterio se encuentran en la

MAPA 1 ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO, 2010.



**Delimitación territorial de la Zona Metropolitana del Valle de México, de acuerdo con la *Delimitación De Las Zonas Metropolitanas De México 2010*. CONAPO.**

TABLA 2 CONTAMINANTES CRITERIOS MONITORIZADOS POR EL SIMAT EN LA ZMVM

Contaminante	Valores límites permisibles vigentes	Norma Oficial
<b>Dióxido de azufre</b>	0.110 ppm máximo promedio de 24 horas.	<a href="#">NOM-022-SSA1-2019</a>
<b>Monóxido de Carbono</b>	11 ppm, máximo anual como promedio móvil de 8 horas.	<a href="#">NOM-021-SSA1-1993</a>
<b>Dióxido de nitrógeno</b>	0.210 ppm, promedio horario 0.070 ppm, concentración de 8 horas	<a href="#">NOM-023-SSA1-1993</a>
<b>Ozono</b>	0.090 ppm por hora.	<a href="#">NOM-020-SSA1-2021</a>
<b>Partículas suspendidas menores a 10 micrómetros</b>	70 µg/m <sup>3</sup> , promedio 24 horas en el primer año de implementación 36 µg/m <sup>3</sup> , promedio anual, en el primer año de implementación.	<a href="#">NOM-025-SSA1-2021</a>
<b>Partículas suspendidas menor a 2.5 micrómetros</b>	41 µg/m <sup>3</sup> , promedio 24 horas en el primer año de implementación 12 µg/m <sup>3</sup> , promedio anual	<a href="#">NOM-025-SSA1-2021</a>

Las mediciones de los contaminantes ambientales se analizan por concentración promedio horario; concentraciones promedio móviles de 8 y 24 horas; y concentración móvil ponderada de 12 horas.(1) Para el presente trabajo, serán analizados los contaminantes criterio PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub>.

### Normatividad vigente para la calidad del aire en la CDMX.

La Gestión de la calidad del aire entre los estados de la Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Puebla y Tlaxcala, es realizada por la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME), integrada el 3 de octubre del 2013. El 06 de abril de 2016, la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) da a conocer la nueva estructura de su Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA), en el cual desaparece la fase de Precontingencia, permaneciendo únicamente la Fase 1 y Fase

2 de Contingencia Ambiental. Los límites para emitir fase de contingencia ambiental por Ozono, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> se encuentran en la **TABLA 3**. (34)

TABLA 3 CRITERIOS PARA EMISIÓN DE CONTINGENCIA PARA LOS CONTAMINANTES OZONO Y PM<sub>2.5</sub> Y PM<sub>10</sub>

Contaminante	Valores	Contingencia	
		Fase 1	Fase 2
<b>Ozono</b>	0.095* ppm, promedio horario.	>150 puntos (>154 ppb)	>200 puntos (>204 ppb)
<b>Partículas suspendidas menores a 10 micrómetros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 75 µg/m<sup>3</sup>, promedio 24 horas.</li> <li>• 40* µg/m<sup>3</sup>, promedio anual</li> </ul>	>150 puntos (>214 µg/m <sup>3</sup> )	>200 puntos (>354 µg/m <sup>3</sup> )
<b>Partículas suspendidas menor a 2.5 micrómetros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 45* µg/m<sup>3</sup>, promedio 24 horas</li> <li>• 12* µg/m<sup>3</sup>, promedio anual</li> </ul>	>150 puntos (>97.4 µg/m <sup>3</sup> )	>200 puntos (>150.4 µg/m <sup>3</sup> )

\*Aún no se actualiza los valores de corte para las fases de contingencia atmosférica. Los NOM actualizadas tienen 60 días para observarse modificaciones y aplicarse en la ZMVM.

El 18 de febrero del 2020, el Índice de Calidad del Aire (IMECA) fue suplido por el Índice de Calidad del Aire y Riesgos de la Salud (Índice Aire y Salud). La normativa del nuevo índice se encuentra en la Norma Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019 “Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud”. El Índice Aire y Salud, relaciona la concentración de cada contaminantes criterio a una categoría de calidad del aire, otorgando un nivel de riesgo y recomendaciones de protección de grupos sensibles y población general. La categorización de calidad del aire correspondiente a cada contaminante se modificó, siendo sus intervalos más estrictos en comparación con el IMECA, aunque no fueron modificados los límites para cada contaminante. (20,35).

El 27 y 28 de octubre del 2021, fueron publicadas las actualizaciones de la NOM-025-SSA1-2021 (36), referente a la medición y niveles de concentración de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> y la NOM-020-SSA1-2021, referente a la concentración de Ozono (O<sub>3</sub>). (37) La actualización hace referencia a umbrales de medición más bajos que en los publicados en la versión del 2014 de estas Normas Oficiales; con el objetivo de disminuir persistente y paulatinamente la concentración de estos contaminantes.

**Análisis de series de tiempo para cuantificar la magnitud del efecto.**

La contaminación ambiental y su asociación con hospitalizaciones por COVID-19 se ha evidenciado en estudios ecológicos de series de tiempo realizados en Italia, Países Bajos y China.

Una serie de tiempo refiere a la distribución de observaciones en un periodo de tiempo y estas son descritas por sus componentes de tendencia, ciclicidad o estacionalidad; y ruido o residuos. (38–40) Para este fin, han sido usados métodos de descomposición de series de tiempo para describir el comportamiento de la distribución de las observaciones temporales. (41) Diversos estudios han estimado la asociación estadística entre los contaminantes ambientales y la dinámica de la pandemia de COVID-19, analizada por el método de medias móviles. Este método supone la exposición acumulada de un contaminante en ventanas (*lags*) de tiempo determinado, permitiendo evaluar la correlación de un evento (hospitalización, defunción o caso) con la exposición acumulada durante los días de interés. Los *lags* de siete días son los más usuales, aunque otros estudios han utilizado ventanas de 14 o 21 días. (41–43)

## Planteamiento del problema

La Zona Metropolitana del Valle de México constituye una de las regiones más contaminadas en nuestro país, las concentraciones de estos contaminantes sobrepasan lo establecido en las NOM-025-SSA1-2014 y NOM-020-SSA1-2014, la mayor parte del tiempo. La actual pandemia por COVID-19 condicionó la realización de diversas actividades a nivel mundial, impactando en la producción de contaminantes y disminuyendo temporalmente sus concentraciones; sin embargo, se ha considerado que la exposición a una mala calidad del aire durante periodos prolongados de tiempo se relaciona con agravamiento de los casos por COVID-19.

Aunque se han realizado algunos estudios en países del continente asiático y europeo, en relación con la mortalidad y severidad por COVID-19 y la contaminación atmosférica, no existe suficiente evidencia de lo que ocurre en las Zonas Metropolitanas de nuestro país; México es uno de los países que han reportado mayor número de defunciones y hospitalizaciones por COVID-19, siendo la ZMVM ha concentrado la mayor proporción de ellas, con 8,598 hospitalizaciones para el 31 de diciembre, aunque 1,253,622 eventos de hospitalización en el periodo de 24 de marzo al 31 de diciembre del 2020. (27,44) Es importante identificar si la contaminación presente en la ZMVM se relaciona con agravamiento de los casos de COVID-19 y por ende su hospitalización.

Por lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación:



## Pregunta de investigación

**¿Cuál es la relación entre de la concentración de contaminantes atmosféricos y la tasa de hospitalizaciones por COVID-19, en la ZMVM, durante el año 2020?**

## Justificación

La ZMVM es una de las zonas más contaminadas de nuestro país; tan solo en 2016 fue activada 10 veces la fase I de contingencia ambiental. El año 2020, a pesar de una reducción del aforo vehicular, se activó en una ocasión la Fase 1 de contingencia ambiental por Ozono en la ZMVM y se reportaron únicamente 27 días limpios (26.57%); las concentraciones de contaminantes establecidas tanto por la OMS como por las Normas Oficiales Mexicanas fueron sobrepasadas en varios de los días del año.

Desde el 28 de febrero hasta el 31 de diciembre del 2020, en México se habían registrado 1,426,094 casos y 310,274 hospitalizados y, específicamente, en la ZMVM se habían notificado 486,669 casos y 17,309 hospitalizaciones confirmados a COVID-19. La realización de este estudio proporcionará información acerca de la asociación entre las hospitalizaciones por COVID-19 y las concentraciones de O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, durante el año 2020, en la ZMVM. Es primordial el acercamiento epidemiológico de la contaminación atmosférica hacia la evolución de una pandemia. Se ha evidenciado la relación entre las concentraciones de contaminantes en el aire con la exacerbación de enfermedades respiratorias en la varias Zonas Metropolitanas en el mundo, pero el acercamiento a las grandes ciudades de Latinoamérica continúa pendiente, formulándose hipótesis para la investigación de nuevas formas en el manejo de enfermedades respiratorias virales y reforzar la evidencia del impacto de la calidad del aire con la severidad de los casos por COVID-19 en la Zonas Metropolitanas de nuestro país.

## Objetivo primario

Evaluar la relación entre las concentraciones de  $O_3$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ ; y la tasa de hospitalizaciones por COVID-19, diarias, durante el 2020, en la ZMVM.

## Objetivos secundarios

- Caracterizar epidemiológicamente las hospitalizaciones por COVID-19 por sexo, edad, registradas en el SISVER, estratificada por municipios y regiones del SIMAT.
- Describir los componentes de las series de tiempo de las concentraciones diarias de  $O_3$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en la ZMVM, durante el año 2020.
- Describir los componentes de la serie temporal tasa de hospitalización diaria por COVID-19, en la ZMVM, durante el 2020.
- Estimar la relación de la concentración de contaminantes atmosféricos y la tasa de hospitalizaciones por COVID-19, por regiones Centro, Suroeste, Sureste, Noroeste y Noreste.

## Hipótesis

La distribución temporal de hospitalizaciones por COVID-19 se correlaciona de manera positiva con la distribución temporal de la concentración de  $O_3$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ , en la ZMVM durante el año 2020.

# Metodología

Se propone un estudio de diseño ecológico de análisis de series de tiempo, siendo

- Observacional: La exposición no está controlado por el investigador.
- Retrolectivo: Se recolectarán observaciones pasadas.
- Analítico: buscará asociación temporal entre las variables de interés.

## Población

**Marco muestral:** Casos o defunciones hospitalizadas y confirmadas por laboratorio, asociación o dictaminación epidemiológicas, a COVID-19, notificados en el SISVER, agrupados por nivel municipal con la medida de tasa de hospitalización.

## Criterios de selección

Criterios de inclusión:

- Casos y defunciones confirmados a COVID-19 por laboratorio, asociación o dictaminación epidemiológicas, notificadas en el SISVER del 28 de febrero al 31 de diciembre del 2020.
- Que hayan sido catalogados como hospitalizados en cualquier momento de su evolución clínica.
- Residente habitual de la ZMVM.

Criterios de exclusión

- Registros donde no se incluya la residencia habitual.
- Estaciones de monitoreo donde no se haya realizado medición en el año 2020.

## Diseño muestral

Diseño muestral: No probabilístico, a conveniencia.

La estimación del tamaño de muestra se basó en el coeficiente correlación de Pearson presentado en Frontera et al, (2020), estableciéndose una significancia estadística menor o igual a 0.05 y poder estadístico del 0.80. Se utilizó la formula presentada en Armstrong et al, (2020). (26,45)

$$\sum Y_i \cong \left[ \frac{(z_{\frac{\alpha}{2}} + z_{1-power})}{|\beta_{H1}| \cdot SD_{(x|z)}} \right]^2$$

Donde,  $\sum Y_i$  es el total de hospitalizaciones mensuales,  $\beta_{H1}$  es el coeficiente de correlación entre las variables de interés (Total de pacientes hospitalizados y concentraciones promedio de  $PM_{2.5}$ ), y  $SD_{(x|z)}$  es la desviación estándar de los

residuos de la variable  $PM_{2.5}$  en una regresión lineal, en relación con el total de pacientes hospitalizados.

$$\sum Y_i \cong \left[ \frac{(1.96 + 0.84)^2}{0.62 \cdot 0.5} \right]$$

$$\sum Y_i \cong 81.58$$

Se requiere un total de **82 observaciones mensuales en la serie de tiempo o  $\cong$  3 unidades diarias para** encontrar un coeficiente de correlación mínimo de 0.62.

## Operacionalización de variables

Nombre	Descripción	Por su relación	Tipo	Unidad de Medida	Fuente
Tasa de Hospitalizaciones por COVID-19	Número de hospitalizaciones por COVID-19 registradas en el SISVER entre la población estimada 2020. (12)	Dependiente	Cuantitativa continua	Personas hospitalizadas por COVID-19	SISVER*
Concentración diaria promedio de PM <sub>10</sub>	Concentración diaria promedio de PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ).	Independiente	Cuantitativa continua	µg/m <sup>3</sup>	SIMAT&
Concentración diaria promedio de PM <sub>2.5</sub>	Concentración diaria promedio de PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ).	Independiente	Cuantitativa continua	µg/m <sup>3</sup>	SIMAT&
Concentración diaria promedio de Ozono	Concentración diaria promedio de Ozono (ppb).	Independiente	Cuantitativa continua	ppb	SIMAT&
Lugar de residencia habitual	Lugar de residencia habitual por municipio de residencia.	Confusora	Cualitativa Politómica	Codificación de 1 a 75	SISVER*
Zona Geográfica SIMAT(34)	Área geográfica de activación por contingencia definida por el SIMAT. Los municipios y alcaldías que conforman las zonas son: <b>Zona Centro (CO)</b> <b>Zona Noreste (NE)</b> <b>Zona Noroeste (NO)</b> <b>Zona Sureste (SE)</b> <b>Zona Suroeste (SO)</b>	Confusora	Cualitativa politómica	1 (Centro) 2 (Noroeste) 3 (Noreste) 4 (Sureste) 5 (Suroeste)	SIMAT&
Sexo	Total de características estructurales, funcionales y fenotípicas que diferencian a hombres y mujeres	Confusora	Cualitativa	Si. No.	SISVER*
Edad	Número de años cumplidos.	Confusora	Cuantitativa	Número entero	SISVER*

\*Citado de: Lineamiento Estandarizado para la Vigilancia Epidemiológica y por Laboratorio de la Enfermedad Respiratoria Viral, secretaría de salud (2021). [www.gob.mx/salud](http://www.gob.mx/salud)

&Citado de: SIMAT. (2016). Dirección de Monitoreo Atmosférico. Secretaría Del Medio Ambiente. <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnmI=%27&dc=Zw==>

## Plan de Análisis

Se describirán medidas de tendencia central y de dispersión, de la tasa de hospitalización, concentraciones de contaminantes atmosféricos. Posteriormente, se describirán los componentes de tendencia, estacionalidad y residuos, de las series de tiempo. Para este proceso, se utilizará el método clásico de descomposición. (46)

$$y_t = S_t + T_t + R_t$$

Donde  $y_t$  son los datos de serie de tiempo;  $S_t$  es el componente estacional,  $T_t$  el componente de tendencia y  $R_t$  el componente de residuo.

Para el análisis multivariado, se realizará modelo de autorregresión considerando el componente de autocorrelación de las series temporales, evaluada con la prueba de Ljung-Box; si la serie de tiempo presenta autocorrelación, se optará por el modelo autorregresivo integrado con medias móviles (ARIMA, por sus siglas en inglés). Las medias móviles de cada contaminante atmosférico se calcularán con periodo de siete y 14 días con el fin de estimar el efecto acumulado de los contaminantes atmosféricos a los siete y 14 días, sobre la tasa de hospitalizaciones en cada unidad geográfica de interés. (41)

Para la descarga, limpieza, organización y análisis de los datos se utilizará el software de licencia libre R.

# Resultados

Se revisaron 96,723 registros de hospitalizaciones por COVID-19 en el periodo del 1 de enero al 31 de diciembre del 2020, en 75 municipios de la ZMVM (16 demarcaciones territoriales de la CDMX y 59 municipios del EDOMEX). Además, 316,224 registros horarios de concentración de ozono; 237,168 de concentración de PM<sub>10</sub> y 210,816 de concentración de PM<sub>2.5</sub>, en 37, 17 y 18 estaciones de monitoreo respectivamente. La ubicación de las estaciones de monitoreo puede encontrarse en el **ANEXO 3**.

## Concentraciones de contaminantes atmosféricos.

- Ozono: El ozono es registrado por la estación de monitoreo (revisar por qué eso). La mayor mediana de concentración se observó en Acolman, en el Estado de México, con 46 ppb (RIC: 33-65 ppb).
- PM<sub>2.5</sub>: La estación de monitoreo con mayor mediana de concentración se observó en Nezahualcóyotl, Ciudad de México, con 21 (RIC: 13-30 µg/m<sup>3</sup>) Máx: 151 µg/m<sup>3</sup>.
- PM<sub>10</sub>: La estación de monitoreo con mayor mediana de concentración se observó en Tláhuac, Ciudad de México, con 46 µg/m<sup>3</sup> (RIC: 31-65 µg /m<sup>3</sup>) Máx: 506 µg /m<sup>3</sup>.

