

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Mecánico Automotriz*

PROYECTO TÉCNICO:

**“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA
CIUDAD DE CUENCA COMO CONSECUENCIA DE LOS CAMBIOS A LA
MOVILIDAD CAUSADA POR EL COVID-19”**

AUTORES:

WILLIAM FERNANDO ORTIZ VALVERDE
BRYAN MICHAEL SERRANO ORTIZ

TUTOR:

ING. NÉSTOR DIEGO RIVERA CAMPOVERDE, MSc.

CUENCA - ECUADOR

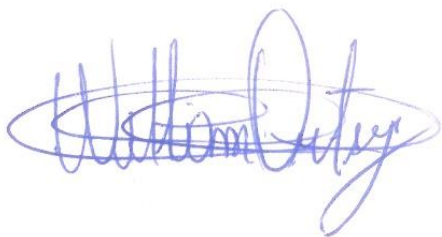
2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, William Fernando Ortiz Valverde con documento de identificación N° 0105481741 y Bryan Michael Serrano Ortiz con documento de identificación N° 0107039679, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE CUENCA COMO CONSECUENCIA DE LOS CAMBIOS A LA MOVILIDAD CAUSADA POR EL COVID-19”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, diciembre del 2020



William Fernando Ortiz Valverde
C.I. 0105481741



Bryan Michael Serrano Ortiz
C.I. 0107039679

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE CUENCA COMO CONSECUENCIA DE LOS CAMBIOS A LA MOVILIDAD CAUSADA POR EL COVID-19”**, realizado por William Fernando Ortiz Valverde y Bryan Michael Serrano Ortiz, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, diciembre del 2020



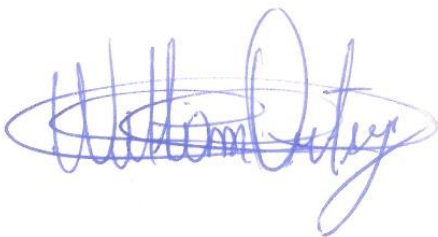
Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, MSc.

C.I. 0103898995

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, William Fernando Ortiz Valverde con documento de identificación N.º 0105481741 y Bryan Michael Serrano Ortiz con documento de identificación N.º 0107039679, autores del trabajo de titulación: **“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE CUENCA COMO CONSECUENCIA DE LOS CAMBIOS A LA MOVILIDAD CAUSADA POR EL COVID-19”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, diciembre del 2020



William Fernando Ortiz Valverde
C.I. 0105481741



Bryan Michael Serrano Ortiz
C.I. 0107039679

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación a mis padres Carlos y Magali quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional y han velado por mi bienestar a pesar de las dificultades que se me han presentado a lo largo de mi vida y carrera universitaria.

A la memoria de mi abuelita Concepción Villavicencio, fallecida a sus 80 años quién me brindó todo el amor y cariño del mundo y por haber sido la mejor abuelita de todas.

A mi hermano Antonio quien es la persona a la que más admiro y el ejemplo de valentía, inteligencia y fortaleza en mi vida, así como la inspiración para continuar aprendiendo a pesar de las adversidades.

A mi hermana Yolanda quien siempre me supo guiar por un buen camino y encuentra la respuesta correcta a cualquier interrogante que se presente en mi vida, y que está ahí en todo momento cuando la necesito.

A mi hermano Edison y Yamileth quién en todo momento están a mi lado para apoyarme y darme fortaleza, con quienes comparto mis penas y juntos a ellos buscamos soluciones.

WILLIAM ORTIZ

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de titulación primeramente a Dios que como ser supremo y creador nuestro y de todo lo que me rodea me ha dado inteligencia y sabiduría, a mis padres por haberme guiado por el camino correcto en la vida ya que gracias a sus consejos me he forjado en la persona que soy en la actualidad.

A mi esposa que con su amor, ternura, paciencia y fuerza de motivación me ayudo en estos años de estudio, creyendo en mi capacidad, aunque pasamos por muchos momentos difíciles supimos sobrellevarlo gracias a la ayuda de Dios.

A mis hermanos Carlos, Gilbert y Azucena ya que sin el apoyo de ellos se me hubiera hecho imposible llegar a estas alturas de la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, a sus respectivas parejas por ser comprensibles con ellos y que les permitieran ayudarme de una manera económica y emocional.

A todos mis amigos, pero en especial a Bryan y Cristian que con sus palabras me dieron ánimo de seguir adelante y poder cumplir mis metas.

Gracias a todas estas personas que me repetían una y otra vez que jamás me dé por vencido hasta no ver cumplida la meta.

BRYAN SERRANO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres Carlos y Magali por el amor, apoyo y esfuerzo puesto en mí para poder culminar con mi carrera universitaria y cumplir mis metas a pesar de los tropiezos e inconvenientes presentados a lo largo de mi vida.

A mis hermanos por haber confiado en mis capacidades y haberme apoyado para culminar con mi carrera universitaria.

A mi novia Erika por haberme dado fuerza y ánimo para continuar estudiando en los momentos que más lo necesitaba y haber confiado plenamente en mis capacidades sin dudarlo ni por un momento.

A mi compañero Bryan Serrano por haber puesto todo su esfuerzo y dedicación en la realización de este proyecto de titulación.

Al ingeniero Néstor Rivera, por haberme apoyado durante el desarrollo de este proyecto de titulación y haberme guiado mediante sus consejos, sabiduría y experiencia.

WILLIAM ORTIZ

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quien me ha guiado y me ha regalado fortaleza para poder seguir en adelante
en la vida.

A mis padres por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años de estudio, quienes me motivaron a superar las adversidades de la vida y a superarme siempre tratando de ser mejor persona aprendiendo de las lecciones de la vida.

A mi esposa por su amor, por haber sido mi mano derecha en estos años de la carrera que siempre estaba presente en los momentos difíciles cuando más la necesitaba me daba palabras de ánimo me levantaba para poder seguir adelante.

A mi compañero William Ortiz, por haber confiado en mis capacidades, por su compromiso y esfuerzo para juntos sacar adelante el presente proyecto de titulación.

Al ingeniero Néstor Rivera, por haberme guiado en la realización del presente proyecto de titulación, por sus consejos y observaciones a lo largo de la carrera.

BRYAN SERRANO

GLOSARIO

CO, Monóxido de Carbono (mg/m³)

O₃, Ozono Troposférico (µg/m³)

NO, Óxido Nítrico (µg/m³)

NO₂, Dióxido de Nitrógeno (µg/m³)

NO_x, Óxido de Nitrógeno (µg/m³)

SO₂, Dióxido de Azufre (µg/m³)

MP_{2.5}, Material particulado menor a 2.5 micras (µg/m³)

MP₁₀, Material particulado menor a 10 micras (µg/m³)

EMOV EP, Empresa Pública de Movilidad

GIIT, Grupo de investigación en Ingeniería del Transporte

MCIA, Motores de combustión interna alternativos

PMS, Punto Muerto Superior

PMI, Punto Muerto Inferior

MEP, Motores de encendido provocado

MEC: Motores de encendido por compresión

RTV, Revisión Técnica Vehicular

NCAA, Normas de la calidad del aire

ICA, Índice de la calidad del aire

RESUMEN

A finales del año 2019 en Wuhan China, se originó el brote del virus denominado Covid-19, que a posterior se convirtió en una pandemia. En Ecuador el paciente cero arribó el 14 de febrero de 2020 y la primera restricción de movilidad impuesta por el Gobierno se produjo el martes 17 de marzo del mismo año. A lo largo del confinamiento las restricciones de movilidad vehicular han sido modificadas por los entes gubernamentales dependiendo de los índices de contagios. En este artículo se presenta un estudio de la calidad del aire en el centro histórico de la ciudad de Cuenca como consecuencia de los cambios a la movilidad causada por el Covid-19, donde se realiza una comparación de los niveles de concentración de los gases contaminantes de enero a agosto de los años 2018, 2019 y 2020 que permiten diferenciar e identificar la influencia del cambio en el flujo vehicular en la calidad del aire, así como influyó la disminución de restricciones de movilidad vehicular en el incremento de la tasa de contagios diarios. Para tal efecto se recopiló los datos de la calidad del aire publicados por la empresa de movilidad pública de Cuenca (EMOV EP) y los comunicados emitidos por el Comité de Operaciones de Emergencia (COE), antes y durante el confinamiento. Se realiza la adquisición, clasificación, análisis e interpretación de los datos obtenidos mediante diferentes metodologías que incluyen al machine learning. Se concluye que mientras las restricciones de movilidad vehicular son más severas la calidad del aire mejora y la tasa de contagios es menor, debido a que tienen una correlación directamente proporcional los gases contaminantes y el número de contagiados diarios, siendo el NO_2 con un 61%, siguiéndole el CO con un 60% de correlación, lo que significa que en un promedio de 15 días después de haber incrementados los niveles contaminantes producidos por el tráfico vehicular, también se incrementaban el número de contagiados.

ABSTRACT

At the end of 2019 in Wuhan China city, the outbreak of the virus called SARS-CoV 2 was originated, which later became a pandemic. In Ecuador, patient zero arrived on February 14, 2020 and the first mobility restriction imposed by the Government occurred on Tuesday, March 17 of the same year. Throughout the confinement, vehicle mobility restrictions have been modified by government entities depending on the number of infected people.

This article presents an air quality study in the historic center of Cuenca city as consequence of mobility changes caused by Covid-19, where a comparison of concentration levels of polluting gases of the first semester of 2018, 2019 and 2020 is made, that allow differentiating and identifying the influence of vehicular flow on air quality. It can also be verified how the decrease in vehicle mobility restrictions influenced the increase in the rate of daily infections. For the study, air quality data published by the public mobility company of the city of Cuenca (EMOV EP) and the communications issued by the Emergency Operations Committee (COE), before and during the confinement, were collected. The acquisition, classification, analysis and interpretation of the data obtained through machine learning techniques was carried out. It can be concluded that while mobility restrictions were more severe, air quality improved and infections rate of decrease. Obtaining that polluting gases such as NO₂ and CO produced by vehicular traffic show correlations of 61% and 60% respectively, which means that after 15 days of lifting the restrictive measures, the pollutants increased as well as the number of infected.