TABLA 4 CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICO POR ESTACIÓN DE MONITOREO.

MONITORES	OZONO*	PM <sub>10</sub> *	PM <sub>2.5</sub> *
	<b>Mediana (c25-c75) Max</b>		
<b>ACO</b>	46 (33 - 65) 134	31 (19 - 52) 311	( - )
<b>AJM</b>	27 (11 - 51) 120	( - )	( - )
<b>AJU</b>	21 (10 - 39) 132	( - )	16 (10 - 24) 158
<b>ATI</b>	23 (9 - 44) 119	30 (18 - 45) 598	( - )
<b>BJU</b>	20 (5 - 45) 137	31 (20 - 43) 146	16 (10 - 24) 87
<b>CAM</b>	28 (12 - 52) 159	32 (22 - 46) 253	18 (11 - 25) 121
<b>CCA</b>	( - )	( - )	16 (11 - 23) 87
<b>CHO</b>	36 (22 - 55) 135	( - )	( - )
<b>CUA</b>	19 (3 - 44) 128	36 (24 - 49) 244	( - )
<b>CUT</b>	22 (11 - 42) 125	40 (25 - 62) 387	( - )
<b>FAC</b>	27 (11 - 50) 126	27 (16 - 43) 392	( - )
<b>FAR</b>	24 (7 - 49) 133	( - )	16 (10 - 23) 117
<b>GAM</b>	30 (13 - 55) 150	39 (25 - 55) 219	17 (11 - 26) 93
<b>HGM</b>	32 (22 - 46) 112	( - )	( - )
<b>INN</b>	25 (9 - 51) 134	19 (11 - 29) 168	11 (7 - 17) 77
<b>IZT</b>	20 (7 - 40) 98	32 (22 - 44) 148	( - )
<b>LLA</b>	21 (5 - 39.25) 116	( - )	( - )
<b>LPR</b>	21 (6 - 46) 146	( - )	( - )
<b>MER</b>	25 (10 - 48) 147	42 (29 - 58) 219	21 (13 - 30) 102
<b>MGH</b>	25 (8 - 44) 117	( - )	( - )
<b>MON</b>	40 (28 - 57) 143	( - )	15 (10 - 22) 113
<b>MPA</b>	25 (11 - 48) 121	( - )	( - )
<b>NEZ</b>	29 (16 - 52) 153	( - )	21 (13 - 30) 151
<b>PED</b>	29 (12 - 51) 133	27 (17 - 40) 210	16 (10 - 23) 120
<b>SAC</b>	21 (9 - 39) 116	( - )	21 (13 - 32) 110
<b>SAG</b>	30 (17 - 52) 151	46 (31 - 65) 404	20 (12 - 29) 126
<b>SFE</b>	29 (15 - 53) 143	25 (17 - 38) 288	14 (9 - 21) 75
<b>TAH</b>	19 (8 - 39) 130	46 (31 - 65) 519	( - )
<b>TLA</b>	18 (5 - 41) 123	41 (28 - 56) 231	20 (13 - 28) 105
<b>TLI</b>	29 (12 - 53) 146	( - )	( - )

MONITORES	OZONO*	PM <sub>10</sub> *	PM <sub>2.5</sub> *
UAX	25 (9 - 50) 136	( - )	17 (11 - 24) 114
UIZ	24 (9 - 46) 135	38 (25 - 53) 219	18 (11 - 27) 189
VIF	( - )	40 (24 - 65) 615	( - )

### Incidencia de hospitalizaciones COVID-19 en el ZMVM

Se calculó la incidencia de hospitalizaciones por COVID-19 en personas que fueron confirmadas por laboratorio, por asociación o dictaminación epidemiológica. Se analizaron 75 municipios pertenecientes a la ZMVM, y donde se encontraban los Monitores Atmosféricos. La incidencia acumulada de hospitalización más altas fue en los municipios de. Temamatla (8.6), Azcapotzalco (7.5), e Iztacalco (7.2); Papalotla (0.8) y Ecatzingo (0.6), las más bajas. A nivel regional, la ZMVM tuvo una mediana de 12.8, RIC: 9.45 – 19.0, máx.: 38.8, mín.: 0.04. En el **ANEXO 4**, se encuentran las incidencias acumuladas de hospitalización por municipio.

La **TABLA 5** se muestra los resultados regionales y estratificación por zona. La mediana de edad y rango intercuartílico, en años, fue de 59 (48-70) y 58 (47-68), para mujer y hombre, respectivamente. La proporción de hospitalizados fue mayor en hombres (61.1%).



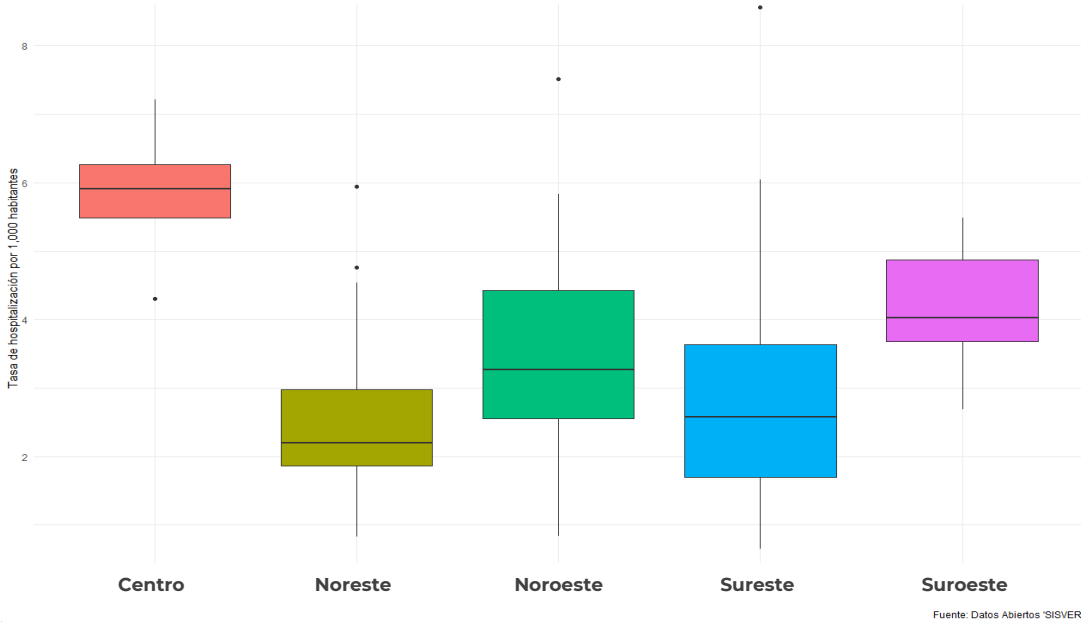
## Estratificación por regiones de la ZMVM

TABLA 5 ESTRATIFICACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS E INCIDENCIA DE HOSPITALIZACIONES.

Variable	ZMVM	CO	NE	NO	SE	SO	p
<b>Ozono*</b>							
Mediana	30.4	30.0	26.6	27.3	34.8	36.6	
RIC	23.7-38.3	22.9 - 40.1	21.9 – 33.4	21.7 – 34.0	26.9 – 43.2	29.0-44.7	0.4168**
Rango	6.12-75.2	7.08-63.6	7.12-62.9	6.12-60.1	8.2-71.2	10.6-75.2	
<b>PM<sub>2.5</sub>*</b>							
Mediana	19.4	20.8	22.0	20.5	20.1	16.0	
RIC	14.3-24.9	15.4-26.3	17.1-27.5	15.2-25.8	15.0-25.8	12.2-20.4	0.3396**
Rango	3.83-63.4	5.3-48.2	5.8-42.2	5.2-55.2	3.4-63.4	4.2-53.0	
<b>PM<sub>10</sub>*</b>							
Mediana	37	37.0	49.0	39.0	44.4	28.6	
RIC	26.8-50.8	28.0-47.7	33.1-61.8	28.5-51.4	32.2-55.3	21.5-36.7	0.4760**
Rango	5.96-128.0	10.4-84.8	8.2-128.0	11.7-93.0	9.83-101.0	5.96-80.4	
<b>Tasa de Hospitalización*</b>							
Mediana	12.8	17.5	11.9	13.24	12.34	13.63	
RIC	9.45-19.0	12.57-24.61	8.3-17.6	9.83-18.9	8.8-19.9	10.6-19.0	<0.0000**
Rango	0.04-38.8	0.54-56.33	0.12-34.82	0.18-46.54	0.25-40.88	0.35-45.6	
<b>Edad</b>							
Mediana	58	60	58	57	56	58	
RIC	(47-68)	49-70	47-68	46-68	46-67	47-69	0.56 <sup>§</sup>
<b>Sexo</b>							
Mujer	38.51%	38.58%	37.49%	39.26%	38.74%	39.20%	
Hombre	61.49%	61.42%	62.51%	60.74%	61.26%	60.80%	0.65 <sup>§</sup>

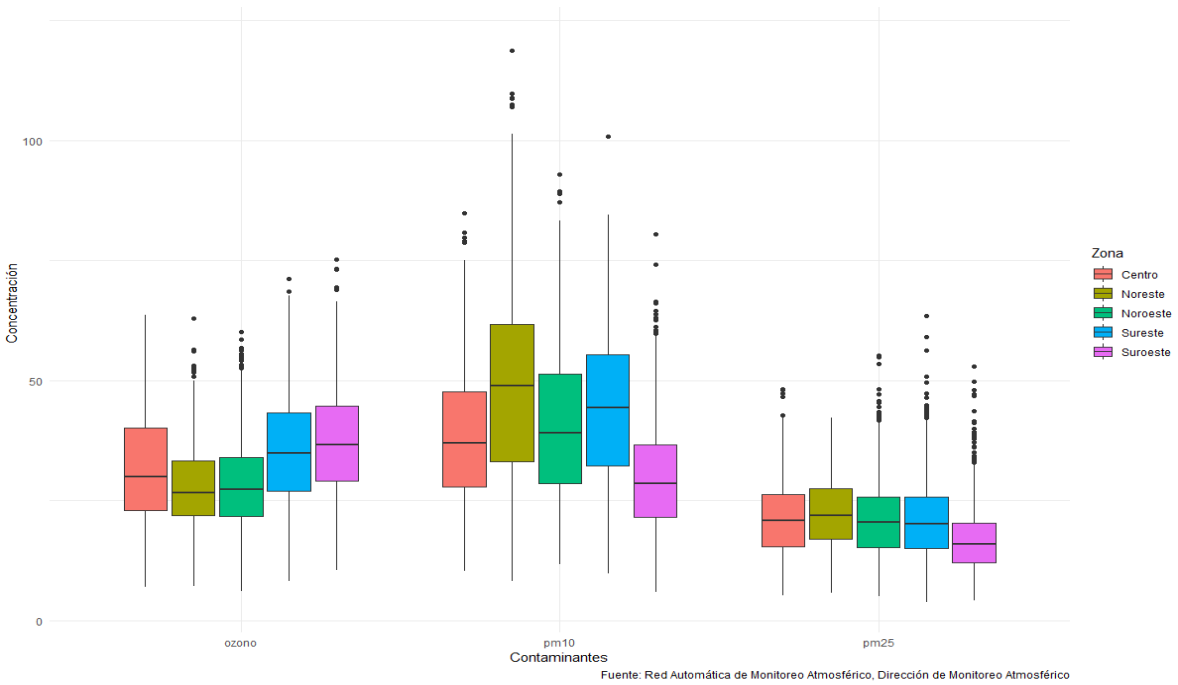
Zonas del Valle de México: Centro (CO); NE (Noreste); NO (Noroeste); SE (Sureste); SO (Suroeste. Por millón de habitantes.; \* Mediana, RIC y rango de 365 días. \*\*Prueba de Kruskal Wallis (mediana de cada día); <sup>§</sup>Prueba de Chi cuadrada

GRÁFICA 4 INCIDENCIA DE HOSPITALIZACIÓN POR COVID-19, POR ZONA.



Mediana en la incidencia de tasa de hospitalización.  
Fuente: Datos abiertos, SISVER.

GRÁFICA 5 CONCENTRACIÓN DIARIA DE CONTAMINANTES POR ZONAS, 2020



Concentraciones: ozono (ppb), PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> (µg /m<sup>3</sup>). Caja representa p25 – p75; línea central a la mediana.  
Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)

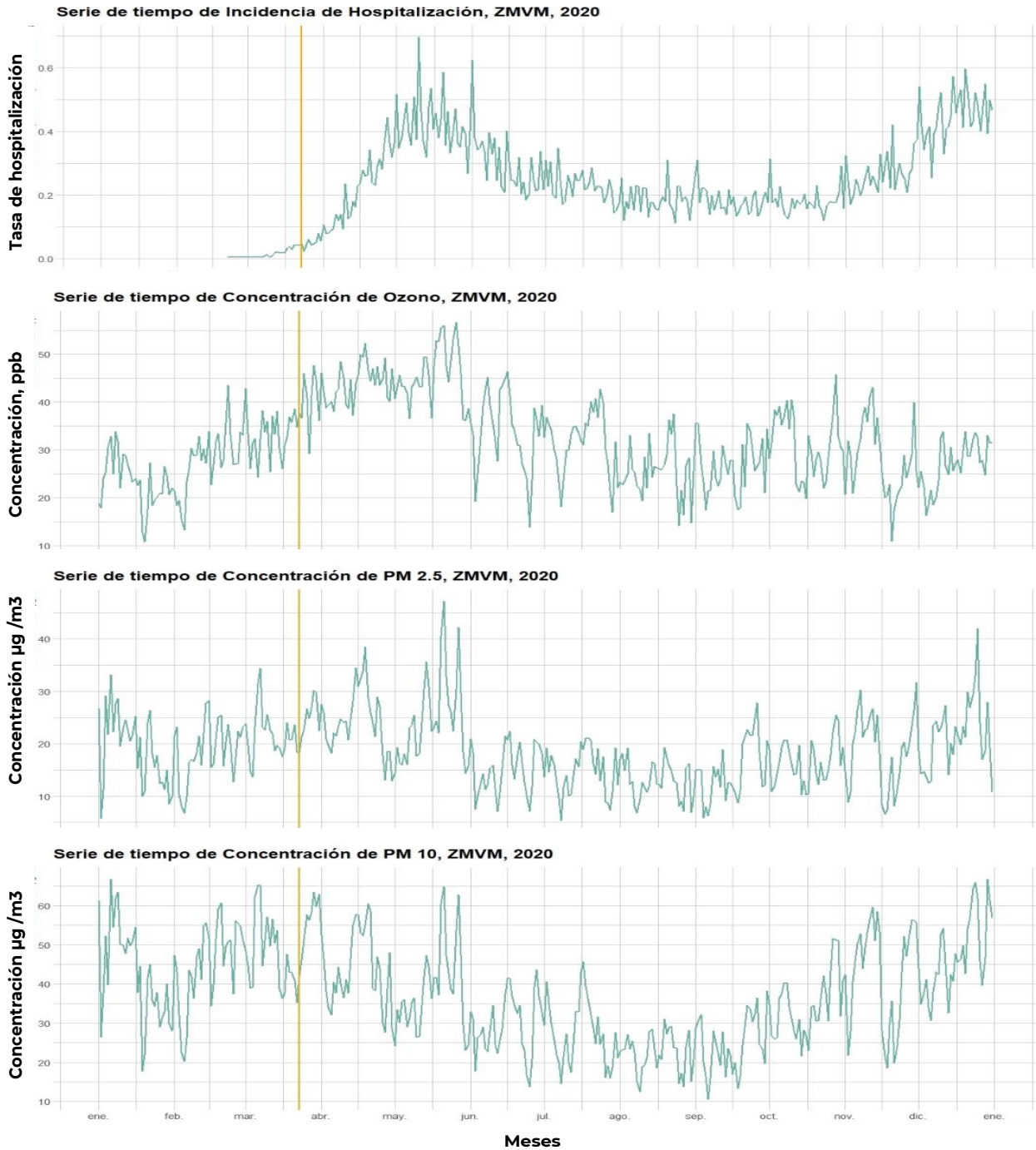
### **Descripción de series de tiempo.**

La distribución de contaminantes atmosféricos presenta un aumento esperado en el periodo de enero-abril, posteriormente, finalizando mayo comenzó un descenso de los tres contaminantes.

El comportamiento del material particulado fue similar en la ZMVM, así como en las cinco zonas categorizadas. La tendencia mostró un incremento sostenido en el periodo de enero-mayo de  $PM_{2.5}$  y predominio del  $PM_{10}$  en el mismo periodo. En el periodo junio-septiembre la concentración del material particulado disminuyó, volviéndose a elevar en la temporada octubre-diciembre.

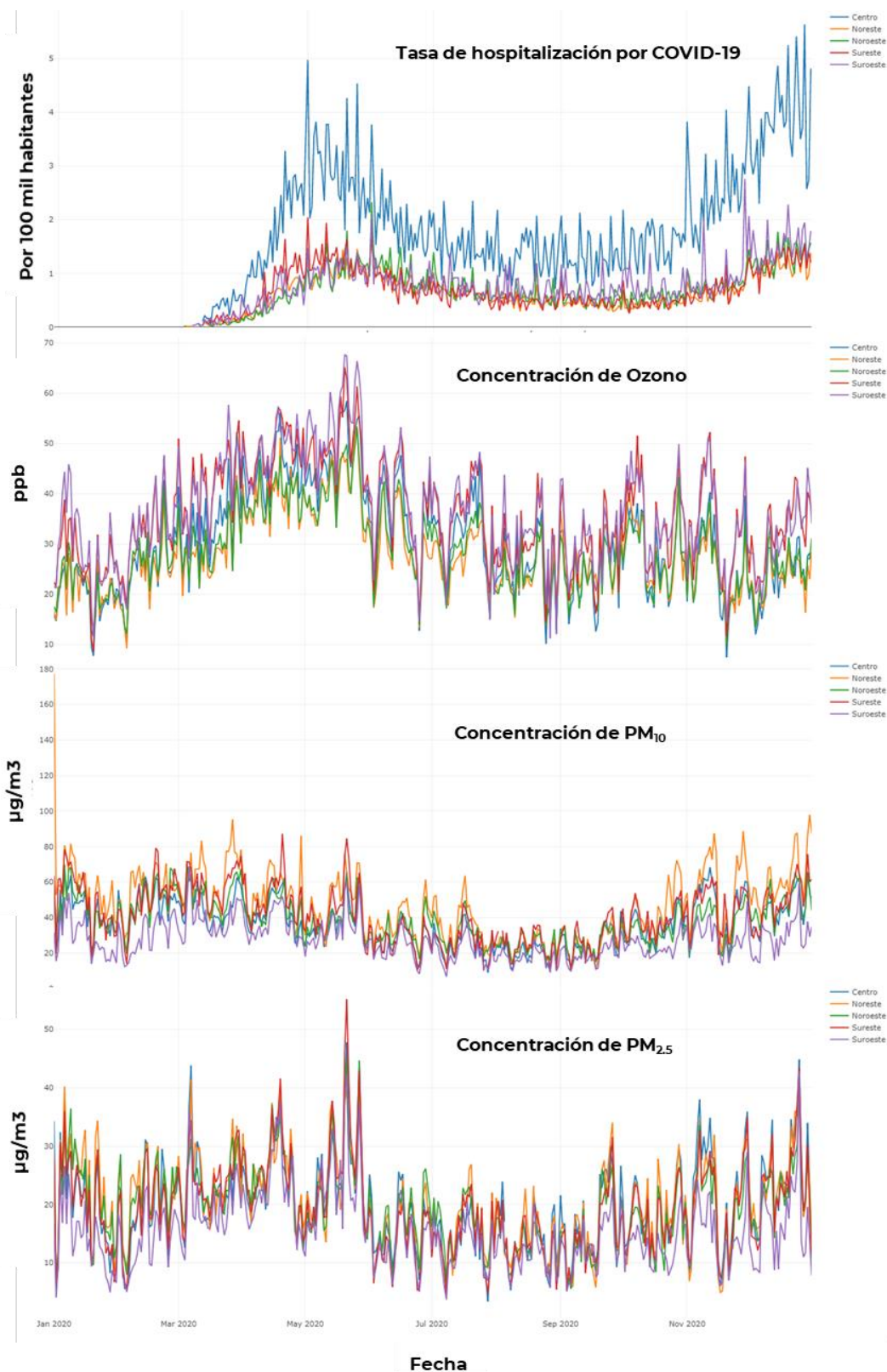
Debido a que se escogió un dato de un periodo (año), no se describirán la estacionalidad ni tendencia de los datos, aunque se analizará el patrón de aleatoriedad o ruido y estacionariedad de estos. Para evaluar la estacionariedad de las series de tiempo, fue aplicado la prueba de Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS).

GRÁFICA 6 SERIES DE TIEMPO



Concentración diaria por media horaria de  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$  y Ozono; incidencia de hospitalización por 100 mil habitantes. Línea naranja: Inicio de Jornada de Sana Distancia: 23 marzo 2020. **Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA).**

GRÁFICA 7 SERIES DE TIEMPO, ZMVM, 2020.



Series de tiempo correspondientes al periodo de 01 enero-31 diciembre del 2020. **Fuente:** Elaboración propia. Origen de Datos abiertos, SISVER y Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)

## Descomposición de componentes de series de tiempo.

Fueron analizados los componentes de las series de tiempo de tasa de hospitalización por COVID-19, por cada una de las zonas de interés en nuestro análisis. El método de análisis de componentes se realizó con el modelo clásico de descomposición  $(p,d,q)$ , donde  $p$ : Conjunto de rezagos con autocorrelación;  $d$ : número de diferencias sobre la serie para obtener estacionariedad, y  $q$ : número de términos para suavizar la series (tendencia). En la **TABLA 6** se encuentran el resumen de los componentes ARIMA  $(p,d,q)$  de las cinco zonas, las cuales serán descritas por cada zona y componentes en el documento. En la **TABLA 7** están resumidos los coeficientes de regresión del modelo ARIMAX, por cada contaminante y estratificado por zona, que serán descritos en el documento.

TABLA 6 COMPONENTES ARIMA DE TASA DE HOSPITALIZACIÓN POR COVID-19 POR ZONA.

	$(p,d,q)^{\S}$	AIC	$p^*$
<b>ARIMA</b>			
Centro	<b>(7,1,4)</b>	520.31	0.2055
Sureste	<b>(8,1,4)</b>	-273.77	0.7148
Suroeste	<b>(10,1,2)</b>	25.69	0.4967
Noroeste	<b>(7,1,2)</b>	-196.12	0.6919
Noreste	<b>(7,1,4)</b>	-413.09	0.5465

\* $p$  Test de Ljung-Box, \*\* Coeficiente,  $\S$  componente de ARIMA ( $p$  = autocorrelación;  $d$  = diferencia,  $q$  = medias móviles).

TABLA 7 COEFICIENTES DE MODELO ARIMAX EN TASA DE HOSPITALIZACIÓN DE COVID-19, ZMVM, 2020.

	$(p,d,q)^{\S}$	Ozono	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	AIC	$p^*$
<b>ARIMAX</b>						
Centro**	<b>(7,1,4)</b>	0.0016	0.0031	-0.0037	524.18	0.2007
Sureste**	<b>(8,1,4)</b>	0.0007	-0.0015	0.0008	-269.85	0.7297
Suroeste**	<b>(10,1,2)</b>	0.0031	-0.0004	0.0006	28.88	0.4742
Noroeste**	<b>(7,1,2)</b>	0.0005	0.0001	0.0002	-189.17	0.5694
Noreste**	<b>(7,1,4)</b>	-0.0005	0.0010	-0.0003	-408.97	0.5489

\* $p$  Test de Ljung-Box, \*\* Coeficiente,  $\S$  componente de ARIMA ( $p$  = autocorrelación;  $d$  = diferencia,  $q$  = medias móviles).

**ARIMA:** Modelo de autorregresivo integrado de medias móviles (Autoregressive Integrated Moving Average).

**ARIMAX:** Modelos autorregresivo integrado de medias móviles con componentes exógeno.

## Zona Centro.

Se analizó la distribución de la tasa de hospitalizaciones en la zona centro, que se observa en la **GRÁFICA 8**

El componente autorregresivo fue analizado mediante las funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial, mostrándose que el componente de autocorrelación tiene significancia en los rezagos hasta 7 unidades temporales (día). Se realizó la selección óptima de los rezagos de los rezagos mediante AIC, escogiéndose el rezago 7, ver **ANEXO 5**

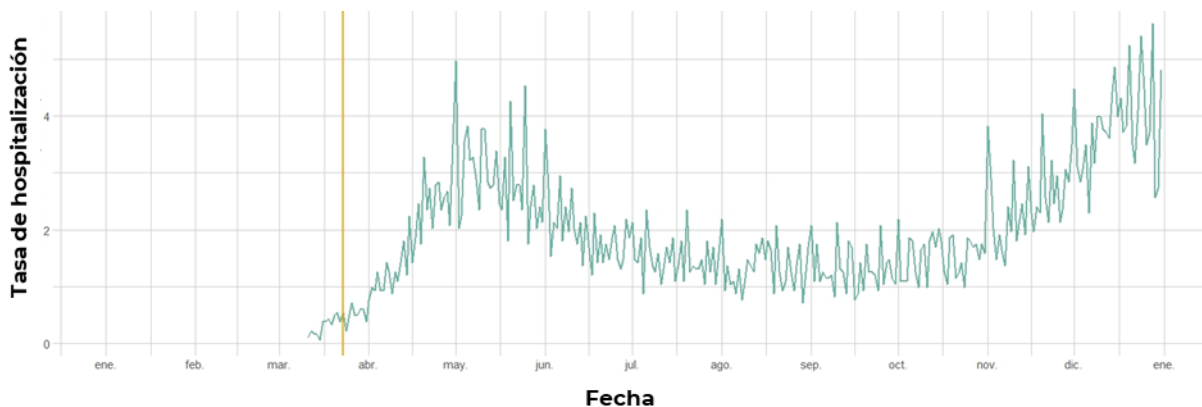
La estacionariedad fue analizada mediante la prueba de *KPSS*.<sup>1</sup> Se realizó la una diferencia ( $d = 1$ ), obteniéndose  $p = 0.1$ , aceptándose la hipótesis nula de que la serie temporal es estacionaria. La tendencia fue realizada mediante el suavizamiento “*smoothing*” de la serie de tiempo con medias móviles de orden 4 y centrada, significando el promedio de dos valores previos y dos anteriores.

### Selección de componente ARIMA y evaluación de residuos.

La selección de los componentes de ARIMA ( $p=7, d=1, q=4$ ) se basó en el AIC más bajo y que se ajustara mejor a los datos observados en la serie de tiempo, **GRÁFICA 9**. La evaluación de residuos se realizó con la prueba de *Box-Ljung* con  $p=0.9785$  para el rezago 7, aceptándose la hipótesis nula de que los residuos se distribuyen independientemente, confirmándose la aleatoriedad de los datos hasta el rezago 7.

#### TABLA 6 TABLA 6 COMPONENTES ARIMA DE TASA DE HOSPITALIZACIÓN POR COVID-19 POR ZONA.

GRÁFICA 8 SERIE DE TIEMPO. ZONA CENTRO, ZMVM, 2020

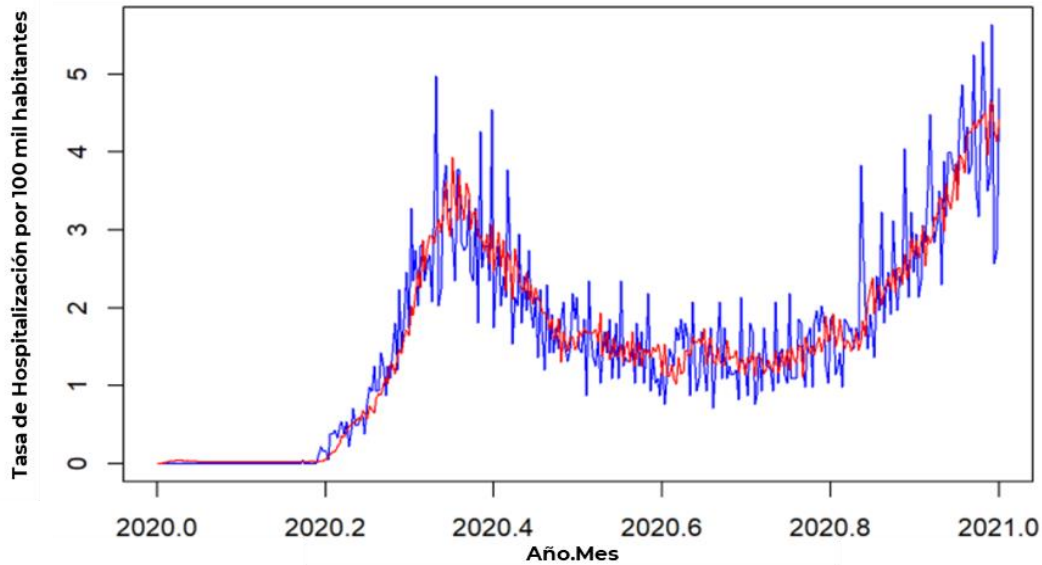


Tasa de hospitalizaciones por fecha de inicio de síntomas. Línea naranja: Jornada de Sana Distancia, 23 marzo 2020.

Fuente: Datos abiertos. SISVER.

<sup>1</sup> Prueba de Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin (KPSS). Evalúa la estacionariedad de la serie de tiempo, siendo su hipótesis nula es que la serie temporal es estacionaria.

GRÁFICA 9 MODELO ARIMA (7,1,4). ZONA CENTRO, ZMVM, 2020}



Modelos ARIMA. Línea azul: Serie de tiempo observada; línea roja: Series de tiempo estimada por modelo (7,1,4). Fuente: Elaboración propia. Origen de Datos abiertos, SISVER

## Zona Sureste

Se analizó la distribución de la tasa de hospitalizaciones en la zona sureste, que se observa en la **GRÁFICA 10**

El componente autorregresivo fue analizado mediante las funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial, mostrándose que el componente de autocorrelación tiene significancia en los rezagos hasta 8 unidades temporales (días).

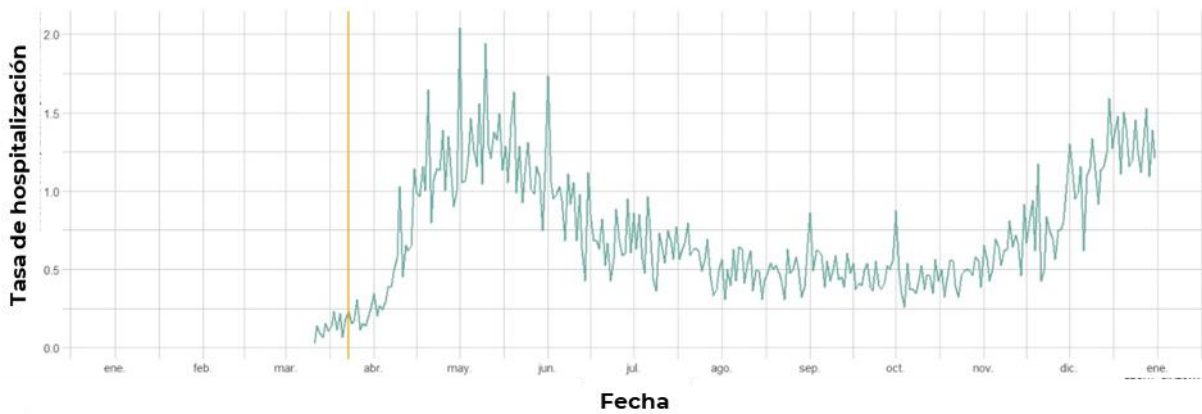
Se realizó la selección óptima de los rezagos mediante AIC, escogiéndose el rezago 8. La estacionariedad fue analizada mediante la prueba de *KPSS*. Se realizó la una diferencia ( $d = 1$ ), obteniéndose  $p = 0.1$ . La tendencia fue realizada mediante el suavizamiento "*smoothing*" de la serie de tiempo con medias móviles de orden 4 y centrada.