ÍNDICE GENERAL

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	18
2. PROBLEMA	19
2.1. Antecedentes.....	19
2.2. Importancia y alcances	19
2.3. Delimitación	19
2.3.1. Ubicación geográfica del cantón Cuenca	19
2.3.2. Red de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cuenca	21
3. OBJETIVOS.....	24
3.1. Objetivo General.....	24
3.2. Objetivos Específicos	24
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DEL ESTADO DEL ARTE.....	24
4.1. Motores de combustión interna alternativos (MCIA).....	24
4.1.1. Motores de encendido provocado (MEP).....	26
4.1.2. Motores de encendido por compresión (MEC)	27
4.2. Procedimiento de emisiones de gases contaminantes de los vehículos.....	28
4.2.1. Monóxido y Dióxido de Carbono (CO y CO ₂)	28
4.2.2. Ozono Troposférico (O ₃).....	29
4.2.3. Óxidos de Nitrógeno (NO, NO ₂ y NO _x)	29
4.2.4. Dióxido de Azufre (SO ₂).....	30
4.2.5. Material Particulado (MP _{2.5} y MP ₁₀)	30
4.3. Índice de la Calidad de Aire (ICA).....	30
4.4. Software MATLAB ®.....	31
5. MARCO METODOLÓGICO	32
5.1. Adquisición y métodos de procesamiento de la información.....	32

5.1.1.	Datos de las emisiones de gases contaminantes.....	32
5.1.2.	Datos de Contagios Diarios de Covid-19.....	33
5.1.3.	Procesamiento de la Información.....	33
5.2.	Estación automática de calidad del aire.....	34
5.3.	Calidad de aire en la ciudad de Cuenca.....	34
5.4.	Vehículos aprobados en la revisión técnica vehicular (RTV) 2008 a 2019	34
5.5.	Norma de la calidad del aire	35
5.6.	Análisis de la relación entre gases contaminantes y el tráfico vehicular.....	36
5.7.	Análisis de la relación entre variables meteorológicas y gases contaminantes.....	37
5.8.	Obtención de datos de la Empresa de Movilidad EMOV EP.....	39
5.8.1.	Ubicación el área del estudio: zona del Centro Histórico	39
5.8.2.	Variables que intervienen en el estudio.....	39
5.8.3.	Adquisición de datos de emisiones de gases contaminantes.....	39
5.9.	Análisis de la información.....	40
5.9.1.	Promedios diarios de CO, O ₃ , NO ₂ , SO ₂ Y MP _{2.5} de enero a agosto 2018, 2019 y 2020	41
5.9.1.1.	Promedios diarios de CO de enero a agosto 2018, 2019 y 2020	41
5.9.1.2.	Promedios diarios de O ₃ de enero a agosto 2018, 2019 y 2020.....	43
5.9.1.3.	Promedios diarios de NO ₂ de enero a agosto 2018, 2019 y 2020.....	45
5.9.1.4.	Promedios diarios de SO ₂ de enero a agosto 2018, 2019 y 2020	47
5.9.1.5.	Promedios diarios de MP _{2.5} de enero a agosto 2018, 2019 y 2020.....	49
5.9.2.	Promedios de CO, O ₃ , NO ₂ , SO ₂ Y MP _{2.5} según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca	51
5.9.2.1.	Promedios de CO según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca	51
5.9.2.2.	Promedios de O ₃ según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca	54

5.9.2.3.	Promedios de NO ₂ según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca	57
5.9.2.4.	Promedios de SO ₂ según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca	60
5.9.2.5.	Promedios de MP _{2.5} según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca	63
5.9.3.	Crecimiento del promedio de los gases contaminantes según semaforización en el año 2020.....	66
5.9.4.	Comparación anual de los gases contaminantes basados en las fechas de semaforización	67
5.9.4.1.	Sin restricciones del 01 de enero al 16 de marzo.....	67
5.9.4.2.	Sin semáforo 1 del 17 de marzo al 20 de marzo.....	68
5.9.4.3.	Sin semáforo 2 del 21 de marzo al 24 de marzo.....	69
5.9.4.4.	Sin semáforo 3 del 25 de marzo al 12 de abril.....	70
5.9.4.5.	Semáforo rojo del 13 de abril al 24 de mayo.....	71
5.9.4.6.	Semáforo amarillo 1 del 25 de mayo al 30 de junio.....	72
5.9.4.7.	Semáforo amarillo 2 del 1 de julio al 30 de julio.....	73
5.9.4.8.	Semáforo amarillo 3 del 31 de julio al 31 de agosto.....	74
6.	RESULTADOS	75
6.1.	Coefficiente de determinación R ² comparado con los días de desplazamiento del CO, NO ₂ , SO ₂ Y MP _{2.5} del 2020.....	75
6.2.	Coefficiente de determinación R ² entre el tráfico vehicular y los gases contaminantes	77
6.3.	Matriz de Correlación de los Gases Contaminantes y los Contagiados Diarios	78
7.	CONCLUSIONES.....	80
8.	RECOMENDACIONES.....	82
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación del cantón Cuenca. Fuente: (EMOV, 2019).....	20
Figura 2. Parroquias Urbanas y Rurales del cantón Cuenca. Fuente: (Yunez López, 2018)...	21
Figura 3. Ubicación de los puntos de monitoreo de la calidad del aire de la ciudad de Cuenca. Fuente: (EMOV, 2019).	21
Figura 4. Estación automática de calidad del aire y meteorología localizada en la estación MUN. Fuente: (EMOV, 2019).....	22
Figura 5. Componentes principales de un MCIA. Fuente: (Rovira De Antonio & Muñoz Domínguez, 2015).....	25
Figura 6. Esquema de combustión en los motores alternativos de encendido provocado (MEP). Fuente: (Rovira De Antonio & Muñoz Domínguez, 2015)	27
Figura 7. Esquema de combustión en los motores de encendido por compresión (MEC). Fuente: (Rovira De Antonio & Muñoz Domínguez, 2015)	27
Figura 8. Proceso de emisión de contaminantes en vehículos automotores. Fuente: (INE-SEMARNAT, 2005).....	28
Figura 9. Ventana principal del software MATLAB ®. Fuente: Autores	31
Figura 10. Histograma del número de vehículos aprobados la RTV en la ciudad de Cuenca. Fuente: Autores	35
Figura 11. Matriz de correlación entre los gases contaminantes y el tráfico vehicular. Fuente: (Morocho & Valdez, 2018).....	37
Figura 12. Matriz de correlación entre los gases contaminantes y variables Meteorológicas. Fuente: (Morocho & Valdez, 2018).....	38
Figura 13. Proceso de análisis de datos. Fuente: Autores.....	39
Figura 14. Promedios diarios de CO de enero a agosto 2018. Fuente: Autores	42
Figura 15. Promedios diarios de CO de enero a agosto 2019. Fuente: Autores	42
Figura 16. Promedios diarios de CO de enero a agosto 2020. Fuente: Autores	43
Figura 17. Promedios diarios de O3 de enero a agosto 2018. Fuente: Autores	44
Figura 18. Promedios diarios de O3 de enero a agosto 2019. Fuente: Autores	44
Figura 19. Promedios diarios de O3 de enero a agosto 2020. Fuente: Autores	45
Figura 20. Promedios diarios de NO2 de enero a agosto 2018. Fuente: Autores	46
Figura 21. Promedios diarios de NO2 de enero a agosto 2019. Fuente: Autores	46
Figura 22. Promedios diarios de NO2 de enero a agosto 2020. Fuente: Autores	47
Figura 23. Promedios diarios de SO2 de enero a agosto 2018. Fuente: Autores.....	48
Figura 24. Promedios diarios de SO2 de enero a agosto 2019. Fuente: Autores.....	48
Figura 25. Promedios diarios de SO2 de enero a agosto 2020. Fuente: Autores.....	49
Figura 26. Promedios diarios de MP2.5 de enero a agosto 2018. Fuente: Autores	50
Figura 27. Promedios diarios de MP2.5 de enero a agosto 2019. Fuente: Autores	50
Figura 28. Promedios diarios de MP2.5 de enero a agosto 2020. Fuente: Autores	51
Figura 29. Promedios de CO enero-agosto 2018 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. Fuente: Autores.....	53
Figura 30. Promedios de CO enero-agosto 2019 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. Fuente: Autores.....	53
Figura 31. Promedios de CO enero-agosto 2020 según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. Fuente: Autores	54

Figura 32. Promedios de O ₃ enero-agosto 2018 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. Fuente: Autores.....	56
Figura 33. Promedios de O ₃ enero-agosto 2019 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. Fuente: Autores.....	56
Figura 34. Promedios de O ₃ enero-agosto 2020 según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. Fuente: Autores	57
Figura 35. Promedios de NO ₂ enero-agosto 2020 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. Fuente: Autores.....	58
Figura 36. Promedios de NO ₂ enero-agosto 2018 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. Fuente: Autores.....	59
Figura 37. Promedios de NO ₂ enero-agosto 2020 según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. Fuente: Autores	60
Figura 38. Promedios de SO ₂ enero-agosto 2018 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. Fuente: Autores.....	61
Figura 39. Promedios de SO ₂ enero-agosto 2019 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. Fuente: Autores.....	62
Figura 40. Promedios de SO ₂ enero-agosto 2020 según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. Fuente: Autores	63
Figura 41. Promedios de MP _{2.5} enero-agosto 2018 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. Fuente: Autores.....	64
Figura 42. Promedios de MP _{2.5} enero-agosto 2019 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. Fuente: Autores.....	65
Figura 43. Promedios de MP _{2.5} enero-agosto 2020 según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. Fuente: Autores	66
Figura 44. Crecimiento del promedio de los gases contaminantes según semaforización en el año 2020. Fuente: Autores	67
Figura 45. Periodo sin restricciones del 01 de enero al 16 de marzo. Fuente: Autores	68
Figura 46. Periodo sin semáforo 1 del 17 de marzo al 20 de marzo. Fuente: Autores	69
Figura 47. Periodo sin semáforo 2 del 21 de marzo al 24 de marzo. Fuente: Autores	70
Figura 48. Periodo sin semáforo 3 del 25 de marzo al 12 de abril. Fuente: Autores.....	71
Figura 49. Periodo semáforo rojo del 13 de abril al 24 de mayo. Fuente: Autores	72
Figura 50. Periodo semáforo amarillo 1 del 25 de mayo al 30 de junio. Fuente: Autores.....	73
Figura 51. Periodo semáforo amarillo 2 del 1 de julio al 30 de julio. Fuente: Autores.....	74
Figura 52. Periodo semáforo amarillo 3 del 31 de julio al 31 de agosto. Fuente: Autores.....	75
Figura 53. Coeficiente de determinación comparado con los días de desplazamiento del CO, NO ₂ del año 2020. Fuente: Autores.....	76
Figura 54. Coeficiente de determinación comparado con los días de desplazamiento del SO ₂ , MP _{2.5} del año2020. Fuente: Autores.....	77
Figura 55. Coeficiente de determinación R ² entre el tráfico vehicular y los gases contaminantes. Fuente: Autores	78
Figura 56. Matriz de correlación entre los gases contaminantes y los contagiados diarios. Fuente: Autores	79