### **Selección de componente ARIMA y evaluación de residuos.**

La selección de los componentes de ARIMA ( $p=8$   $d=1$ ,  $q=4$ ) se basó en el AIC más bajo, **GRÁFICA 11**. La evaluación de residuos se realizó con la prueba de *Box-Ljung* con  $p=0.7148$  para el rezago 8. Ver **ANEXO 8**



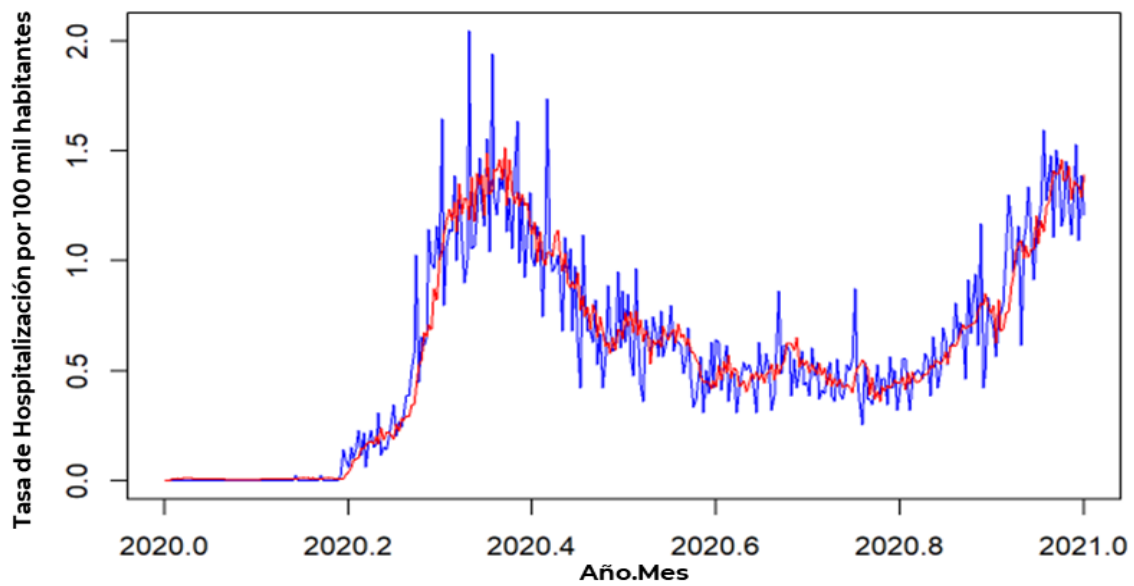
GRÁFICA 10 SERIE DE TIEMPO. ZONA SURESTE, ZMVM, 2020



Tasa de hospitalizaciones por fecha de inicio de síntoma. Línea naranja: Jornada de Sana Distancia, 23 marzo 2020.

Fuente: Datos abiertos. SISVER.

GRÁFICA 11 MODELO ARIMA (8,1,4). ZONA SURESTE, ZMVM, 2020.



Modelos ARIMA. Línea azul: Serie de tiempo observada; línea roja: Series de tiempo estimada por modelo (8,1,4). Fuente: Elaboración propia. Origen de Datos abiertos, SISVER

## Zona Suroeste

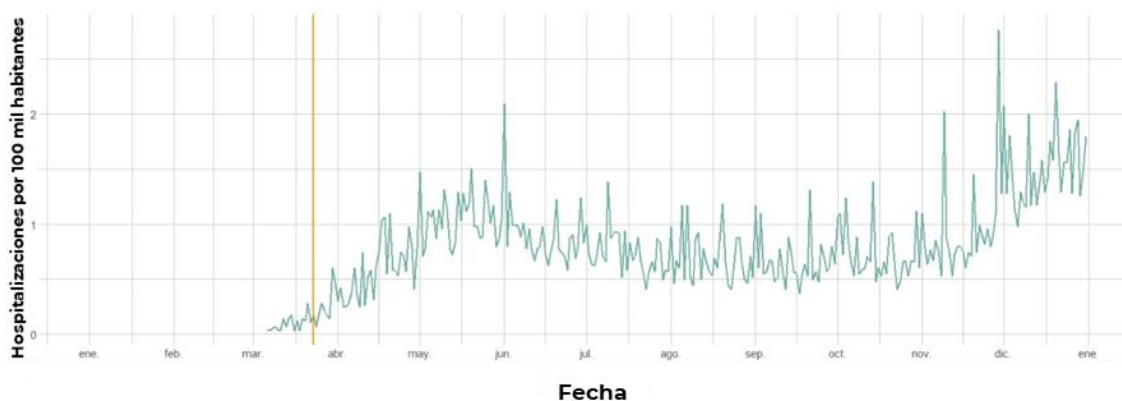
Se analizó la distribución de la tasa de hospitalizaciones en la zona suroeste, que se observa en la **GRÁFICA 12**

El componente autorregresivo fue analizado mediante las funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial, mostrándose que el componente de autocorrelación tiene significancia en los rezagos hasta 10 unidades temporales (días). Se realizó la selección óptima de los rezagos mediante AIC, escogiéndose el rezago 10. La estacionariedad fue analizada mediante la prueba de *KPSS*. Se realizó la una diferencia ( $d = 1$ ), obteniéndose  $p = 0.1$ . La tendencia fue realizada mediante el suavizamiento “*smoothing*” de la serie de tiempo con medias móviles de orden 4 y centrada.

### Selección de componente ARIMA y evaluación de residuos.

La selección de los componentes de ARIMA ( $p=10$   $d=1$ ,  $q=4$ ) se basó en el AIC más bajo, **GRÁFICA 13**. La evaluación de residuos se realizó con la prueba de *Box-Ljung* con  $p=0.4967$  para el rezago 10. Ver **ANEXO 6**

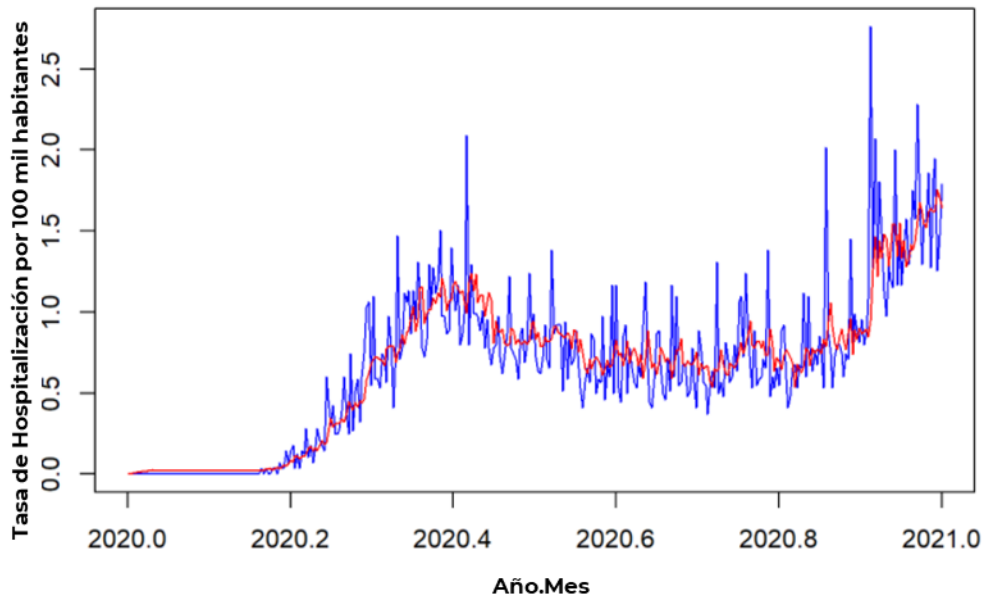
GRÁFICA 12 SERIE DE TIEMPO. ZONA SUROESTE, ZMVM, 2020



Tasa de hospitalizaciones por fecha de inicio de síntoma. Línea naranja: Jornada de Sana Distancia, 23 marzo 2020.

Fuente: Datos abiertos. SISVER.

GRÁFICA 13 MODELOS ARIMA (10,1,4). ZONA SUROESTE, ZMVM, 2020.



Modelos ARIMA. Línea azul: Serie de tiempo observada; línea roja: Series de tiempo estimada por modelo (10,1,2). Fuente: Elaboración propia. Origen de Datos abiertos, SISVER

## Zona Noreste

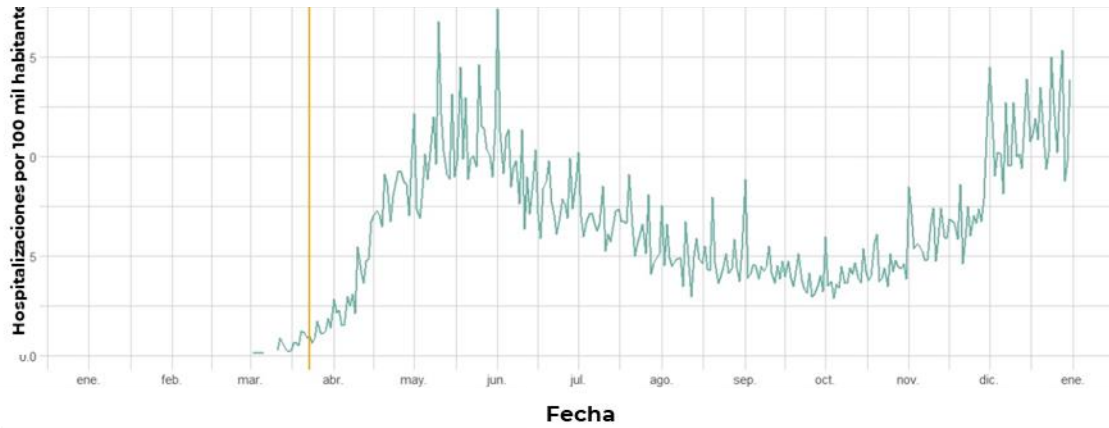
Se analizó la distribución de la tasa de hospitalizaciones en la zona noreste, que se observa en la **GRÁFICA 14**

El componente autorregresivo fue analizado mediante las funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial, mostrándose que el componente de autocorrelación tiene significancia en los rezagos hasta 7 unidades temporales (días). Se realizó la selección óptima de los rezagos de los rezagos mediante AIC, escogiéndose el rezago 7. La estacionariedad fue analizada mediante la prueba de KPSS. Se realizó la una diferencia ( $d = 1$ ), obteniéndose  $p = 0.7$ . La tendencia fue realizada mediante el suavizamiento “*smoothing*” de la serie de tiempo con medias móviles de orden 4 y centrada.

### Selección de componente ARIMA y evaluación de residuos.

La selección de los componentes de ARIMA ( $p=7$   $d=1$ ,  $q=4$ ) se basó en el AIC más bajo, **GRÁFICA 15**. La evaluación de residuos se realizó con la prueba de *Box-Ljung* con  $p=0.5465$  para el rezago 7. Ver **ANEXO 7**

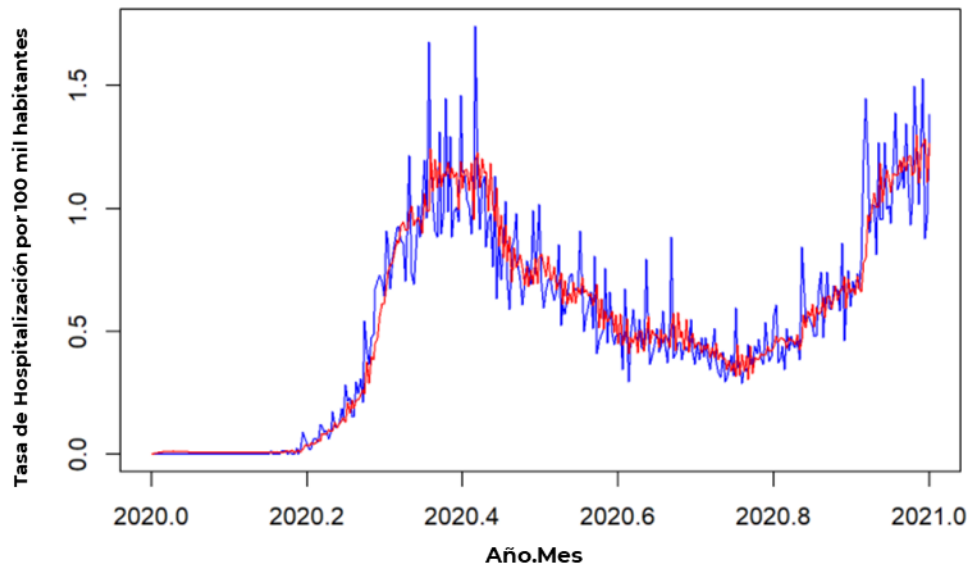
GRÁFICA 14 SERIE DE TIEMPO. ZONA NORESTE, ZMVM, 2020



Tasa de hospitalizaciones por fecha de inicio de síntoma. Línea naranja: Jornada de Sana Distancia, 23 marzo 2020.

**Fuente: Datos abiertos. SISVER**

GRÁFICA 15 MODELOS ARIMA (7,1,4). ZONA NORESTE, ZMVM, 2020



Modelos ARIMA. Línea azul: Serie de tiempo observada; línea roja: Series de tiempo estimada por modelo (7,1,4). **Fuente: Elaboración propia. Origen de Datos abiertos, SISVER**

## Zona Noroeste

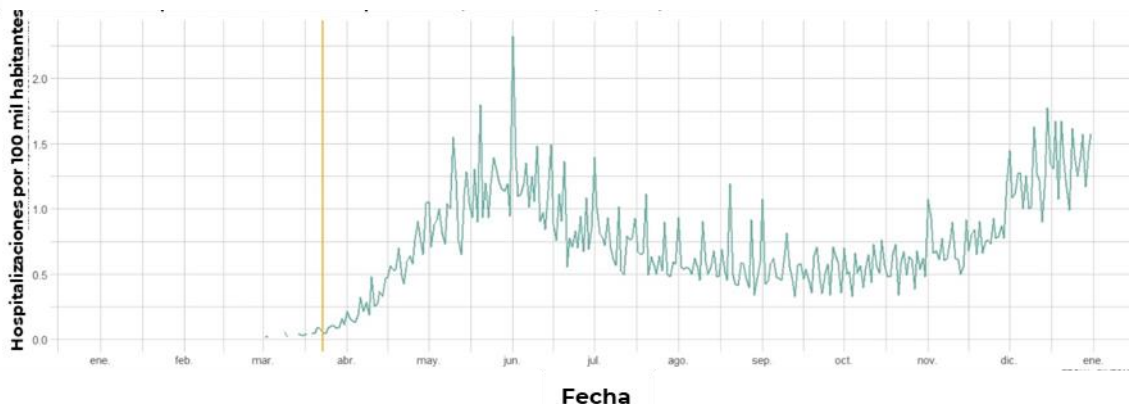
Se analizó la distribución de la tasa de hospitalizaciones en la zona noroeste, que se observa en la **GRÁFICA 16**

El componente autorregresivo fue analizado mediante las funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial, mostrándose que el componente de autocorrelación tiene significancia en los rezagos hasta 7 unidades temporales (días). Se realizó la selección óptima de los rezagos de los rezagos mediante AIC, escogiéndose el rezago 7. La estacionariedad fue analizada mediante la prueba de KPSS. Se realizó la una diferencia ( $d = 1$ ), obteniéndose  $p = 0.1$ . La tendencia fue realizada mediante el suavizamiento "smoothing" de la serie de tiempo con medias móviles de orden 2 y centrada.

### Selección de componente ARIMA y evaluación de residuos.

La selección de los componentes de ARIMA ( $p=7$   $d=1$ ,  $q=2$ ) se basó en el AIC más bajo, **GRÁFICA 17**. La evaluación de residuos se realizó con la prueba de *Box-Ljung* con  $p=0.5465$  para el rezago 7. Ver **ANEXO 9**

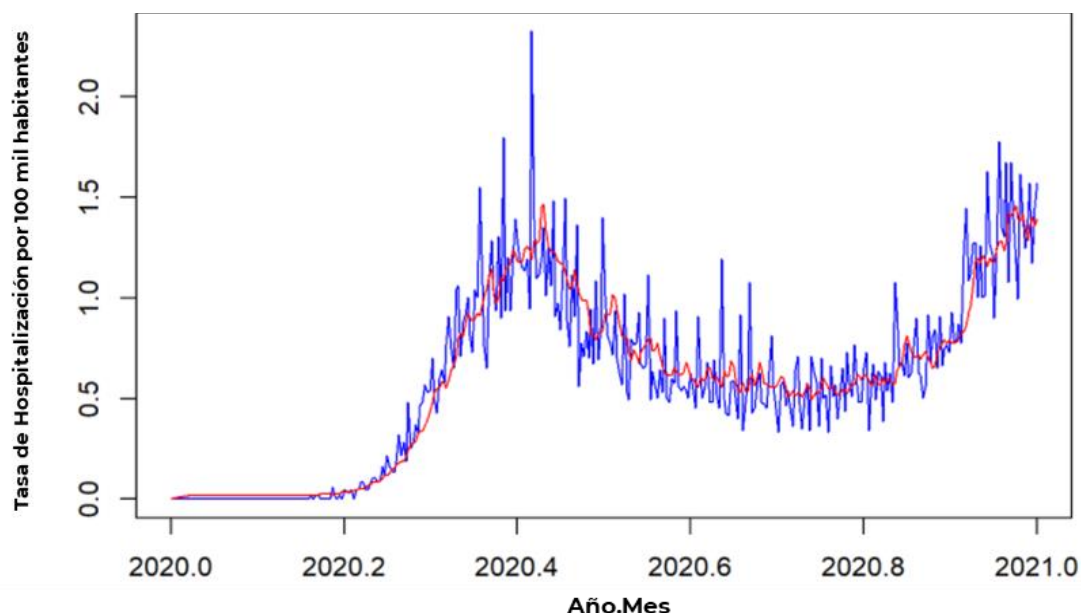
GRÁFICA 16 SERIE DE TIEMPO. ZONA NOROESTE, ZMVM, 2020



Tasa de hospitalizaciones por fecha de inicio de síntoma. Línea naranja: Jornada de Sana Distancia, 23 marzo 2020.

Fuente: Datos abiertos. SISVER.

GRÁFICA 17 MODELO ARIMA (7,1,2). ZONA NOROESTE. ZMVM, 2020



Modelo ARIMA. Línea azul: Serie de tiempo observada; línea roja: Series de tiempo estimada por modelo (7,1,2). Fuente: Elaboración propia. Origen de Datos abiertos, SISVER

## Modelo ARIMAX.

Se compuso el modelo ARIMAX (7,1,4) para la zona centro, basado en la selección de los componentes ARIMA por AIC más bajo, **GRÁFICA 18**. En el modelo ARIMAX se incluyeron las series temporales exógenas (concentración de  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  y Ozono) y la serie de tiempo tasa de hospitalización. El componente aleatoriedad del modelo ARIMAX (7,1,4), fue evaluado por la prueba de *Box-Ljung* calculando una  $p= 0.2007$ , para el rezago 7. En la **TABLA 7** se encuentra el resumen de los coeficientes, AIC y valor  $p$  de la prueba Ljung-Box.

Se compuso el modelo ARIMAX (8,1,4) para la zona sureste, basado en la selección de los componentes ARIMA por AIC más bajo, **GRÁFICA 19**. En el modelo ARIMAX se incluyeron las series temporales exógenas (concentración de  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  y Ozono) y la serie de tiempo tasa de hospitalización. El componente aleatoriedad del modelo ARIMAX (8,1,4), fue evaluado por la prueba de *Box-Ljung* calculando una  $p= 0.7297$ , para el rezago 8. En la **TABLA 7** se encuentra el resumen de los coeficientes, AIC y valor  $p$  de la prueba Ljung-Box.

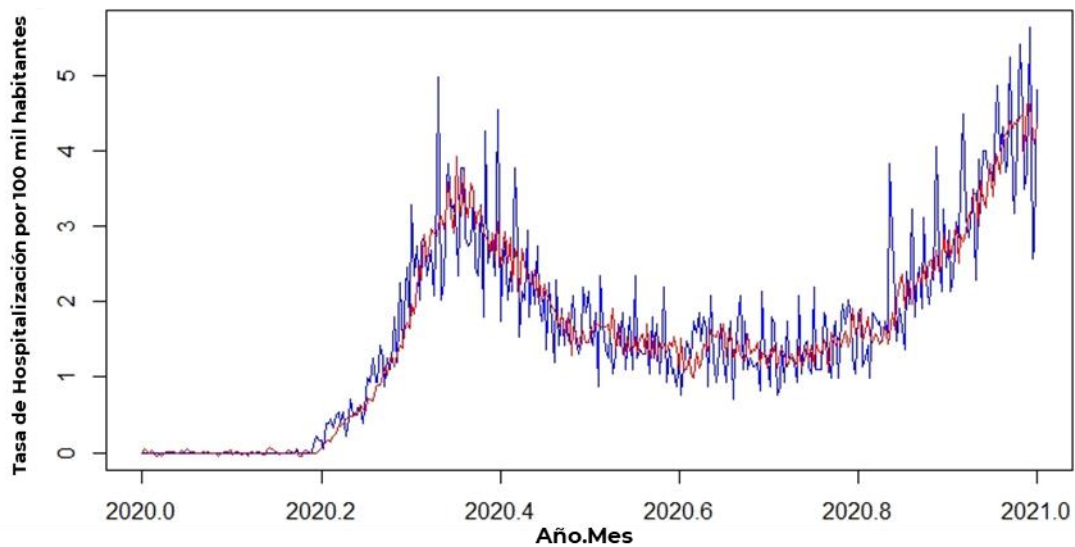
Se compuso el modelo ARIMAX (10,1,4) para la zona suroeste, basado en la selección de los componentes ARIMA por AIC más bajo, **GRÁFICA 20**. En el modelo ARIMAX se incluyeron las series temporales exógenas (concentración de  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  y Ozono) y la serie de tiempo tasa de hospitalización. El componente aleatoriedad del modelo ARIMAX (10,1,4), fue evaluado por la prueba de *Box-Ljung* calculando una  $p= 0.4742$ ,

para el rezago 10. En la **TABLA 7** se encuentra el resumen de los coeficientes, AIC y valor  $p$  de la prueba Ljung-Box.

Para la zona noreste el modelo ARIMAX (7,1,4) basado en la selección de los componentes ARIMA por AIC más bajo, **GRÁFICA 21**. En el modelo ARIMAX se incluyeron las series temporales exógenas (concentración de  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  y Ozono) y la serie de tiempo tasa de hospitalización. El componente aleatoriedad del modelo ARIMAX (7,1,4), fue evaluado por la prueba de *Box-Ljung* calculando una  $p = 0.5489$ , para el rezago 7. En la **TABLA 7** se encuentra el resumen de los coeficientes, AIC y valor  $p$  de la prueba Ljung-Box.

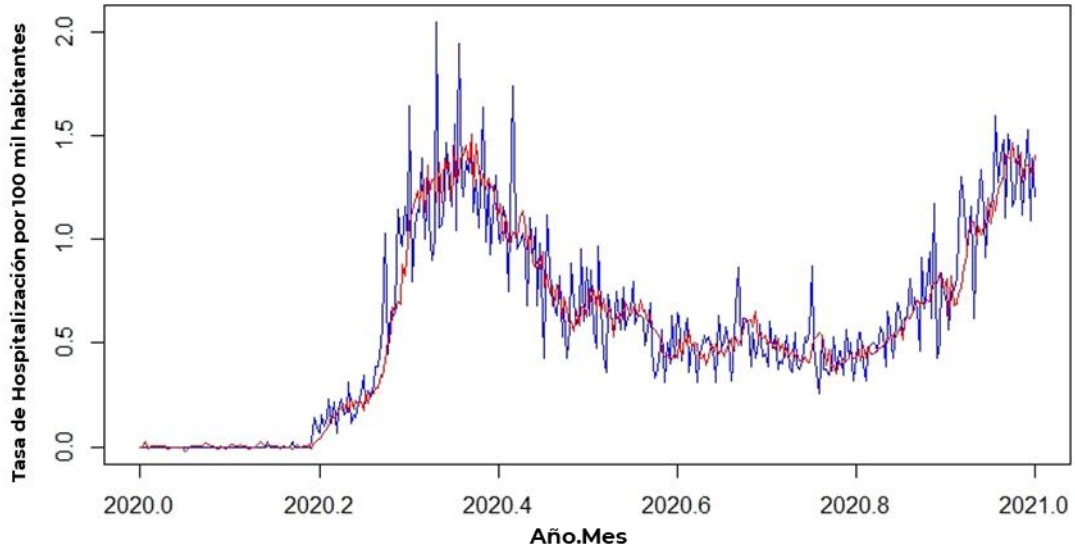
Finalmente, para la zona noroeste el modelo ARIMAX (7,1,2) se obtuvo por la selección de los componentes ARIMA por AIC más bajo, **GRÁFICA 22**. En el modelo ARIMAX se incluyeron las series temporales exógenas (concentración de  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  y Ozono) y la serie de tiempo tasa de hospitalización. El componente aleatoriedad del modelo ARIMAX (7,1,2), fue evaluado por la prueba de *Box-Ljung* calculando una  $p = 0.5694$ , para el rezago 7. En la **TABLA 7** se encuentra el resumen de los coeficientes, AIC y valor  $p$  de la prueba Ljung-Box.

GRÁFICA 18 MODELO ARIMAX (7,1,4). ZONA CENTRO, ZMVM, 2020



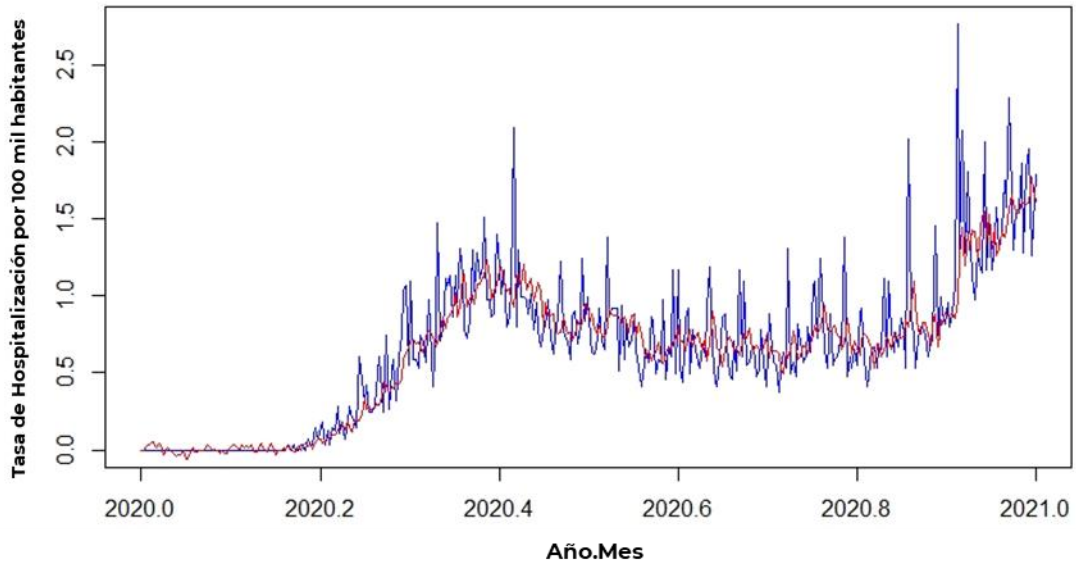
Modelo ARIMAX. Línea azul: Serie de tiempo observada; línea roja: Series de tiempo estimada por modelo (7,1,4). Fuente: Elaboración propia. Origen de Datos abiertos, SISVER

GRÁFICA 19 MODELO ARIMAX (8,1,4). ZONA SURESTE, ZMVM, 2020



Modelo ARIMAX. Línea azul: Serie de tiempo observada; línea roja: Series de tiempo estimada por modelo (7,1,4). Fuente: Elaboración propia. Origen de Datos abiertos, SISVER

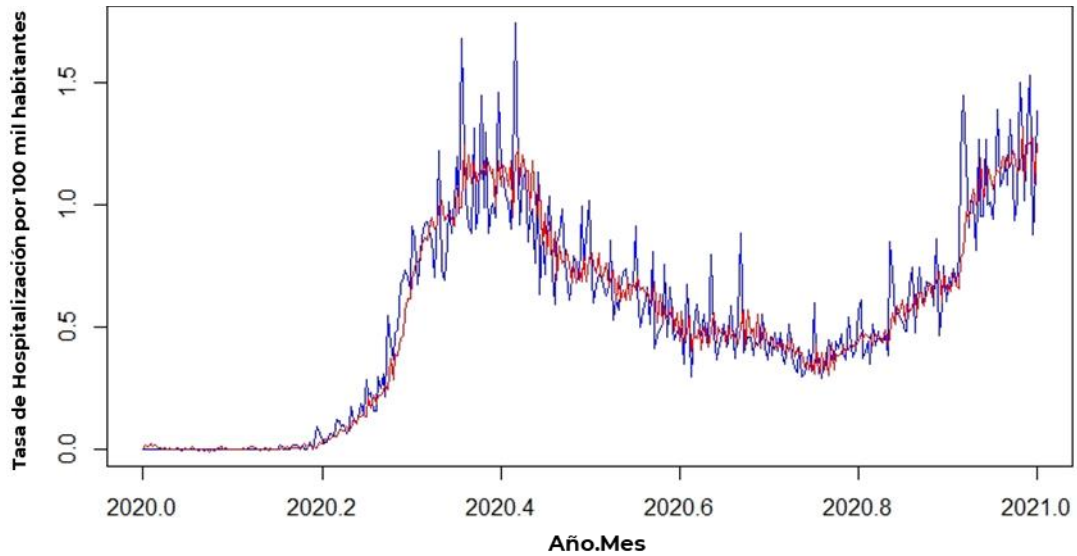
GRÁFICA 20 MODELO ARIMAX (10,1,2). ZONA SUROESTE, ZMVM, 2020



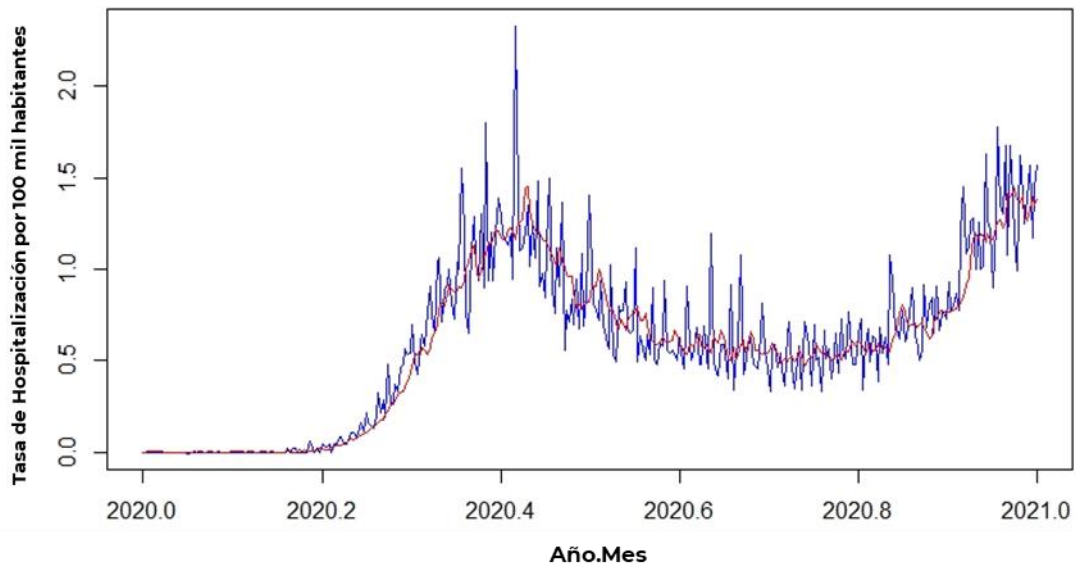
Modelo ARIMAX. Línea azul: Serie de tiempo observada; línea roja: Series de tiempo estimada por modelo (10,1,2). Fuente: Elaboración propia. Origen de Datos abiertos, SISVER



GRÁFICA 21 MODELO ARIMAX (7,1,4). ZONA NORESTE, ZMVM, 2020



GRÁFICA 22 MODELO ARIMAX (7,1,2). ZONA NOROESTE, ZMVM, 2020



## Discusión

Los contaminantes atmosféricos analizados tuvieron un efecto sobre la tasa de hospitalización por COVID-19 en sus rezagos óptimos (7 a 10 días). La relación que tuvo  $PM_{2.5}$  respecto a hospitalizaciones es comparable con lo encontrado con Yao et al, donde el aumento de partículas suspendidas estaba correlacionado espacialmente con el aumento de severidad, medido debido a letalidad. Por su parte, Zhu encontró que  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  y Ozono, con rezago de 7 días tuvo asociación positiva significativa.(41,42)

El uso del modelo autorregresivo y de medias móviles de nuestros modelos ARIMA, permitió evaluar la asociación explicada en rezagos de 7 a 10 y de la exposición acumulada a estos contaminantes, en las cinco zonas seleccionada. Singh reportó el cambio de 1.58%, 1.33% y de 27.09% del aumento de nuevas defunciones por COVID-19 al incremento de  $10 \mu g / m^3$  de  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  y Ozono para una exposición acumulada de siete días; incrementándose el porcentaje de cambio en las defunciones respecto al número de exposición de 14 y 21 días. (47)

Sin embargo, el análisis anterior solo incluyó medias móviles y suavizado, no fue analizado el componente de autocorrelación inherente a las series de tiempo. Nuestros resultados indican que los rezagos de 7 a 10 días podrían ser explicados por el componente de notificación del sistema de vigilancia epidemiológico, la cual tiene un patrón estacional semanal; rezagándose la notificación de hospitalización por COVID-19 los días sábado y domingo.

Los valores de contaminantes, regional y por zonas, no sobrepasó el límite establecido por la NOM, basado en su percentil 75, aunque se obtuvieron valores máximos que sobrepasaron los niveles aceptables por la norma, para  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ . En este análisis no se obtuvo el valor promedio horario de ozono, pero basado en lo evidenciado por Peralta et al. (30), las concentraciones de ozono no tuvieron diferencia respecto a 2018 y 2019, con mayor concentración en la temporada de febrero – junio, donde se reportar mayor radiación solar y producción de ozono troposférico, dado la reducción de actividades humanas por el confinamiento.