Índice de tablas

Tabla 1. Límites territoriales del cantón Cuenca. Fuente: (Arias Montaña & Ludeña Ayala, 2018).....	19
Tabla 2. Códigos de ubicación y escala de información de calidad del aire de cada estación; de acuerdo con las categorías establecidas por la USEPA. Fuente: (EMOV, 2019).	23
Tabla 3. Sensores utilizados en la estación automática para la monitorización de los gases contaminantes. Fuente: (EMOV, 2019)	32
Tabla 4. Sensores utilizados en la estación automática para la monitorización de las variables meteorológicas. Fuente: (EMOV, 2019).....	33
Tabla 5. Fuentes principales de emisiones de gases contaminantes en la ciudad de Cuenca. Fuente: (EMOV, 2019)	34
Tabla 6. Número de vehículos aprobados en el cantón Cuenca a partir del año 2008 al 2018. Fuente: (EMOV, 2019)	34
Tabla 7. Concentraciones permitidas de gases contaminantes basadas en la NCAA. Fuente: (EMOV, 2019)	35
Tabla 8. Correlación entre gases contaminantes y el tráfico vehicular. Fuente: (Morochó & Valdez, 2018)	36
Tabla 9. Correlación entre variables meteorológicas y gases contaminantes. Fuente: Autores	38
Tabla 10. Plantilla para la matriz generada para la recolección de batos de los gases contaminantes. Fuente: Autores	40
Tabla 11. Periodos de semaforización en el cantón Cuenca. Fuente: Autores.....	40
Tabla 12. Sumatoria de CO según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. Fuente: Autores	51
Tabla 13. Sumatoria de O ₃ según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. Fuente: Autores	55
Tabla 14. Sumatoria de NO ₂ según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. Fuente: Autores	57
Tabla 15. Sumatoria de SO ₂ según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. Fuente: Autores	60
Tabla 16. Sumatoria de MP _{2.5} según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. Fuente: Autores	63
Tabla 17. Crecimiento mayor y menor del promedio de los gases contaminantes según semaforización en el año 2020. Fuente: Autores	66
Tabla 18. Coeficiente de determinación R ² y días de desplazamiento. Fuente: Autores.....	76
Tabla 19. Matriz de correlación entre los gases contaminantes y los contagiados diarios. Fuente: Autores	79

1. INTRODUCCIÓN

En diciembre del año 2019 en Wuhan China, se originó el brote de un nuevo coronavirus al cual le asignaron el nombre de Covid-19 (Organización Mundial de la Salud, Who.int, s.f.). El 22 de enero de 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS) emitió una declaración en la que se afirma que se ha demostrado la transmisión entre seres humanos en Wuhan y el 11 de marzo del mismo año la OMS declaró a la Covid-19 como una pandemia (Organización Mundial de la Salud, Who.int, s.f.). En Ecuador el paciente cero proveniente de España arribó el 14 de febrero de 2020 (Ministerio de Salud Pública, Salud.gob.ec, s.f.), provocando que la enfermedad empezara a esparcirse en el país, con lo cual el Gobierno ecuatoriano declaró las primeras restricciones el martes 17 de marzo del mismo año (Secretaría General de Comunicación de la Presidencia, s.f.), con el objetivo de disminuir la velocidad de propagación de la enfermedad. En estas restricciones figuraban la prohibición de la movilidad vehicular y aérea incluyendo el transporte interprovincial terrestre, y los vuelos nacionales e internacionales; el cierre de lugares en donde se agrupen más de 30 personas y pueda ser un foco de propagación de la infección (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, Informe de Situación No008 Casos Coronavirus Ecuador 16032020, 2020).

La pandemia también ha producido una disminución en la contaminación del aire (Escuela Andaluza de Salud Pública, 2020) (Muhammad, Long, & Salman, 2020) debido al aislamiento de las personas en sus hogares y la baja interacción social entre estas a causa de los 2 estados de excepción impuesto por el mismo Gobierno ecuatoriano en 4 decretos ejecutivos, con el fin de controlar la velocidad de propagación del virus (El Universo, 2020).

En la ciudad de Cuenca el primer contagio se informó el 14 de marzo de 2020 (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, INFOGRAFIA NACIONALCOVID 19 COE NACIONAL 14032020, 2020), según Julio Molina coordinador de salud en la zona 6, sobre una mujer que llegó desde España y presentaba síntomas respiratorios leves como tos y fiebre alta (Guambaña, 2020). En el cantón Cuenca desde el 14 de marzo hasta el 31 de agosto del año 2020 se registraron 4445 casos confirmados de Covid-19 (Ministerio de Salud Pública, INFOGRAFIA NACIONALCOVID19 COE NACIONAL 08h00 31082020, 2020). Según Morocho y Valdez el 60% de monóxido de carbono (CO), 43% de ozono troposférico (O₃), 43% de óxido de nitrógeno (NO), 27% de dióxido de nitrógeno (NO₂), 42% de óxido nítrico (NO_x), 11% de dióxido de azufre (SO₂) y 18% de material particulado menor a 2.5 micras (MP_{2.5}) producidos en el centro histórico de la ciudad de Cuenca son causados por el tráfico vehicular terrestre

(Morocho & Valdez, 2018). El mayor porcentaje de consecuencia del tráfico vehicular es causado por el monóxido de carbono el mismo que causa entre otros efectos negativos a la salud, alteraciones en el flujo sanguíneo y ritmo cardiaco (EMOV, 2019).

2. PROBLEMA

2.1. Antecedentes

La llegada de la pandemia mundial del Covid-19 ha producido cambios importantes y drásticos en los niveles de emisiones contaminantes alrededor del mundo, debido a las medidas que han tomado los gobiernos de los distintos países manteniendo una cuarentena y evitando la circulación de los vehículos por las ciudades.

2.2. Importancia y alcances

A la fecha de este análisis no se cuenta con información ni estudios comparativos publicados que especifiquen cuantitativamente la influencia que tiene los cambios realizados en la movilidad vehicular sobre la cantidad de emisiones contaminantes en el centro histórico de la ciudad de Cuenca, ya que es un acontecimiento nuevo en nuestra generación, por eso se precisa un análisis que permita visualizar los cambios en la calidad del aire.

2.3. Delimitación

2.3.1. Ubicación geográfica del cantón Cuenca

Geográficamente el cantón Cuenca está ubicado al sur del Ecuador, como se muestra en la Figura 1, entre las coordenadas 2°39' a 3°00' de latitud sur con respecto al plano ecuatorial y 78°54' a 79°26' de longitud oeste con respecto al meridiano de referencia (meridiano de Greenwich), con una altura de 2538 metros sobre el nivel del mar (Arias Montaña & Ludeña Ayala, 2018). En la Tabla 1, se detalla los límites del territorio del cantón Cuenca.

Tabla 1. Límites territoriales del cantón Cuenca. **Fuente:** (Arias Montaña & Ludeña Ayala, 2018)

Límites	
Norte	Provincia del Cañar
Sur	Cantones Camilo Ponce Enríquez San Fernando Santa Isabel y Girón

Este	Cantones
	Paute
	Gualaceo
	Sígsig
Oeste	Provincia del Guayas

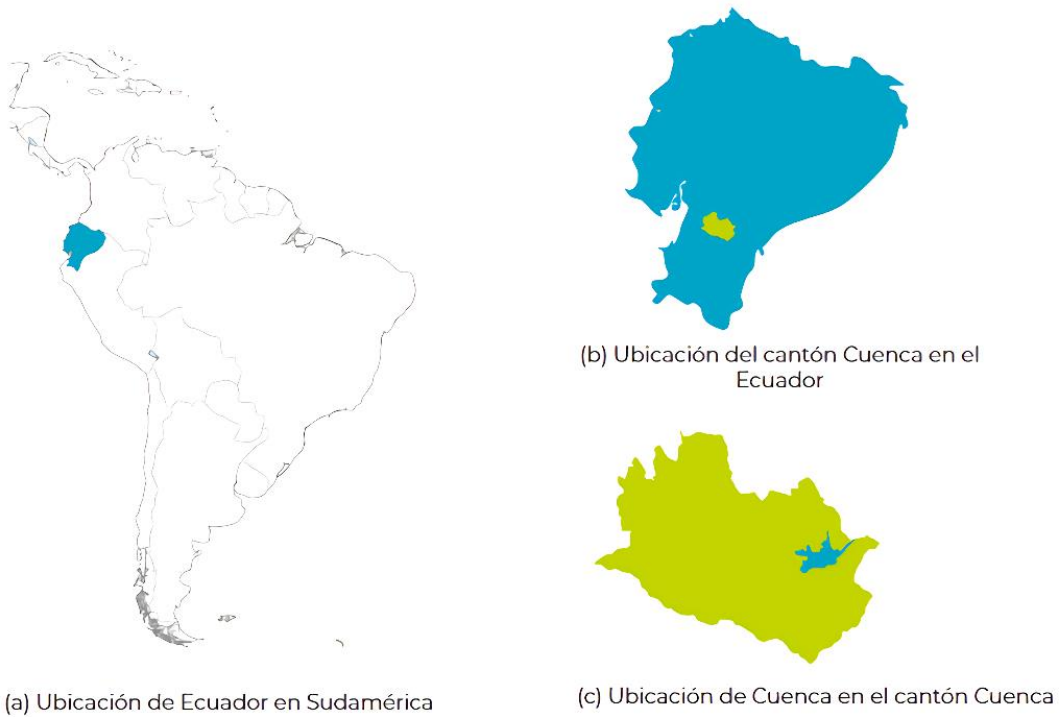


Figura 1. Ubicación del cantón Cuenca. **Fuente:** (EMOV, 2019)

El cantón Cuenca está formada por 22 parroquias rurales y 15 parroquias urbanas como se puede apreciar en la Figura 2. Las parroquias urbanas son las que delimitan la ciudad de Cuenca.