El 50% de los hospitalizados en nuestro análisis, estuvo en el rango de 47 a 68 años, siendo lo esperado en la población que ha requerido hospitalización. En el análisis realizado por Cascietta et al. (2020), se encontró que la tasa de hospitalización aumentaba  $0.04 \pm 0.009$  al aumentar  $1 \mu g / m^3$  de  $PM_{2.5}$ , y de  $2.7 \pm 1.03$  en municipalidades con prevalencia mayor del 10% de personas mayores de 65 años, aunque ese estudio solo analizó el periodo del 21 de febrero al 27 de julio del 2020. (12)

La zona centro tuvo el mayor coeficiente de autorregresión para  $PM_{2.5}$ , encontrándose el aumento de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $PM_{2.5}$  aumentaría, 7 días después, 0.0031 la tasa de hospitalización o 310 hospitalizaciones. Nuestro hallazgo concuerda con lo reportado por Li et al., en la ciudad de Wuhan, donde se observó del aumento en la incidencia de COVID-19, 4 días posteriores al aumento en la concentración de  $PM_{2.5}$ . (48)

La zona noreste tuvo un impacto coeficiente positivo de 0.001 para  $PM_{2.5}$  pero coeficientes inversos para ozono y  $PM_{10}$ . En esta zona, el ozono tuvo la mediana de concentración más baja respecto a las otras zonas, que podría ser explicado por el número de municipios incluidos en esta zona y efecto en la radiación solar sobre superficies rugosas y con vegetación.

Los coeficientes inversos para  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  estarían relacionados a la conceptualización de  $PM_{10}$ , siendo la suma de las fracciones gruesas (mayor a  $2.5 \mu\text{m}$ ) y fracciones finas y ultrafinas (menor que  $2.5 \mu\text{m}$ ); variantes temporal y espacialmente. En la zona noreste, la proporción de las fracciones gruesas y finas se había reportado en 55 al 60%, y 40 a 45%, respectivamente, explicado en la discordancia de coeficientes. (49)

La zona noroeste incluye al corredor industrial de Cuautitlán, Tultitlán, Naucalpan, Tlalnepantla y Tepotzotlán (29,50). Los coeficientes resultantes de esta zona fueron positivos para los tres contaminantes. Nuestros resultados son concordantes con lo reportado en zonas altamente industrializadas (26,51). El efecto aditivo de las partículas suspendidas está relacionado con el diverso origen primario de los estos contaminantes (producción de partículas de fracción gruesa por vehículos y fábricas) y fracción fina (plomo, amonio, carbono negro y sulfatos).

Las zonas sureste y suroeste tuvieron un coeficiente positivo para ozono y  $PM_{10}$ , y negativo para  $PM_{2.5}$  con rezagos de 8 y 10 días respectivamente. La mediana de tasa de hospitalización de estas zonas fueron las más bajas, explicada por la densidad poblacional y el retraso en la notificación de hospitalización y confirmación por COVID-19 en el primer año de la pandemia. Ambas zonas tienen el mayor porcentaje de suelo de conservación donde las alcaldías Milpa Alta, Tlalpan, Xochimilco y Cuajimalpa cuentan con 32.2%, 29.4%, 11.0% y 7.5%, respectivamente. (52)

La zona suroeste tuvo los menores coeficientes para  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  con 0.0006 y -0.0004 lo que traduciría un aumento 60 hospitalizaciones en los 10 días posteriores al incremento de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $PM_{10}$ ; el coeficiente negativo de  $PM_{2.5}$  es explicado por la interacción con  $PM_{10}$  y la proporción de fracciones finas o gruesas distribuidas en el tiempo. Además, solo dos máquinas de monitoreo captaron partículas suspendidas, resultando en mayor error aleatorio en nuestro modelo, por la poca cantidad de datos disponibles.

## Conclusiones y Limitaciones

Fue evidenciada autocorrelación de 7 a 10 días, o rezagos óptimos seleccionados, de la concentración de contaminantes atmosféricos hacia la tasa de hospitalizaciones por la COVID-19 en la ZMVM. Las partículas suspendidas tuvieron su mayor efecto en la zona centro de la ZMVM, donde se reúnen las características de mayor densidad vehicular, producción de partículas suspendidas.

Nuestros hallazgos concuerdan con los estudios en la literatura, aunque nuestro análisis se basó en la aplicación de descomposición de series de tiempo y la integración de modelos óptimos pudieran explicar robustamente la asociación temporal de contaminantes atmosféricas y su implicación en la exacerbación clínica en las infecciones virales del tracto respiratorio.

El análisis de tendencias es útil para implementar sistemas de monitoreo constantes y alertamiento temprano. El índice AIRE-SALUD, desarrollado e implementado en la ZMVM el 18 de febrero del 2020, es una matriz de riesgo partiendo de la densidad de concentración de contaminantes atmosférico y la probabilidad de generar exacerbación o alteración en personas con algún gradiente de susceptibilidad respiratoria o cardiovascular, y a la población general. Finalmente, el índice AIRE-SALUD brinda, según el gradiente de riesgo, recomendaciones para la protección de estos grupos sensibles y población general. Por el momento, este índice aún no está vinculado con algún programa de prevención de riesgo y control de vigilancia epidemiológica ambiental por lo que este estudio brindaría la metodología y resultados para la vinculación entre programas de vigilancia epidemiológica en entornos con elevada concentración de contaminantes ambientales.

Los resultados obtenidos en este estudio con diseño ecológico deben interpretarse con precaución. Los estudios ecológicos sirven para analizar y comparar la distribución de enfermedades en conglomerados de personas expuestos a un contaminante. En contraparte, la falacia ecológica es la inferencia de asociaciones estadísticas poblacionales como una asociación causal en un individuo, y es inherente a este tipo de diseño metodológico.

En nuestro análisis no se incluyeron el control de variables atmosféricas, como humedad, precipitación y dirección de viento, debido a que no se tuvieron los datos por cada municipio, solamente en lo obtenido en las estaciones de monitoreo del SIMAT. Además, debe considerarse la colinealidad de otros contaminantes atmosféricos como óxidos de nitrógeno, sulfuros, monóxido de carbono y carbono negro que pudiesen tener un efecto de confusión respecto a la variable de exposición y de respuesta. Por otro lado, para la tasa de hospitalización, no fue incluido la proporción de personas con enfermedades crónicas-metabólicas o con antecedente

pulmonar debido al sesgo de información inherente en el estudio de caso epidemiológico de enfermedad respiratoria viral.

## Consideraciones éticas

De acuerdo con la OMS, el goce del grado máximo de salud que se pueda lograr es uno de los derechos fundamentales de todo ser humano, sin distinción de raza, religión, ideología política o condición económica o social. (53) En este contexto, el impacto de las actividades humanas en la contaminación del ambiente y su posterior efecto sobre la salud humana se incluye en el campo de la epidemiología, y sus hallazgos, utilizados en la formulación de políticas de salud que beneficien a las poblaciones expuestas a estos contaminantes. (25)

Este proyecto está basado en los principios fundamentales de la ética de la investigación: principio de no maleficencia, conforme lo dispuesto en el artículo 17, título primero, del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, categorizándose como investigación sin riesgo, debido al empleo de técnicas y métodos de investigación documental retrospectivos en la que no se utilizaron cuestionarios, entrevistas o revisión de expedientes clínicos. (54,55)

De igual manera, cumple con los principios establecidos en este mismo Reglamento, en su título quinto, acerca de investigación para la salud, capítulo único, artículo 100, mencionado la adaptación de los principios científicos éticos que justifiquen la investigación médica, especialmente en lo referente a su contribución a la solución de problemas de salud y al desarrollo de nuevos campos de la ciencia médica. (54) En lo referente a la protección de datos personales-les, el proyecto no contendrá datos individuales, como el nombre de personas, folio de identificación de plataforma de información, CURP, dirección y código postal.

En cuanto al tratamiento y almacenamiento de los datos, el investigador se compromete a su resguardo. Se utilizará un equipo de cómputo personal con contraseña. El almacenamiento de la base de datos será en una plataforma en línea compartida por contraseña con los asesores registrados. Por su parte, la base de datos será encriptada con contraseña; utilizadas únicamente por el investigador y los asesores registrados en este protocolo.

De acuerdo con la CONBIOETICA, en su sexta edición, considera en la evaluación de las investigaciones científicas, lo siguiente: (55)

*Pertinencia científica:* este proyecto de tesis abordará en la información de generación de hipótesis para la investigación de nuevas formas de intervenciones de salud pública respecto al control de las exacerbaciones y transmisión de las enfermedades respiratorias virales relacionado con la contaminación atmosférica,

como forma de materializar los objetivos de intervenciones en salud integrales y reforzar la evidencia del impacto de la calidad del aire con la severidad de los casos por COVID-19 u otras enfermedades respiratorias agudas en la Zonas Metropolitanas de nuestro país.

*Criterios de selección de los participantes:* Este protocolo plantea una metodología de diseño ecológico con análisis de series temporales, útil en la identificación de patrones de distribución de la tasa de hospitalización por COVID-19 respecto a las variables de exposición en un nivel territorial vasto. Además, la descripción del plan de análisis para reducir el efecto de las variables confusoras por medio de modelos específicos para series temporales, necesarias para la interpretación correcta de los resultados. (46)

## RECURSOS

### *Recursos humanos*

- **Investigador Principal:** Dr. Gustavo Adolfo Rodríguez Delgado. Residente de tercer año de la Dirección General de Epidemiología.
- **Director de tesis:** Dr. Alessio David Scorza Gaxiola. Personal Operativo de la Unidad de Inteligencia Epidemiológica y Sanitaria. Maestría en Salud Ambiental por el Instituto Nacional de Salud Pública.
- **Asesores metodológicos y estadísticos:**
  - Dr. José Roberto Mendoza Martínez. Analista del Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades. Maestría en Bioestadística por el Instituto Nacional de Salud Pública.
  - Dra. Araceli Zaldívar Sánchez. Coordinadora de Sistemas Especiales de la Dirección de Vigilancia Epidemiológica de Enfermedades no Transmisibles.

### *Recursos materiales*

- Equipo de cómputo
- Programa estadístico y de bases de datos de software libre: R.

### *Recursos financieros*

- Financiamiento: Beca otorgada por el programa de Residencia Médica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)



# Bibliografía

1. Secretaría de Salud. NOM-172-SEMARNAT-2019, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud. [Internet]. Vol. 5002338, Diario Oficial de la Federación. México: Diario Oficial de la Federación; 2019 [citado el 2 de abril de 2021]. p. 1-14. 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)
2. Consejo Nacional de Población. Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010 [Internet]. 2012 [citado el 2 de abril de 2021]. Disponible en: [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Delimitacion\\_zonas\\_metropolitanas\\_2010\\_Capitulos\\_I\\_a\\_IV](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Delimitacion_zonas_metropolitanas_2010_Capitulos_I_a_IV)
3. Lu R, Zhao X, Li J, Niu P, Yang B, Wu H, et al. Articles Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding. 2020 [citado el 2 de abril de 2021]; Disponible en: <https://doi.org/10.1016/S0140-6736>
4. Secretaría de Salud. Aviso Preventivo de viaje a China por neumonia de etiología desconocida. Ciudad de México; 2020 ene.
5. Secretaría de Salud. Comunicado Técnico Diario Nuevo Coronavirus en el Mundo (COVID-19) [Internet]. 2020 feb [citado el 30 de mayo de 2021]. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/571261/Comunicado\\_Tecnico\\_Diario\\_COVID-19\\_2020.02.11.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/571261/Comunicado_Tecnico_Diario_COVID-19_2020.02.11.pdf)
6. World Health Organization W. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 - 11 March 2020 [Internet]. WHO Director General's speeches. 2020 [citado el 26 de agosto de 2020]. p. 4. Disponible en: <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>
7. Organización Mundial de la Salud. WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard [Internet]. [citado el 2 de abril de 2021]. Disponible en: <https://covid19.who.int/>
8. Dirección General de Epidemiología. Informe Técnico Diario COVID-19, México. 2020 dic.
9. Rothan HA, Byrareddy SN. The epidemeology and pathogenesis of coronavirus (Covid-19) outbreak. *J Autoimmun.* 2020;109(January):1-4.
10. Comunian S, Dongo D, Milani C, Palestini P. Air pollution and covid-19: The role of particulate matter in the spread and increase of covid-19's morbidity and mortality. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(12):1-22.
11. Mudatsir M, Wulandari L, Fajar JK, Soegiarto G, Ilmawan M, Purnamasari Y, et al. Predictors of COVID-19 severity: A systematic review and meta-analysis. *F1000Research* [Internet]. 2020 [citado el 2 de abril de 2021];9. Disponible en: <https://doi.org/10.12688/f1000research.26186.1>
12. Cascetta E, Henke I, Di Francesco L. The effects of air pollution, sea exposure and altitude on covid-19 hospitalization rates in italy. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(2):1-11.
13. Woodby B, Arnold MM, Valacchi G. SARS - CoV - 2 infection, COVID - 19 pathogenesis, and exposure to air pollution: What is the connection? *Ann N Y*



Acad Sci. 2020;1486:15–38.

14. Diario Oficial de la Federación. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. México. 1988. Agenda Ecológica Fed [Internet]. 1988 [citado el 31 de marzo de 2021];1–127. Disponible en: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/148.pdf>
15. Organización Mundial de la salud (OMS). ¿La herencia del mundo sostenible? Atlas sobre salud infantil y medio ambiente. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2018. 164 p.
16. Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet* [Internet]. el 13 de mayo de 2017 [citado el 14 de abril de 2021];389(10082):1907–18. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/>
17. National Institute of Environmental Health Sciences. Air Pollution and Your Health [Internet]. National Institute of Environmental Health Sciences. 2020 [citado el 2 de abril de 2021]. p. 1. Disponible en: <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/air-pollution/index.cfm>
18. Nolte CG, Dolwick P, Fann N, Horowitz LW, Naik V, Pinder RW, et al. Chapter 13 : Air Quality. Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: The Fourth National Climate Assessment, Volume II [Internet]. Washington, DC; 2018 [citado el 5 de abril de 2021]. Disponible en: <https://nca2018.globalchange.gov/chapter/13/>
19. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. ¿Qué son, cómo son y cómo se originan las partículas? En: Sanchez-Mora AM, editor. Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM 25 [Internet]. Primera. Instituto Nacional de Ecología; [citado el 2 de abril de 2021]. p. 13–32. Disponible en: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/225459.pdf>
20. SIMAT. Dirección de Monitoreo Atmosférico [Internet]. Secretaría del Medio Ambiente. 2016 [citado el 31 de marzo de 2021]. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnml=%27&dc=Zw==>
21. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Fuentes de Contaminación Atmosférica [Internet]. 2018 [citado el 31 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/fuentes-de-contaminacion-atmosferica>
22. Ali N, Islam F. The Effects of Air Pollution on COVID-19 Infection and Mortality—A Review on Recent Evidence. *Front Public Heal*. 2020;8(2).
23. Johannes Andrée BP. Incidence of COVID-19 and Connections with Air Pollution Exposure: Evidence from the Netherlands. *medRxiv*. 2020;(April).
24. Wu X, Nethery RC, Sabath MB, Braun D, Dominici F. Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis. *Sci Adv*. 2020;6(45):1–7.
25. Felix-Arellano EE, Schilman A, Hurtado-Díaz M, Texcalac-Sangrador JL, Riojas-Rodríguez H. Revision rápida: contaminación del aire y morbimortalidad por Covid-19. *Salud Publica Mex*. 2020;62(5):582–9.