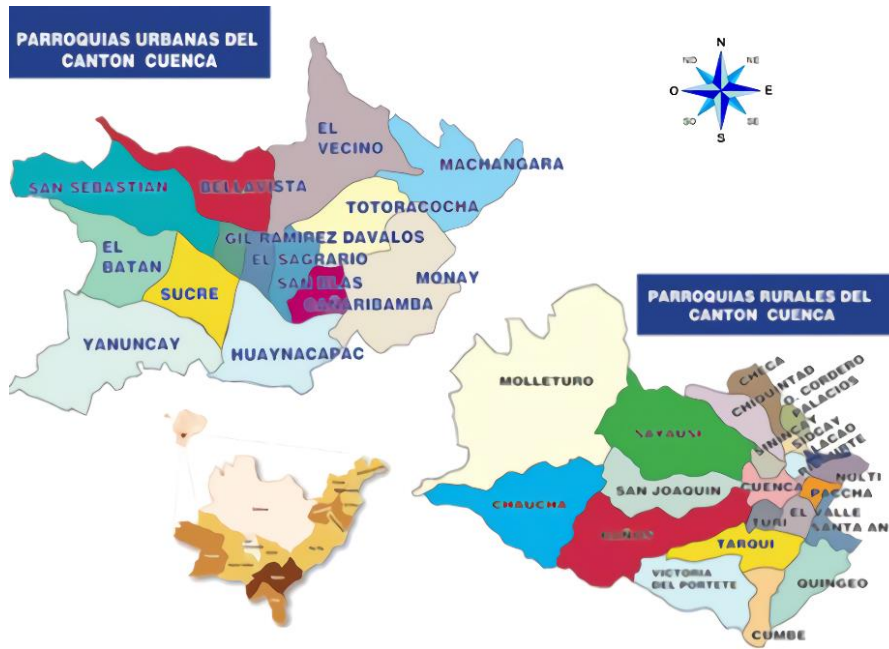


Figura 2. Parroquias Urbanas y Rurales del cantón Cuenca. Fuente: (Yunez López, 2018)

2.3.2. Red de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cuenca

En la actualidad la red de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cuenca cuenta con veinte puntos de vigilancia distribuidos en toda la ciudad las mismas que cumplen con las sugerencias de la USEPA, como se observa en la Figura 3, donde se encuentran instaladas las estaciones de monitoreo y registran la cantidad de emisiones de gases contaminantes generadas por cada minuto, estos datos son registrados por los sensores instalados en dichas estaciones (EMOV, 2019).

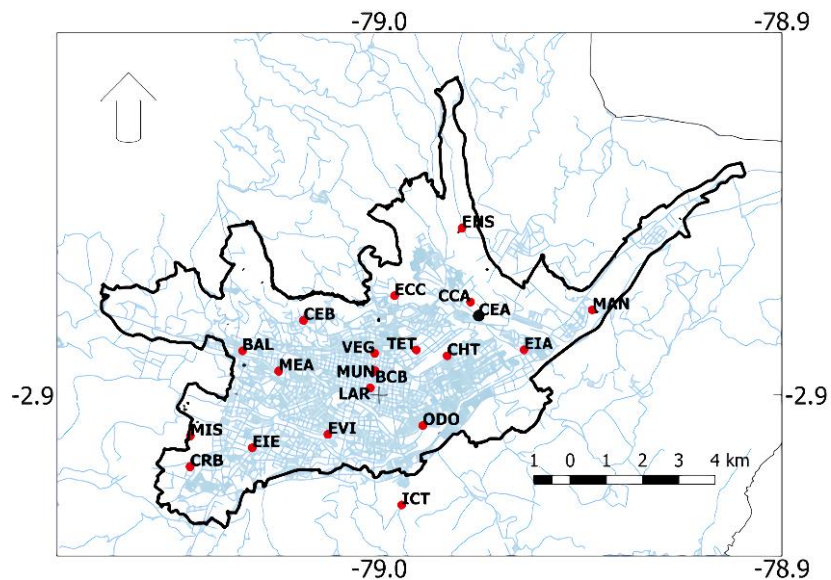


Figura 3. Ubicación de los puntos de monitoreo de la calidad del aire de la ciudad de Cuenca. Fuente: (EMOV, 2019).

La red de monitoreo de la calidad del aire de la ciudad de Cuenca se encuentra incorporada por:

- La estación automática llamada MUN que se aprecia en la Figura 4, se encuentra ubicada entre las calles Simón Bolívar y Presidente Borrero, la misma registra en tiempo real las concentraciones de O_3 , CO , SO_2 , $MP_{2.5}$, NO_2 y estos datos serán los utilizados para realizar este estudio (EMOV, 2019).



Figura 4. Estación automática de calidad del aire y meteorología localizada en la estación MUN. **Fuente:** (EMOV, 2019)

- Un sensor automático de material particulado menor a 2.5 micras ($MP_{2.5}$), mismo que se encuentra localizado en la estación del Colegio Carlos Arizaga que mide las concentraciones en la zona del parque industrial (EMOV, 2019).
- Una subred pasiva de muestreo de contaminantes en forma de gas en las 19 estaciones. Mide las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO_2) con muestras de 10 a 12 días, dos veces por mes; Ozono (O_3) con muestras de 10 a 12 días, dos veces por mes; tolueno, Dióxido de Azufre, benceno, xilenos y etilbenceno con muestras de 30 días, una vez por mes (EMOV, 2019).
- Una subred de depósito de Partículas sedimentales (PS), con 17 puntos de medición (EMOV, 2019).
- Una subred activa de material particulados inferior a las 10 micras, estructurada por tres equipos semiautomáticos de elevado volumen durante 24 horas del día consecutivas de exposición para la adquisición de muestras (EMOV, 2019).

En la Tabla 2 se presentan las ubicaciones de cada uno de los puntos de monitoreo y sus respectivos contaminantes monitoreados en cada estación.

Tabla 2. Códigos de ubicación y escala de información de calidad del aire de cada estación; de acuerdo con las categorías establecidas por la USEPA. **Fuente:** (EMOV, 2019).

Código	Nombre	Ubicación	Contaminantes	Escala
MAN	Machángara	Jardines del Río y Calle Londres	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
EIA	Escuela Ignacio Andrade	Reino de Quito y Av. González Suárez	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
EHS	Escuela Héctor Sempértegui	Camino a Ochoa León	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
CHT	Colegio Herlinda Toral	Altar Urco y Av. Paseo de los Cañaris	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
TET	Terminal Terrestre	Avenidas Madrid y España	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
ECC	Escuela Carlos Crespi II	Calle de la Bandolia y Calle de Arpa	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
ODO	Facultad de Odontología - U. de Cuenca	Av. Pasaje del Paraíso y Av. 10 de Agosto	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
EVI	Escuela Velasco Ibarra	Av. Felipe II y Av. Isabel Católica	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
MEA	Mercado El Arenal	Avenida Remigio Crespo y Avenida de las Américas	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
BAL	Balzay CEA - U. de Cuenca	Av. Ordoñez laso y Av. Cerezos	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
CRB	Colegio Rafael Borja	Vía a Baños	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
VEG	Vega Muñoz	Vega Muñoz y Luís Cordero	NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Microescala
CCA	Colegio Carlos Arizaga Vega	Calle J. Lavalley y Calle A. Ricaurte	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, MP ₁₀ , BTEX	Urbana, vecinal
MUN	Municipio	Calle Simón Bolívar y Calle Presidente Borrero	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , CO, MP _{2.5} , MP ₁₀ .	Urbana, vecinal
EIE	Escuela Ignacio Escandón	Av. Loja y Calle Ignacio de Rocha	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Urbana, vecinal
BCB	Estación de bomberos	Calle Presidente Córdova y Luís Cordero	NO ₂ , SO ₂ , PS, MP ₁₀ , BTEX	Microescala
LAR	Calle larga	Calle Larga y Borrero	NO ₂ , SO ₂ , BTEX	Microescala
ICT	Antenas de Ictocruz	Camino a Ictocruz	O ₃	Regional
CEB	Cebollar	Calle del Cebollar	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal

MIS	Misicata	Calle Carmela Malo	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
------------	----------	--------------------	--	---------

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Estudiar la calidad del aire en el centro histórico de la ciudad de Cuenca mediante la recolección de datos y análisis estadístico de la red de monitoreo, para la determinación de la influencia del bajo flujo vehicular a causa del Covid-19.

3.2. Objetivos Específicos

Establecer el estado del arte, mediante una investigación bibliográfica acerca de la calidad del aire para la determinación de conceptos significativos de este estudio.

Recopilar información sobre las emisiones ambientales en el centro histórico de la ciudad de Cuenca por medio de la red de monitoreo de la calidad del aire para el desarrollo de una base de datos.

Analizar mediante técnicas estadísticas multivariantes y machine learning los datos recolectados mediante el software de ingeniería “Matlab ®” para la determinación de la influencia del flujo vehicular en la calidad del aire.

Formular conclusiones y recomendaciones sobre la influencia del flujo vehicular en la calidad del aire del centro histórico de la ciudad de Cuenca por medio del análisis de datos para la corrección de parámetros del inventario de emisiones contaminantes.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DEL ESTADO DEL ARTE.

4.1. Motores de combustión interna alternativos (MCIA)

Los MCI alternativos son sistemas mecánicos capaces de transformar la energía almacenada en forma química de un combustible en energía mecánica mediante su ignición dentro de la cámara de combustión de la máquina con el fin de expandir los gases que dentro de ella se generan producto de la quema del combustible. (Bernet, 2018).

A los MCIA también se les denomina motores de desplazamiento positivo puesto que permite la transición desde el PMI hacia el PMS del pistón en forma lineal y a su vez por medio del grupo biela-manivela se transforma en movimiento rotativo, haciendo girar un eje del que se toma la energía mecánica. (Arias & Ladino, 2018).

En la Figura 5, se observa el esquema básico de los componentes de un MCIA.

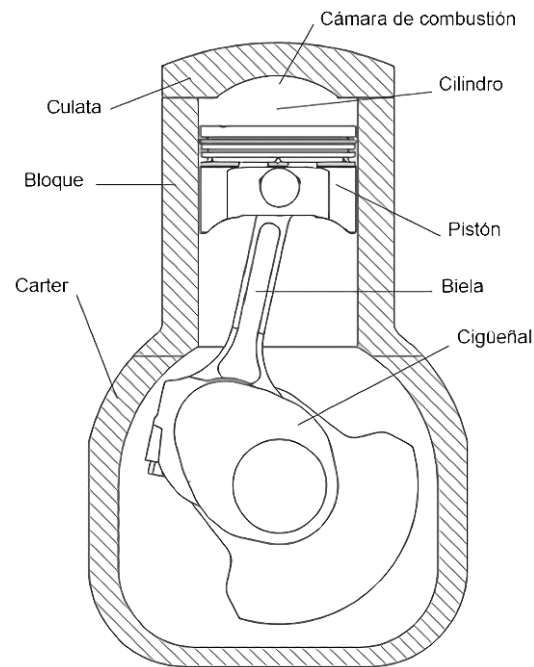


Figura 5. Componentes principales de un MCIA. **Fuente:** (Rovira De Antonio & Muñoz Domínguez, 2015)

El principio de funcionamiento de los MCIA consiste en una serie de procesos cíclicos termodinámicos que le permiten aprovechar la energía química proporcionada por el combustible y transformarla en energía mecánica por medio de varias fases que se desarrollan durante su funcionamiento, estas etapas serán descritas a continuación las mismas que consisten en: admisión, compresión, explosión-expansión y escape (Arias & Ladino, 2018).

- **Admisión:** es la fase durante la cual se produce el ingreso de la mezcla de aire-combustible hacia la cámara de combustión; en esta fase se aprovecha el ingreso de aire frío para refrigerar el múltiple y válvulas de admisión (Arias & Ladino, 2018).
- **Compresión:** es la fase en la cual el pistón realiza la carrera ascendente desde el PMI hacia el PMS comprimiendo la mezcla aire-combustible y aumentando la presión dentro de la cámara de combustión provocando un aumento en el rendimiento termodinámico del motor (Arias & Ladino, 2018).
- **Explosión-expansión:** es la fase durante la cual se produce la detonación de la mezcla aire-combustible y expandiéndola lo que provoca el desplazamiento del pistón desde el PMS hacia el PMI; esta fase también es llamada etapa de trabajo ya que aquí es en donde se produce la transformación de la energía química en mecánica (Arias & Ladino, 2018).

- **Escape:** es la fase final que produce un MCIA en la que el pistón vuelve a realizar la carrera ascendente, pero esta vez expulsa los gases residuales de la previa combustión por medio de la válvula de escape que se encuentra abierta en ese momento; después de ello se repite las fases convirtiéndose en un proceso cíclico (Arias & Ladino, 2018).

Los MCIA según el proceso de incineración de la mezcla aire-combustible que utilizan se dividen en motores de encendido provocado (MEP) y motores de encendido por compresión (MEC).

4.1.1. Motores de encendido provocado (MEP)

Los MCIA de encendido provocado (MEP) son motores que adquieren también el nombre de motores de ciclo otto o motores de encendido por chispa; el proceso cíclico de estos motores empieza con el ingreso de aire por el filtro retenedor de partículas y el múltiple de admisión, esto sucede mientras el pistón realiza la carrera descendente desde el PMS hacia el PMI y la válvula de admisión se encuentra abierta, al mismo tiempo que se inyecta el combustible con el objetivo de lograr una mezcla estequiométrica de 14,7 gramos de aire por cada gramo de combustible dentro de la cámara de combustión, cabe mencionar que el ingreso de la mezcla de aire-combustible dependerá del tipo de sistema que tenga el vehículo puesto que en el caso de los vehículos a carburador e inyección monopunto la mezcla de aire-combustible se da antes del ingreso a la cámara de combustión. (Rovira De Antonio & Muñoz Domínguez, 2015).

Una vez completada la fase de admisión, en la fase de compresión el pistón realiza la carrera ascendente desde el PMI hacia el PMS comprimiendo la mezcla y aumentando la presión en la cámara de combustión, esta fase se produce mientras las válvulas tanto de admisión como escape permanecen cerradas; en la fase de explosión-expansión por medio de la bujía, se genera un arco eléctrico de alta tensión incinerando la mezcla y provocando que esta se expanda empujando al pistón desde el PMS hacia el PMI, esta es la única fase que produce trabajo; finalmente en la fase de escape el pistón vuelve a realizar la carrera ascendente, pero esta vez expulsa los gases residuales de la previa combustión por medio de la válvula de escape que se encuentra abierta en ese momento (Rovira De Antonio & Muñoz Domínguez, 2015). En la Figura 6 se aprecia el esquema de combustión de los MEP.

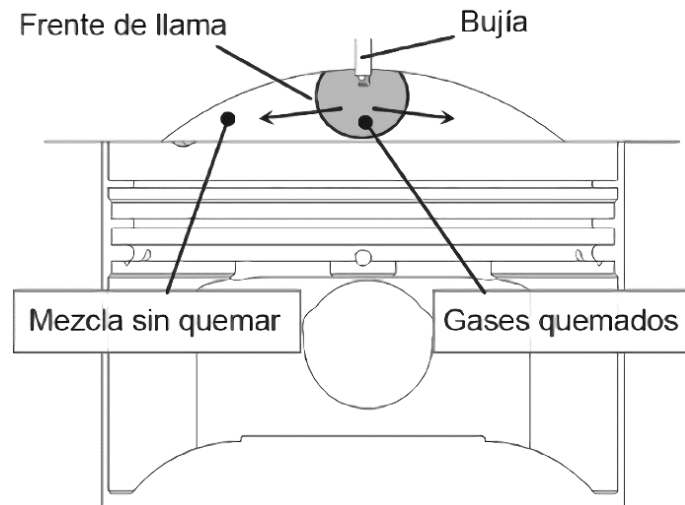


Figura 6. Esquema de combustión en los motores alternativos de encendido provocado (MEP). **Fuente:** (Rovira De Antonio & Muñoz Domínguez, 2015)

4.1.2. Motores de encendido por compresión (MEC)

Los MCIAs de encendido por compresión siguen las mismas fases que un motor de encendido por chispa con algunas notables diferencias como el uso del combustible diésel y la incineración de la mezcla por compresión, en esta fase el pistón asciende desde el PMI hacia el PMS comprimiendo el aire ingresado a elevadas presiones y en consecuencia aumentando su temperatura, seguidamente se inyecta el combustible y se produce la detonación antes de que el pistón ascienda por completo hasta el PMS esto con el objetivo de darle tiempo de combustión a la mezcla y aprovechar al máximo su etapa de trabajo (Rovira De Antonio & Muñoz Domínguez, 2015). En la Figura 6 se aprecia el esquema de combustión de los MEC.

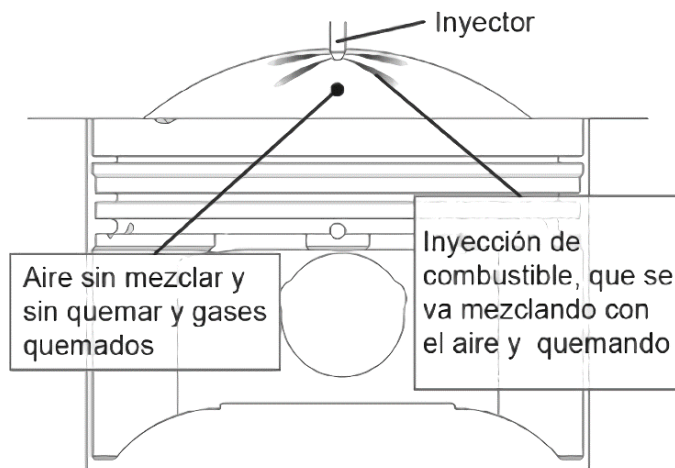


Figura 7. Esquema de combustión en los motores de encendido por compresión (MEC). **Fuente:** (Rovira De Antonio & Muñoz Domínguez, 2015)

4.2. Procedimiento de emisiones de gases contaminantes de los vehículos

La incineración del combustible (diésel, biocombustible o gasolina) dentro de la cámara de combustión es lo que provoca las emisiones de gases contaminantes por el tubo de escape del vehículo, esto debido al proceso mismo de incineración que como resultado expulsa los siguientes gases contaminantes: Hidrocarburos no combustionados (HC), Monóxido y Dióxido de carbono (CO y CO₂), Dióxido de azufre (SO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO₂), Plomo (Pb), metano, amoniaco, Material Particulado (MP_{2.5} Y MP₁₀) y agua (H₂O); es importante tener en cuenta que hay gases como el HC que no solamente son provocados por la quema incompleta del combustible en una mezcla pobre, sino también son generados por la altas temperaturas dentro del tanque de combustible, por otra parte, el Ozono troposférico (O₃) no es producido directamente dentro de la cámara de combustión sino que la radicación solar le permite reaccionar (Gómez Inieta & Franco Sandoval, 2009).