26. Frontera A, Cianfanelli L, Vlachos K, Landoni G, Cremona G. Severe air pollution links to higher mortality in COVID-19 patients: The “double-hit” hypothesis. *J Infect* [Internet]. 2020;81(2):255–9. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.05.031>
27. Gobierno de la Ciudad de México. Personas Hospitalizadas en Hospitales de la ZMVM [Internet]. Ciudad de México: Portal de Datos Abiertos de la Ciudad de México; 2021 [citado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/personas-hospitalizadas-en-hospitales-de-zmvm>
28. Secretaría de Salud de la Ciudad de México. Panorama epidemiológico COVID-19 | 28 de diciembre 2020. [Internet]. Ciudad de México; 2020 dic [citado el 5 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://covid19.cdmx.gob.mx/storage/app/media/presentaciones/Confe28.12.2020.pdf>
29. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (. Informe Nacional de Calidad del Aire 2018, México. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos.; 2019. 352 p.
30. Peralta O, Ortíz-Alvarez A, Torres-Jardón R, Suárez-Lastra M, Castro T, Ruíz-Suárez LG. Ozone over Mexico City during the COVID-19 pandemic. *Sci Total Environ* [Internet]. 2021;761:143183. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143183>
31. López-Feldman A, Heres D, Marquez-Padilla F. Air pollution exposure and COVID-19: A look at mortality in Mexico City using individual-level data. *Sci Total Environ* [Internet]. 2021;756:143929. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143929>
32. Dirección General de Epidemiología. Lineamiento Estandarizado para la Vigilancia Epidemiológica y por Laboratorio de la Enfermedad Respiratoria Viral. Secretaría de Salud 2021 p. 74.
33. Dirección General de Epidemiología. Lineamiento Estandarizado para la Vigilancia Epidemiológica y por Laboratorio de la Enfermedad Respiratoria Viral [Internet]. Secretaria de salud México; 2021 p. 87. Disponible en: [www.gob.mx/salud](http://www.gob.mx/salud)
34. Gobierno de la Ciudad de México. Aviso por el que se da a conocer el Programa para Prevenir y Responder a Contingencias Ambientales Atmosféricas en la Ciudad de México [Internet]. Gaceta Oficial de la Ciudad de México 2019 p. 486–515. Disponible en: [http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/ultima-hora/calidad-aire/pcaa/Gaceta\\_Oficial\\_CDMX.pdf](http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/ultima-hora/calidad-aire/pcaa/Gaceta_Oficial_CDMX.pdf)
35. Gobierno de la Ciudad de México. Aviso por el que se da a conocer la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-009-AIRE-2017, que establece los requisitos para elaborar el Índice de Calidad del Aire en la Ciudad de México [Internet]. Gaceta Oficial de la Ciudad de México 2018. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/monitoreo/normatividad/NADF-009-AIRE-2017.pdf>
36. Diario Oficial de la Federación (DOF). Norma Oficial Mexicana (NOM-025-SSA1-

- 2021), Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM10 y PM2.5. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. [Internet]. Ciudad de México; oct 27, 2021. Disponible en: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021)
37. Diario Oficial de la Federación (DOF). Norma Oficial Mexicana (NOM-020-SSA1-2021), Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O3). Valores normados para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. [Internet]. Ciudad de México; oct 28, 2021. Disponible en: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5633956&fecha=28/10/2021](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633956&fecha=28/10/2021)
  38. Palma W. Time series analysis. Primera. Nueva York: John Wiley & Sons; 2016. 616 p.
  39. Szklo M, Nieto FJ. Epidemiology: Beyond the Basics. 4a ed. Jones & Bartlett Learning; 2019. 577 p.
  40. Copat C, Cristaldi A, Fiore M, Grasso A, Zuccarello P, Signorelli SS, et al. The role of air pollution (PM and NO2) in COVID-19 spread and lethality: A systematic review. Environ Res [Internet]. 2020;191(July):110129. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110129>
  41. Zhu Y, Xie J, Huang F, Cao L. Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. Sci Total Environ [Internet]. 2020;727(December 2019):138704. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138704>
  42. Yao Y, Pan J, Liu Z, Meng X, Wang W, Kan H, et al. Temporal association between particulate matter pollution and case fatality rate of COVID-19 in Wuhan. Environ Res. 2020;189(July):13–5.
  43. Adhikari A, Yin J. Short-term effects of Ambient Ozone, PM2.5, and meteorological factors on COVID-19 confirmed cases and deaths in Queens, New York. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(11):1–13.
  44. Gobierno de la Ciudad de México. Resumen de casos COVID-19 en la Ciudad de México [Internet]. Ciudad de México; 2021 ene [citado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: [https://covid19.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Reportes CSP/CS\\_1\\_ENERO\\_compressed.pdf](https://covid19.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Reportes_CSP/CS_1_ENERO_compressed.pdf)
  45. Armstrong BG, Gasparrini A, Tobias A, Sera F. Sample size issues in time series regressions of counts on environmental exposures. BMC Med Res Methodol. el 28 de enero de 2020;20(1).
  46. Hyndman RJ, Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. Second Edition. OTexts; 2018.
  47. Singh A. Ambient air pollution and COVID-19 in Delhi, India: a time-series evidence. Int J Environ Health Res. el 20 de septiembre de 2021;1–14.
  48. Li H, Xu XL, Dai DW, Huang ZY, Ma Z, Guan YJ. Air pollution and temperature are associated with increased COVID-19 incidence: A time series study. Int J Infect Dis. 2020;97(2020):278–82.

49. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA); Informe anual. Calidad del aire 2018. Ciudad de México. 2018;49–84.
50. Rendon-Rojas L, Godinez-Enciso JA. Evolución y cambio industrial en las Zonas Metropolitanas del Valle de México y de Toluca, 1993-2008. *Rev Análisis Económico* [Internet]. 2016 [citado el 23 de febrero de 2022];XXXI(77):115–46. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/413/41345703006/html/>
51. Fattorini D, Regoli F. Role of the chronic air pollution levels in the Covid-19 outbreak risk in Italy. *Environ Pollut* [Internet]. 2020;264:114732. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114732>
52. Biodiversidad CDMX [Internet]. Secretaria de Medio Ambiente. [citado el 23 de febrero de 2022]. Disponible en: <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/biodiversidadcdmx/suelos.html>
53. Constitución de la Organización Mundial de la Salud. En: *Documentos Básicos* [Internet]. 48° edició. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2014 [citado el 12 de septiembre de 2021]. p. 1. Disponible en: <https://www.who.int/es/about/governance/constitution>
54. Diario Oficial de la Federación. Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud (actualización 02/04/2014) [Internet]. México; abr 2, 2014. Disponible en: [http://sitios.dif.gob.mx/normateca/wp-content/Archivos/Normateca/DispGrales/ReglamentoLeyGeneralSalud\\_MaterialInvestigacion\\_Ago2014.pdf](http://sitios.dif.gob.mx/normateca/wp-content/Archivos/Normateca/DispGrales/ReglamentoLeyGeneralSalud_MaterialInvestigacion_Ago2014.pdf)
55. Secretaría de Salud. Guía nacional para la integración y el funcionamiento de los Comités de Ética en Investigación. Sexta. Ciudad de México: Comisión Nacional de Bioética (CONBIOETICA); 2018. 27–28 p.

# ANEXO

ANEXO 1 POBLACIÓN 2010 DE LOS MUNICIPIOS Y ALCALDÍAS DE LA ZMVM POR SU DIVISIÓN POR ZO- DE ACTIVACIÓN

<i>Alcaldía*</i>	<i>Población</i>
<b>Azcapotzalco</b>	414 711
<b>Coyoacán</b>	620 416
<b>Cuajimalpa de Morelos</b>	186 391
<b>Gustavo A. Madero</b>	1 185 772
<b>Iztacalco</b>	384 326
<b>Iztapalapa</b>	1 815 786
<b>La Magdale- Contreras</b>	239 086
<b>Milpa Alta</b>	130 582
<b>Álvaro Obregón</b>	727 034
<b>Tláhuac</b>	360 265
<b>Tlalpan</b>	650 567
<b>Xochimilco</b>	415 007
<b>Benito Juárez</b>	385 439
<b>Cuauhtémoc</b>	531 831
<b>Miguel Hidalgo</b>	372 889
<b>Venustiano Carranza</b>	430 978

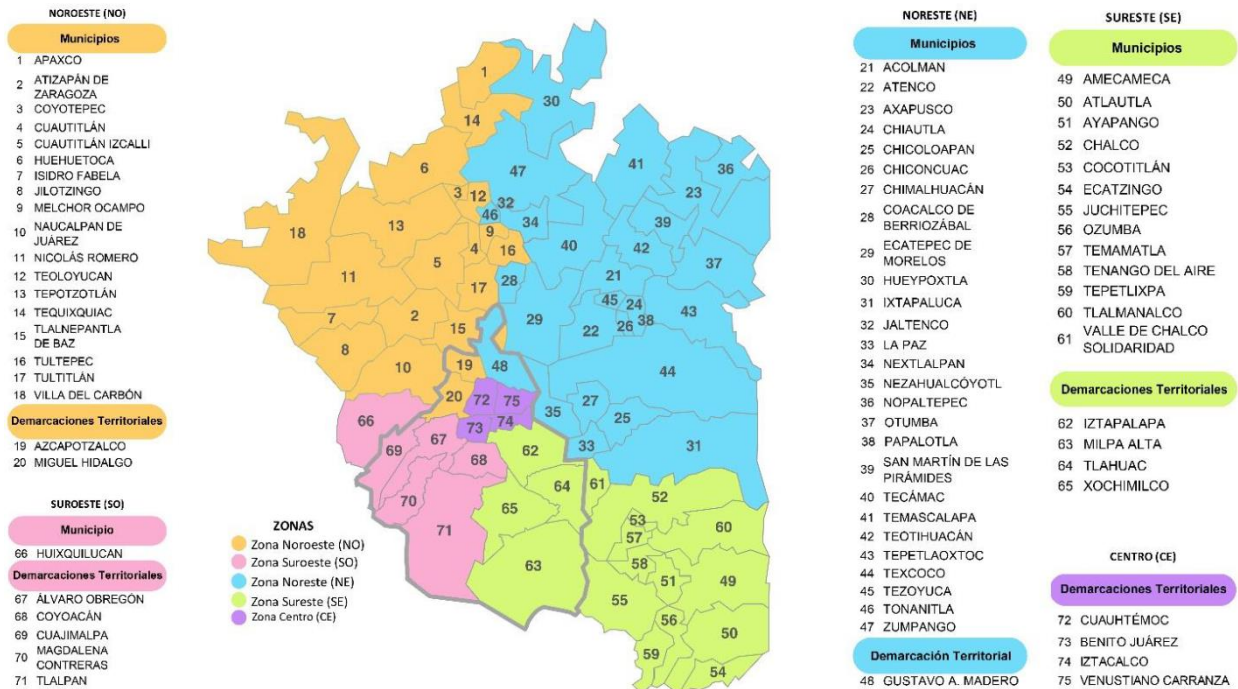
\*Refiere a las alcaldías de la Ciudad de México

<i>Municipio<sup>§</sup></i>	<i>Población</i>	<i>Municipio</i>	<i>Población</i>
<b>Acolman</b>	136 558	<b>Nextlalpan</b>	34 374
<b>Amecameca</b>	48 421	<b>Nicolás Romero</b>	366 602
<b>Apaxco</b>	27 521	<b>Nopaltepec</b>	8 895
<b>Atenco</b>	56 243	<b>Otumba</b>	34 232
<b>Atizapán de Zaragoza</b>	489 937	<b>Ozumba</b>	27 207
<b>Atlautla</b>	27 663	<b>Papalotla</b>	4 147
<b>Axapusco</b>	25 559	<b>La Paz</b>	253 845
<b>Ayapango</b>	8 864	<b>San Martín de las Pirámides</b>	24 851
<b>Coacalco de Berriozábal</b>	278 064	<b>Tecámac</b>	364 579
<b>Cocotitlán</b>	12 142	<b>Temamatla</b>	11 206
<b>Coyotepec</b>	39 030	<b>Temascalapa</b>	35 987
<b>Cuautitlán</b>	140 059	<b>Te-ngo del Aire</b>	10 578
<b>Chalco</b>	310 130	<b>Teoloyucan</b>	63 115
<b>Chiautla</b>	26 191	<b>Teotihuacán</b>	53 010
<b>Chicoloapan</b>	175 053	<b>Tepetlaoxtoc</b>	27 944
<b>Chiconcuac</b>	22 819	<b>Tepetlixpa</b>	18 327

<b>Chimalhuacán</b>	614 453	<b>Tepotzotlán</b>	88 559
<b>Ecatepec de Morelos</b>	1 656 107	<b>Tequixquiac</b>	33 907
<b>Ecatzingo</b>	9 369	<b>Texcoco</b>	235 151
<b>Huehuetoca</b>	100 023	<b>Tezoyuca</b>	35 199
<b>Hueypoxtla</b>	39 864	<b>Tlalma-lco</b>	46 130
<b>Huixquilucan</b>	242 167	<b>Tlalnepantla de Baz</b>	664 225
<b>Isidro Fabela</b>	10 308	<b>Tultepec</b>	91 808
<b>Ixtapaluca</b>	467 361	<b>Tultitlán</b>	524 074
<b>Jaltenco</b>	26 328	<b>Villa del Carbón</b>	44 881
<b>Jilotzingo</b>	17 970	<b>Zumpango</b>	159 647
<b>Juchitepec</b>	23 497	<b>Cuautitlán Izcalli</b>	511 675
<b>Melchor Ocampo</b>	50 240	<b>Valle de Chalco</b>	357 645
<b>-ucalpan de Juárez</b>	833 779	<b>Solidaridad</b>	10 216
<b>Nezahualcóyotl</b>	1 110 565	<b>To-nitla</b>	

&Refiere a los municipios del EDOMEX dentro de la ZMVM

ANEXO 2 DISTRIBUCIÓN DE LA ZMVM POR ZONAS DE ACTIVACIÓN DE CONTINGENCIA



## ANEXO 3 DISTRIBUCIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO.

<b>MONITORES</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>ESTADO</b>
<b>ACO</b>	Acolman	Estado de México
<b>AJM</b>	Ajusco Medio	CDMX
<b>AJU</b>	Ajusco	CDMX
<b>ATI</b>	Atizapán	Estado de México
<b>BJU</b>	Benito Juárez	CDMX
<b>CAM</b>	Camarones	CDMX
<b>CCA</b>	Centro de Ciencias de la Atmósfera	CDMX
<b>CHO</b>	Chalco	Estado de México
<b>CUA</b>	Cuajimalpa	CDMX
<b>CUT</b>	Cuautitlán	CDMX
<b>FAC</b>	FES Acatlán	Estado de México
<b>FAR</b>	FES Aragón	CDMX
<b>GAM</b>	Gustavo A. Madero	CDMX
<b>HGM</b>	Hospital General de México	CDMX
<b>INN</b>	Investigaciones Nucleares	Estado de México
<b>IZT</b>	Iztacalco	Estado de México
<b>LLA</b>	Los Laureles	CDMX
<b>LPR</b>	La Presa	CDMX
<b>MER</b>	Merced	CDMX
<b>MGH</b>	Miguel Hidalgo	CDMX
<b>MON</b>	Montecillo	CDMX
<b>MPA</b>	Milpa Alta	Estado de México
<b>NEZ</b>	Nezahualcóyotl	CDMX
<b>PED</b>	Pedregal	Estado de México
<b>SAC</b>	Santiago Acahualtepec	CDMX
<b>SAG</b>	San Agustín	CDMX
<b>SFE</b>	Santa Fe	Estado de México
<b>TAH</b>	Tláhuac	CDMX
<b>TLA</b>	Tlalnepantla	Estado de México
<b>TLI</b>	Tultitlán	CDMX
<b>UAX</b>	UAM Xochimilco	Estado de México
<b>UIZ</b>	UAM Iztapalapa	CDMX
<b>VIF</b>	Villa de las Flores	CDMX
<b>XAL</b>	Xalostoc	CDMX