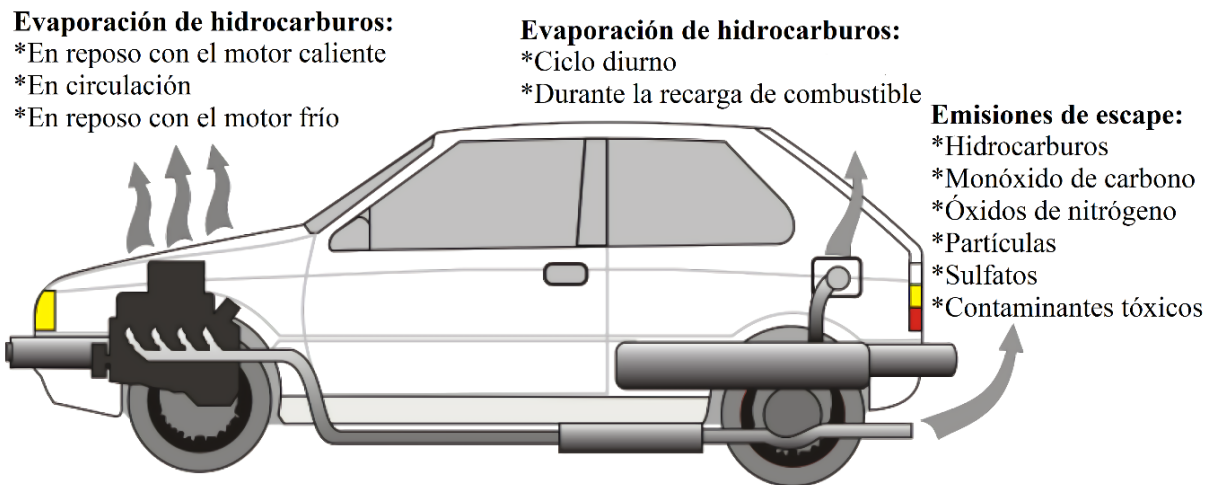


Figura 8. Proceso de emisión de contaminantes en vehículos automotores. Fuente: (INE-SEMARNAT, 2005)

4.2.1. Monóxido y Dióxido de Carbono (CO y CO₂)

En la fase de explosión-expansión de la mezcla de aire combustible es en donde se generan estos gases contaminantes, especialmente cerca de la bujía debido a que ahí es en donde comienza la reacción gracias al arco eléctrico e incineración de la mezcla, esto da como resultado que los hidrocarburos del combustible se unan con el oxígeno presente en el aire que fue ingresado por el múltiple de admisión formando los CO; Una vez que el CO se oxida gracias a las altas temperaturas se forma el CO₂, sin embargo, se debe tomar en cuenta que la reacción del CO₂ es más lenta que la CO y además una vez que las altas temperaturas disminuyen en la fase de

expansión provoca que no todo el CO se convierta en CO₂ expulsando tanto CO como CO₂ al ambiente (Gómez Iniesta & Franco Sandoval, 2009).

El CO es un gas perjudicial para la salud de las personas que puede llegar a causar incluso la muerte especialmente en espacios cerrados; al ser este un gas venenoso, incoloro e inodoro se vuelve complicado detectar su inhalación, pero siempre está presente en la expulsión de los gases de escape de un vehículo (EMOV, 2019).

4.2.2. Ozono Troposférico (O₃)

El Ozono troposférico (O₃) se genera cuando existe una cantidad considerable de ozono durante la oxidación de los hidrocarburos presentes en el aire. Por lo tanto, se puede afirmar que las principales fuentes antrópicas resultan ser aquellas que liberan los precursores contaminantes, es decir, el tráfico vehicular, los procesos de combustión, la evaporación de combustibles, etc (Gómez Iniesta & Franco Sandoval, 2009).

El O₃ un gas oxidante y componente natural de la atmósfera, un 90 % de su concentración se distribuye en la estratosfera, y el restante 10% reside en la troposfera donde se produce a partir del oxígeno molecular por acción de la radiación solar. El O₃ estratosférico actúa como una capa protectora para los seres vivos y ecosistemas también según la OMS las concentraciones horarias de 200 µg/m³ pueden irritar los ojos, nariz y garganta. La población más sensible corresponde a las personas que sufren asma, bronquitis crónica y enfisema. El O₃ produce el deterioro de materiales como el caucho y pinturas y afecta al normal crecimiento y desarrollo de las plantas (EMOV, 2019).

4.2.3. Óxidos de Nitrógeno (NO, NO₂ y NO_x)

El monóxido de nitrógeno es producido por la incineración de la mezcla de aire-combustible dentro de la cámara de combustión en presencia de las altas temperaturas y presiones, permitiendo oxidar el nitrógeno y formar el NO, sin embargo, teóricamente al disminuir la presión y temperatura en la fase de expansión cuando el pistón está en la carrera de descenso el NO debería dividirse en sus componentes originales de nitrógeno y oxígeno, pero a pesar de ello esto no sucede (Gómez Iniesta & Franco Sandoval, 2009).

Además, se produce NO₂ al oxidarse el NO convirtiéndose en dióxido de nitrógeno, este gas es tóxico para la salud de las personas ya que en elevadas concentraciones es posible que irrite los alvéolos desencadenando altos riesgos de infecciones en los pulmones (EMOV, 2019).

4.2.4. Dióxido de Azufre (SO₂)

El SO₂ es un gas contaminante que se expulsa principalmente por los vehículos que utilizan combustible diésel ya que en este contienen proporciones de azufre que en el momento de incinerarse se oxida y toma dos moléculas de oxígeno convirtiéndolo en dióxido de azufre (Gómez Iniesta & Franco Sandoval, 2009).

El SO₂ es un gas no inflamable, no explosivo e incoloro que en concentraciones entre 260 a 860 µg/m³ produce una sensación de gusto. En concentraciones grandes este gas se vuelve irritante provocando cambios dañinos en el sistema respiratorio evidenciándose en las vías respiratorias, mucosas oculares y también agrava las enfermedades cardiovasculares (EMOV, 2019).

4.2.5. Material Particulado (MP_{2.5} y MP₁₀)

El material particulado es producto de las emisiones producidas principalmente por los vehículos que usan combustible diésel y la generación eléctrica en centrales térmicas; se emite cuando este no se quema por completo y deja partículas residuales que afectan en gran medida tanto al medio ambiente como a las personas y demás seres vivos. Los MP₁₀ son partículas que poseen un diámetro menor a los 10 µm, mientras que los MP_{2.5} representan el 60% de este diámetro, es decir, contienen un diámetro menor a 2.5 µm (Gómez Iniesta & Franco Sandoval, 2009).

Este material particulado está formado por una mezcla de partículas tanto solidas como liquidas. El MP_{2.5} es un contaminante cancerígeno que puede ingresar hasta las zonas de intercambio de gases dentro del pulmón, mientras que el MP₁₀ es capaz de llegar únicamente hasta los conductos respiratorios bajas (EMOV, 2019).

4.3. Índice de la Calidad de Aire (ICA)

El Índice de la calidad del aire en la ciudad de Cuenca está basado en los documentos emitidos por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) dicho documento se llama: Plan Nacional de la calidad del Aire. Para informar sobre el estado del ICA en el centro histórico de la ciudad de Cuenca como consecuencia de la expulsión de los distintos gases contaminantes en la atmosfera se utiliza un número adimensional. El ICA está dividido en seis rangos que están definidos por la US-EPA 2016 standard:

0 a 50 (Bueno)

50 a 100 (Moderado)

100 a 150 (Dañina a la salud de los grupos sensitivos)

150 a 200 (Dañina a la salud)

200 a 300 (Muy dañina a la salud)

300 a 500 (Arriesgada)

4.4. Software MATLAB ®

MATLAB ® es un software de lenguaje de cálculo técnico que no exige una dimensión limitada para su matriz. Además, este software matemático de ingeniería ayuda a resolver muchos de problemas numéricos, diseñar algoritmos, analizar datos, generar modelos matemáticos y trabaja con lenguajes de programación como: C++, BASIC o FORTRAN. (León Bacuilima & Piña Orellana, 2018).

Se emplea este software matemático MATLAB ® para el análisis multivariado mediante el método de componentes principales, que permite visualizar los resultados de una manera gráfica ya que en MATLAB la función plot muestra resultados de la relación entre dos variables, pero cuando existe decenas de variables se hace difícil visualizar sus relaciones, por lo tanto, es necesario recurrir a este método de análisis. (MathWorks, 2019). En la Figura 9 se presenta la ventana principal del software MATLAB en donde se puede apreciar las distintas secciones del programa.