## ANEXO 4 INCIDENCIA ACUMULADA POR MUNICIPIO Y ALCALDÍA, ZMVM

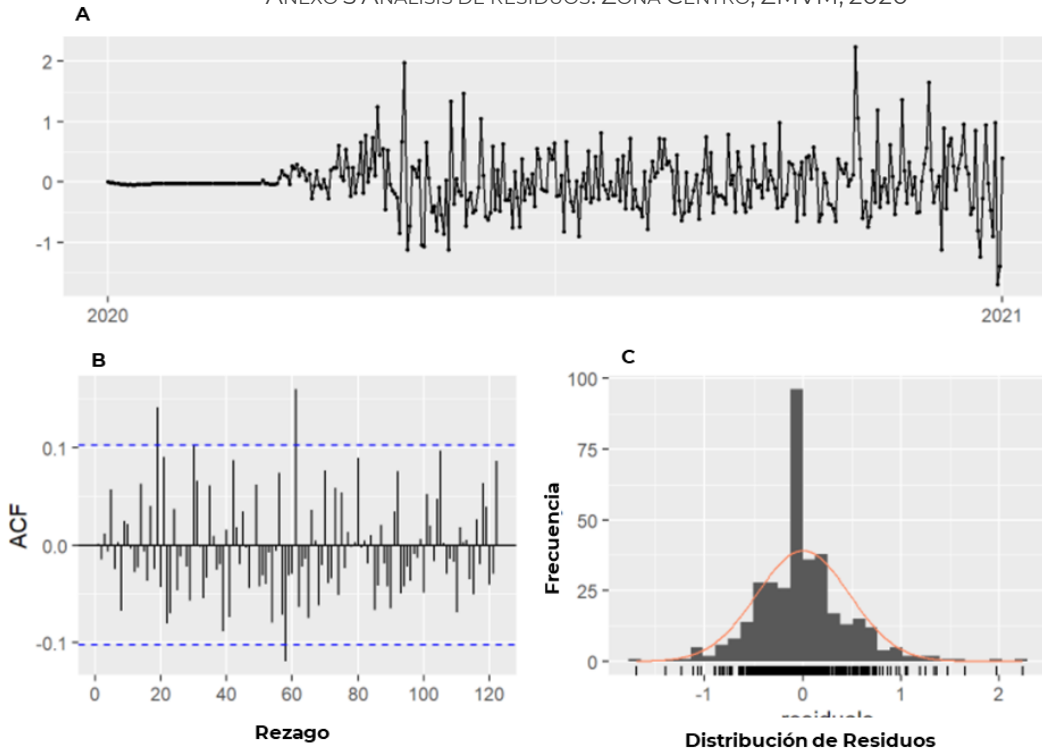
<b>Municipalidad</b>	<b>Estado</b>	<b>Tasa de hospitalización</b>
<b>Temamatla</b>	EDOMEX	8.56334041
<b>Azcapotzalco</b>	CDMX	7.510324962
<b>Iztacalco</b>	CDMX	7.217781292
<b>Chalco</b>	EDOMEX	6.04413871
<b>Venustiano Carranza</b>	CDMX	5.94315129
<b>Gustavo A. Madero</b>	CDMX	5.937694688
<b>Cuauhtémoc</b>	CDMX	5.880370189
<b>Cuautitlán</b>	EDOMEX	5.826208994
<b>Naucalpan de Juárez</b>	EDOMEX	5.610989006
<b>Coyoacán</b>	CDMX	5.491116402
<b>Miguel Hidalgo</b>	CDMX	5.230776655
<b>Álvaro Obregón</b>	CDMX	5.079452062
<b>Iztapalapa</b>	CDMX	4.913140171
<b>Nezahualcóyotl</b>	EDOMEX	4.763239783
<b>Tlalnepantla de Baz</b>	EDOMEX	4.726257881
<b>Ecatepec de Morelos</b>	EDOMEX	4.539454172
<b>Benito Juárez</b>	CDMX	4.30723731
<b>Xochimilco</b>	CDMX	4.281081374
<b>Tlalpan</b>	CDMX	4.240436159
<b>Coyotepec</b>	EDOMEX	4.13354531
<b>Tultitlán</b>	EDOMEX	4.04577595
<b>La Magdalena Contreras</b>	CDMX	3.820339065
<b>Coacalco de Berriozábal</b>	EDOMEX	3.782663813
<b>Tláhuac</b>	CDMX	3.639950754
<b>Cuajimalpa de Morelos</b>	CDMX	3.633674191
<b>Teoloyucan</b>	EDOMEX	3.528926504
<b>Melchor Ocampo</b>	EDOMEX	3.528258739
<b>Teotihuacán</b>	EDOMEX	3.469670296
<b>Atizapán de Zaragoza</b>	EDOMEX	3.271119055
<b>Jaltenco</b>	EDOMEX	3.260445831
<b>Apaxco</b>	EDOMEX	3.229042573
<b>Texcoco</b>	EDOMEX	3.224504795
<b>Tultepec</b>	EDOMEX	3.171683212
<b>Cuautitlán Izcalli</b>	EDOMEX	3.058561179
<b>Tecámac</b>	EDOMEX	2.975326163
<b>Ixtapaluca</b>	EDOMEX	2.913994736
<b>Milpa Alta</b>	CDMX	2.907947736
<b>Nicolás Romero</b>	EDOMEX	2.884340724
<b>La Paz</b>	EDOMEX	2.745915656



<b>Tenango del Aire</b>	EDOMEX	2.729113478
<b>Chimalhuacán</b>	EDOMEX	2.725495006
<b>Huixquilucan</b>	EDOMEX	2.684540207
<b>Amecameca</b>	EDOMEX	2.638423682
<b>Zumpango</b>	EDOMEX	2.610044392
<b>Tlalmanalco</b>	EDOMEX	2.581510692
<b>Tezoyuca</b>	EDOMEX	2.487033416
<b>Chicoloapan</b>	EDOMEX	2.460772105
<b>Cocotitlán</b>	EDOMEX	2.250612299
<b>Tequixquiac</b>	EDOMEX	2.228468687
<b>Otumba</b>	EDOMEX	2.201976274
<b>Huehuetoca</b>	EDOMEX	2.186910392
<b>Jilotzingo</b>	EDOMEX	2.163304322
<b>Temascalapa</b>	EDOMEX	2.064551648
<b>Chiconcuac</b>	EDOMEX	2.058356204
<b>Ozumba</b>	EDOMEX	2.013967841
<b>Tepetzotlán</b>	EDOMEX	1.976932572
<b>San Martín de las Pirámides</b>	EDOMEX	1.953258858
<b>Tonanitla</b>	EDOMEX	1.948531882
<b>Hueypoxtla</b>	EDOMEX	1.903458306
<b>Chiautla</b>	EDOMEX	1.86387086
<b>Tepetlixpa</b>	EDOMEX	1.853658537
<b>Nextlalpan</b>	EDOMEX	1.839459024
<b>Nopaltepec</b>	EDOMEX	1.835571442
<b>Acolman</b>	EDOMEX	1.755030407
<b>Atenco</b>	EDOMEX	1.722105207
<b>Juchitepec</b>	EDOMEX	1.696415401
<b>Axapusco</b>	EDOMEX	1.682230157
<b>Valle de Chalco Solidaridad</b>	EDOMEX	1.64909083
<b>Atlautla</b>	EDOMEX	1.379310345
<b>Acambay de Ruíz Castañeda</b>	EDOMEX	1.296558227
<b>Tepetlaoxtoc</b>	EDOMEX	1.166932809
<b>Ayapango</b>	EDOMEX	1.094200736
<b>Isidro Fabela</b>	EDOMEX	0.838293235
<b>Villa del Carbón</b>	EDOMEX	0.834983883
<b>Papalotla</b>	EDOMEX	0.822706705
<b>Ecatzingo</b>	EDOMEX	0.646531819

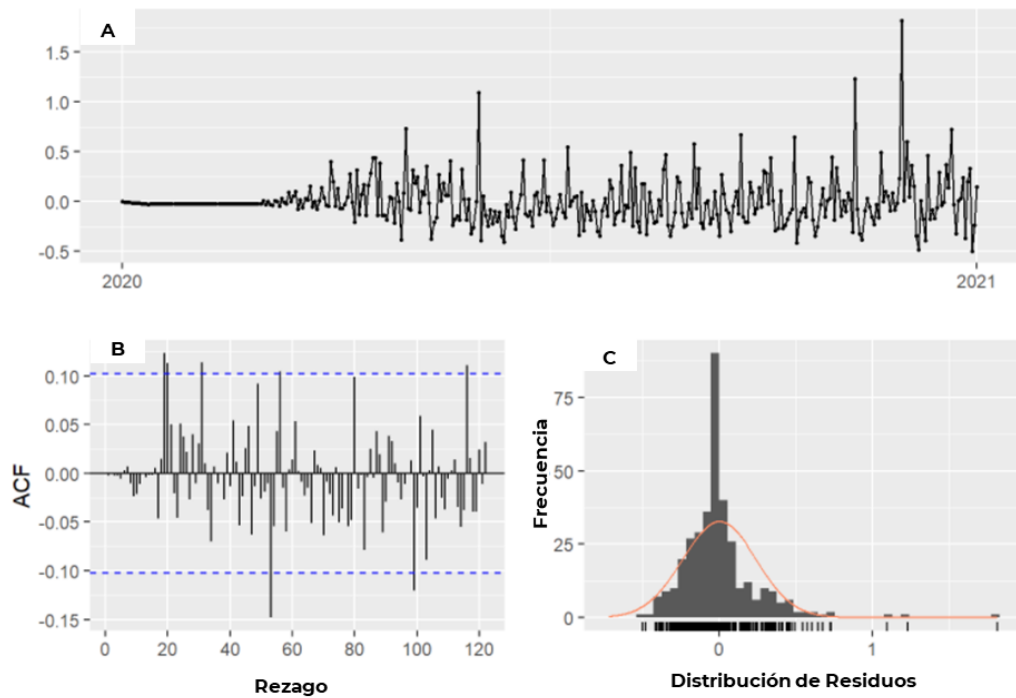
\*Por 100,000 habitantes. EDOMEX: Estado de México; CDMX: Ciudad de México

ANEXO 5 ANÁLISIS DE RESIDUOS. ZONA CENTRO, ZMVM, 2020



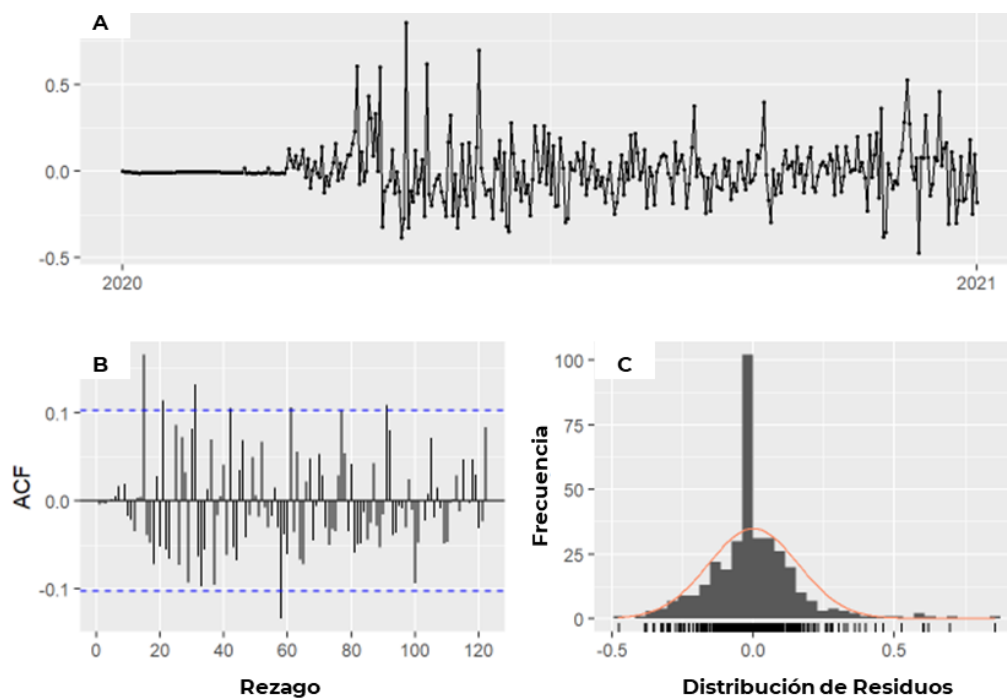
Gráfica A: Distribución temporal de residuos ( $d=1$ ), respecto a lo ajustado con  $ARIMA(7,1,4)$ . Gráfica B: Función de Autocorrelación de Residuos. Gráfica C: Distribución de residuos por desviación estándar. ACF: Función de autocorrelación. Rezago: cada línea representa una unidad (día). Línea azul punteada: área de aceptación de hipótesis, alfa de 5%. **Fuente: Elaboración propia. Origen de Datos abiertos, SISVER.**

ANEXO 6 ANÁLISIS DE RESIDUOS. ZONA SUROESTE, ZMVM, 2020.

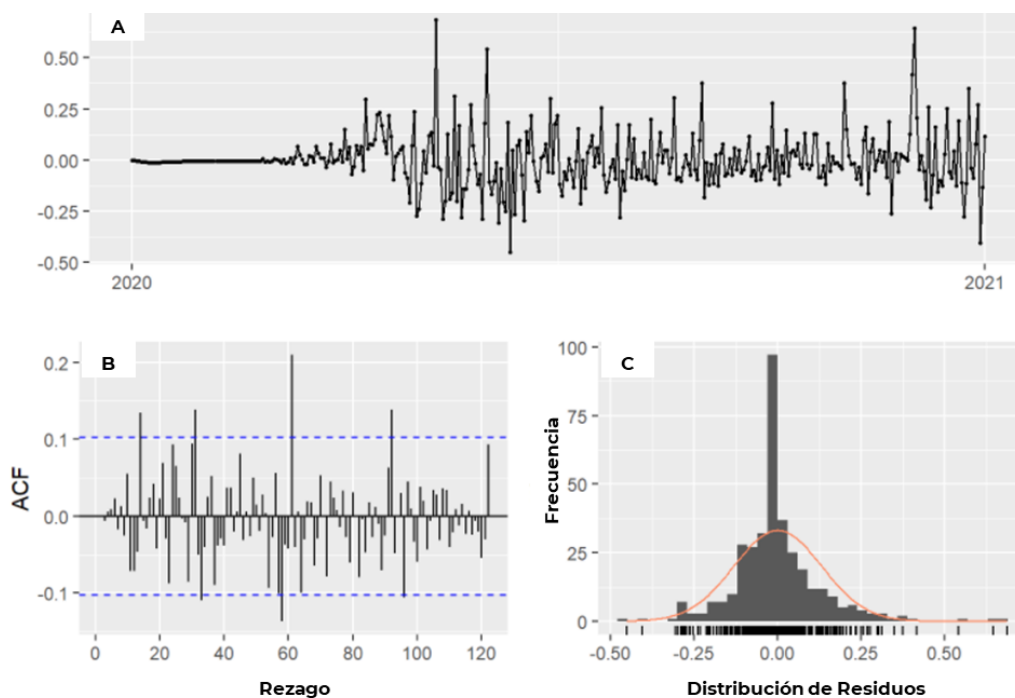


Gráfica A: Distribución temporal de residuos ( $d=1$ ), respecto a lo ajustado con  $ARIMA(10,1,2)$ . Gráfica B: Función de Autocorrelación de Residuos. Gráfica C: Distribución de residuos por desviación estándar. ACF: Función de autocorrelación. Rezago: cada línea representa una unidad (día). Línea azul punteada: área de aceptación de hipótesis, alfa de 5%. **Fuente: Elaboración propia. Origen de Datos abiertos, SISVER.**

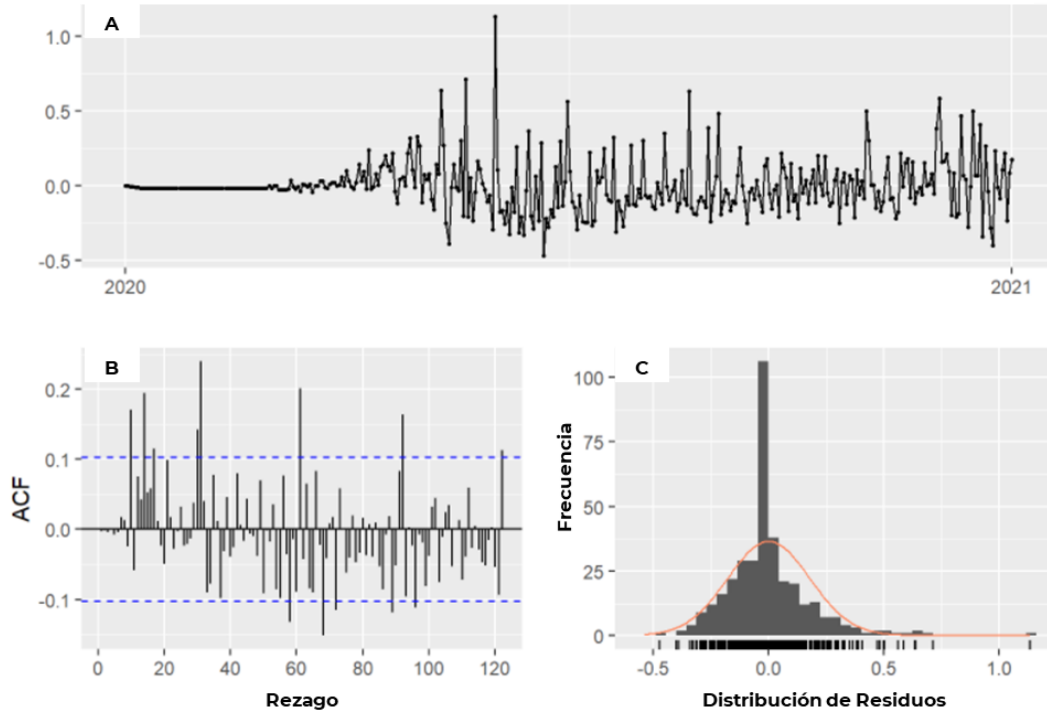
## ANEXO 8 ANÁLISIS DE RESIDUOS. ZONA SURESTE, ZMVM, 2020.



## ANEXO 7 ANÁLISIS DE RESIDUOS. ZONA NORESTE, ZMVM, 2020.



## ANEXO 9 ANÁLISIS DE RESIDUOS. ZONA NOROESTE, ZMVM, 2020.



Gráfica A: Distribución temporal de residuos ( $d=1$ ), respecto a lo ajustado con ARIMA (7,1,2). Gráfica B: Función de Autocorrelación de Residuos. Gráfica C: Distribución de residuos por desviación estándar. ACF: Función de autocorrelación. Rezago: cada línea representa una unidad (día). Línea azul punteada: área de aceptación de hipótesis, alfa de 5%. **Fuente: Elaboración propia. Origen de Datos abiertos, SISVER.**