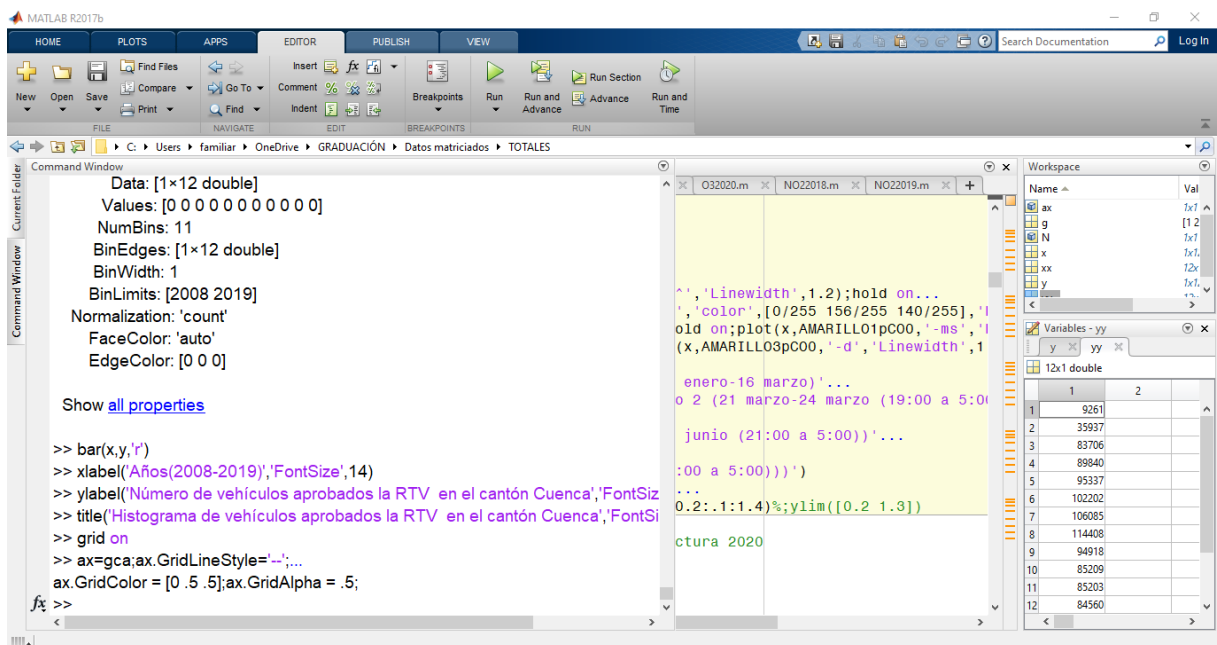


Figura 9. Ventana principal del software MATLAB ®. Fuente: Autores

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. Adquisición y métodos de procesamiento de la información

Se presentan las técnicas de adquisición de datos usados, así como el método de procesamiento de información para presentar los resultados.

5.1.1. Datos de las emisiones de gases contaminantes

Los datos que se utilizaron para analizar la correlación de Pearson de los gases contaminantes y los contagios diarios de personas por Covid-19 en la ciudad de Cuenca se tomaron de la red de monitoreo de la calidad del aire, la misma que cuenta con veinte puntos de vigilancia distribuidos en toda la ciudad, de la cual los datos se recopilaron de la estación Municipio (MUN) que se encuentra ubicada entre las calles Simón Bolívar y Presidente Borrero, la misma registra en tiempo real las concentraciones de O_3 , NO_2 , SO_2 , CO , $MP_{2.5}$, material particulado menor a 10 micras (MP_{10}) y dichos datos se utilizaron para el análisis (EMOV, 2019).

Todas estas estaciones incluida la MUN registran la cantidad de emisiones de gases contaminantes generadas por cada minuto, estos datos son registrados por los sensores instalados en dichas estaciones que generan información necesaria para caracterizar la distribución espacial de la contaminación atmosférica, mediante la medición permanente de la calidad del aire en distintas áreas de la ciudad (EMOV, 2019).

Los métodos de medición y sensores de la red automática de Monitoreo de Calidad del Aire de Cuenca se presentan en las Tablas 3 y 4.

Tabla 3. Sensores utilizados en la estación automática para la monitorización de los gases contaminantes. **Fuente:** (EMOV, 2019)

Contaminante	Método	Marca/Modelo
Monóxido de carbono (CO)	Absorción de radiación infrarroja no dispersiva USEPA Método de referencia EQOA-0992-087	Teledyne. M300E
Dióxido de azufre (SO_2)	Fluorescencia por radiación ultravioleta USEPA Método de referencia EQSA-0495-100	Teledyne. M100E
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	Quimioluminiscencia USEPA Método de referencia EQOA-0992-87	Teledyne. M200E

Material Particulado fino (MP _{2.5})	Atenuación de rayos beta USEPA Método equivalente EQPM-0308-170	Met One BAM-1020
Ozono (O ₃)	Absorción de radiación ultravioleta USEPA Método equivalente EQOA-0992-087	Teledyne. M400E

Tabla 4. Sensores utilizados en la estación automática para la monitorización de las variables meteorológicas. **Fuente:** (EMOV, 2019)

Meteorología, estación Vaisala	
Parámetro	Sensor
Velocidad y dirección del viento	WMS302
Temperatura del aire. humedad relativa	HMP155
Radiación solar global	CMP3
Precipitación	Young 52203
Presión barométrica	K17474

5.1.2. Datos de Contagios Diarios de Covid-19

Los datos para el análisis de los contagios diarios se tomaron del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias dentro de la sección de Informes de Situación e Infografías Covid-19 – desde el 29 de febrero del 2020, la cual como ente coordinador de las emergencias y desastres en el país, presenta la información consolidada del Ministerio de Salud Pública (MSP) sobre la emergencia nacional por Covid-19 iniciada en marzo del año 2020. Los Informes e Infografías fueron generados de manera periódica diaria. (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, gestionderiesgos.gob.ec, s.f.).

5.1.3. Procesamiento de la Información

Para el procesamiento de los datos se ocupó el Software de ingeniería MATLAB ® para el análisis multivariado mediante el método de coeficiente de correlación de Pearson, que permite visualizar los resultados de una manera gráfica mostrando resultados de la relación entre dos variables (MathWorks, 2019). El coeficiente de correlación de Pearson es la principal medida de asociación lineal entre dos variables cuantitativas que permite obtener los resultados más precisos posibles de la correlación entre los gases contaminantes y la cantidad de contagios por Covid-19 (Alea, Guillén, Muñoz, Torrelles, & Viladomiu, 2000).

5.2. Estación automática de calidad del aire

Según el informe emitido por la (EMOV, 2019) afirma que:

En el año 2019 la cobertura temporal por contaminante de la estación MUN, fue la siguiente: CO (89.4%), SO₂ (86.9%), O₃ (92.9%), MP_{2.5} (91.5%) y NO₂ (96.4%). El sensor automático de MP_{2.5} de la estación CCA (Colegio Carlos Arizaga Vega) tuvo una cobertura de 100.0%.

5.3. Calidad de aire en la ciudad de Cuenca

Según el último inventario de emisiones del cantón Cuenca elaborado en el año 2014 por la Empresa Pública de Movilidad (EMOV, 2019) recalca que las fuentes más importantes de emisión por contaminante primario son los que muestran a continuación en la Tabla 5:

Tabla 5. Fuentes principales de emisiones de gases contaminantes en la ciudad de Cuenca. **Fuente:** (EMOV, 2019)

Gases contaminantes	Fuentes
Monóxido de carbono (CO):	Tráfico vehicular 94.5%.
Óxidos de nitrógeno (NO _x):	Tráfico vehicular 71.2%, térmicas 18.5%.
Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVNM):	Tráfico vehicular 39.6%, uso de disolventes 29.7%, vegetación 19.5%.
Dióxido de azufre (SO ₂):	Industrias 60.4%, térmicas 35.1%.
Material particulado fino (MP _{2.5}):	Tráfico vehicular 42.5, ladrilleras artesanales 38.5%, térmicas 11.3%.
Material particulado fino (MP ₁₀):	Tráfico vehicular 55.6%, ladrilleras artesanales 24.6%.

5.4. Vehículos aprobados en la revisión técnica vehicular (RTV) 2008 a 2019

Los registros de la RTV muestran el número de vehículos aprobados en el cantón Cuenca en el periodo 2008 a 2019, los que se pueden apreciar en la Tabla 6.

Tabla 6. Número de vehículos aprobados en el cantón Cuenca a partir del año 2008 al 2018. **Fuente:** (EMOV, 2019)

Año	Vehículos
2008	9 261
2009	35 937
2010	83 706
2011	89 840
2012	95 337
2013	102 202
2014	106 085
2015	114 408
2016	94 918
2017	85 209
2018	85 235
2019	84 560

En la Figura 10 se observa un histograma del número de vehículos que aprobaron la Revisión Técnica Vehicular en la ciudad de Cuenca desde el año 2008 hasta el año 2019 basándose en los datos de la Tabla 6, en el mismo se puede notar un incremento de vehículos aprobados desde el año 2008 hasta el año 2015, mientras que desde el año 2016 hasta el año 2019 se evidencia un decremento de los vehículos.

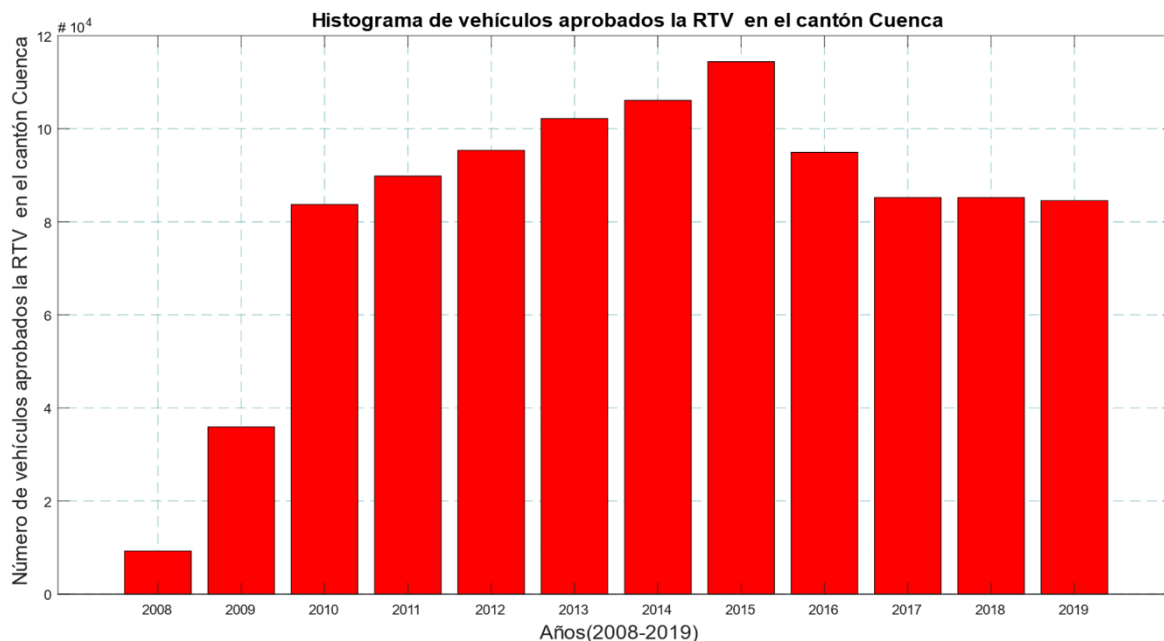


Figura 10. Histograma del número de vehículos aprobados la RTV en la ciudad de Cuenca. **Fuente:** Autores

5.5. Norma de la calidad del aire

En la Tabla 7 se presenta la Norma de la Calidad del Aire Ambiente (NCAA) la misma que fue actualizada mediante el acuerdo No. 050 del Ministerio de Ambiente, en ella se observa los contaminantes más comunes y la NCAA está en vigencia desde el 4 de abril de 2011, las condiciones de referencia para los valores que se presentan en la misma son una temperatura de 25 °C y presión atmosférica de 760 mmHg (EMOV, 2019).

Tabla 7. Concentraciones permitidas de gases contaminantes basadas en la NCAA. **Fuente:** (EMOV, 2019)

Contaminante	Norma Vigente
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Promedio anual 40 µg/m ³ Promedio en 1 hora 200 µg/m ³
Dióxido de azufre (SO ₂)	Promedio en 24 horas 125 µg/m ³ Promedio anual 60 µg/m ³ Promedio en 10 minutos 500 µg/m ³
Partículas sedimentables (PS)	1 mg/cm ² durante 30 días

Material particulado con diámetros menor 10 μm (MP ₁₀)	Promedio anual 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Promedio en 24 horas: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Material particulado con diámetros menor 2.5 μm (MP _{2.5})	Promedio anual 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Promedio en 24 horas: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Monóxido de carbono (CO)	Promedio en 8 horas: 10 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Promedio en 1 hora: 30 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ozono (O ₃)	Promedio en 8 horas: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

5.6. Análisis de la relación entre gases contaminantes y el tráfico vehicular

Se determina la influencia del tráfico vehicular sobre la calidad del aire mediante el coeficiente de correlación de Pearson. El gráfico de dispersión de la Figura 11, contiene los siete gases contaminantes: CO, O₃, NO_x, NO₂, NO, SO₂, MP_{2.5} y el tráfico vehicular. La correlación que existe entre tráfico vehicular y CO es de 0.60, tráfico vehicular y NO es de 0.43, tráfico vehicular y NO_x es de 0.42 y tráfico vehicular y O₃ es de 0.43 (Morocho & Valdez, 2018). En la Tabla 8 se presenta la correlación que existe entre el tráfico vehicular y los gases contaminantes.

Si los puntos en la gráfica de dispersión se forman a lo largo de la línea de regresión se considera una correlación lineal positiva (+1) o negativa (-1) perfecta, como es el caso de la relación entre el NO_x y el NO existe una correlación de 0,95 y con un valor de correlación entre el CO y el NO_x de 0,82. Por otra parte, existe una ausencia de correlación entre el SO₂ y NO₂ con un valor de correlación igual a cero.

Tabla 8. Correlación entre gases contaminantes y el tráfico vehicular. **Fuente:** (Morocho & Valdez, 2018)

Presentación de la Correlación	Resultados
Correlación muy débil (0,00 a 0,19)	Tráfico V. vs SO ₂ (0.11) y Tráfico V. vs MP _{2.5} (0.18)
Correlación débil (0.20 a 0.39)	Trafico V. vs NO ₂ (0.27)
Correlación moderada (0.40 a 0.69)	Trafico V. vs CO (0.60), Trafico V. vs NO (0.43), Tráfico vs NO _x (0.42) y Tráfico V. vs O ₃ .
Correlación fuerte (0.70 a 0.89)	CO vs NO _x (0.82), CO vs NO (0.82), NO ₂ vs NO _x (0.78)
Correlación muy fuerte (0.90 a 1.00)	NO vs NO _x (0.95)

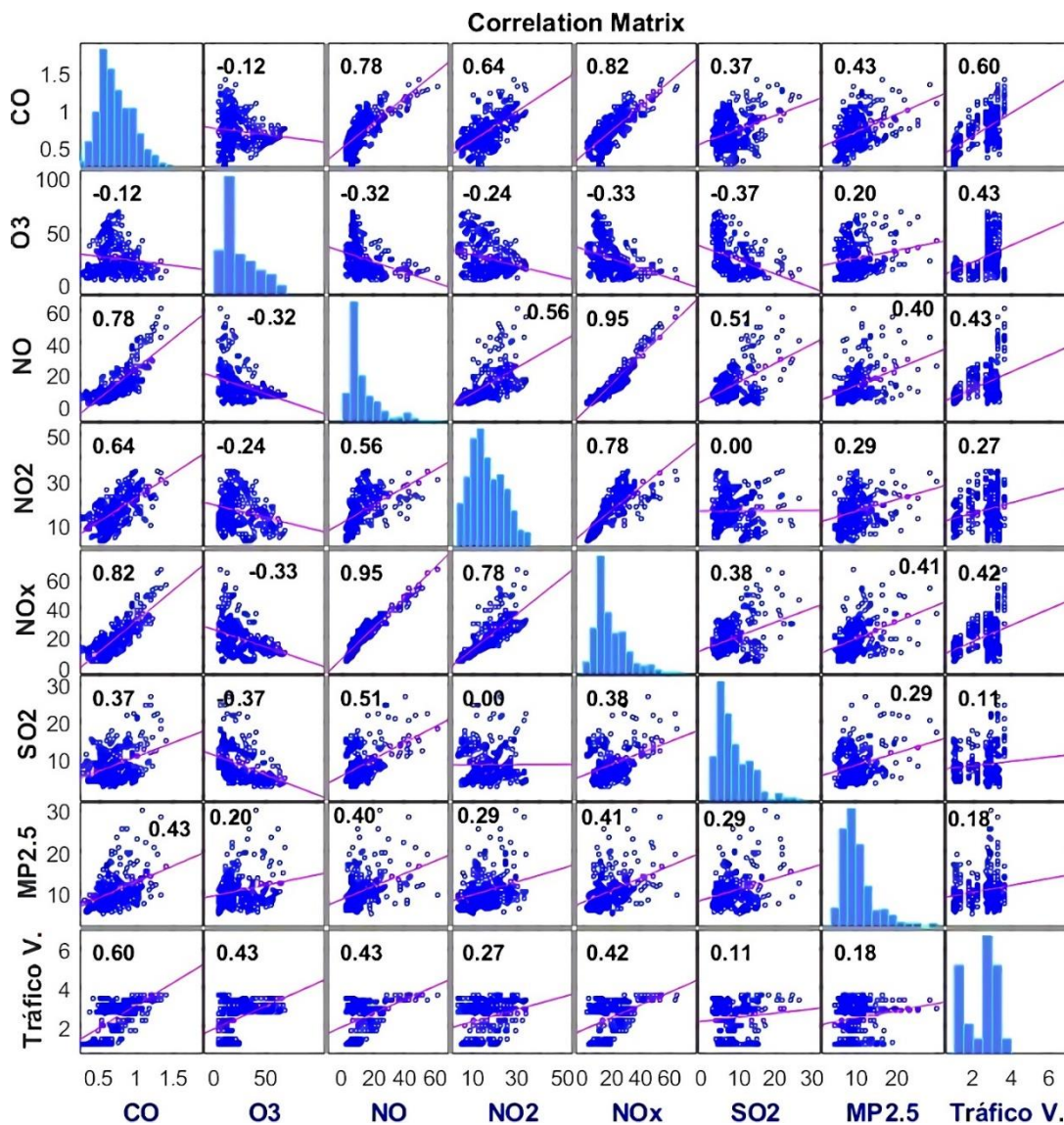


Figura 11. Matriz de correlación entre los gases contaminantes y el tráfico vehicular. Fuente: (Morocho & Valdez, 2018)

5.7. Análisis de la relación entre variables meteorológicas y gases contaminantes

En la Figura 12, se presenta la influencia de las variables meteorológicas sobre los gases contaminantes, en la cual se observa una correlación muy fuerte entre la radiación solar y el ozono troposférico de 0.90 lo que nos indica que este gas es mayoritariamente dependiente de la radiación solar (Morocho & Valdez, 2018).

En la Tabla 9, se presenta la correlación que existe entre el las variables meteorológicas y los gases contaminantes.

Tabla 9. Correlación entre variables meteorológicas y gases contaminantes. **Fuente:** Autores

Correlación muy débil (0,00 a 0,19)	T.A vs CO (-0.10), PA vs CO (0.07), H.R vs CO (0.04), V.V vs CO (0.07), P.A vs O ₃ (-0.13), T.A vs NO ₂ (-0.14), P.A vs NO ₂ (-0.15), V.V vs NO ₂ (-0.08), P.A vs NO _x (0.09), V.V vs NO _x (-0.19), T.A vs MP _{2.5} (-0.16), H.R vs MP _{2.5} (0.06), R.S vs MP _{2.5} (0.12), V.V vs MP _{2.5} (-0.15)
Correlación débil (0.20 a 0.39)	R.S vs CO (-0.21), T.A vs NO (-0.36), P.A vs NO (0.20), H.R vs NO (0.39), R.S vs NO (-0.25), V.V vs NO (-0.22), H.R vs NO ₂ (0.21), R.S vs NO ₂ (-0.36), T.A vs NO _x (-0.32), H.R vs NO _x (0.37), R.S vs NO _x (-0.31), H.R vs SO ₂ (0.39), R.S vs SO ₂ (-0.25), V.V vs SO ₂ (-0.38).
Correlación moderada (0.40 a 0.69)	V.V vs O ₃ (0.49), T.A vs SO ₂ (-0.53), P.A vs SO ₂ (0.54), P.A vs MP _{2.5} (0.40)
Correlación fuerte (0.70 a 0.89)	T.A vs O ₃ (0.78), H.R vs O ₃ (-0.83)
Correlación muy fuerte (0.90 a 1.00)	R.S vs O ₃ (0.90)

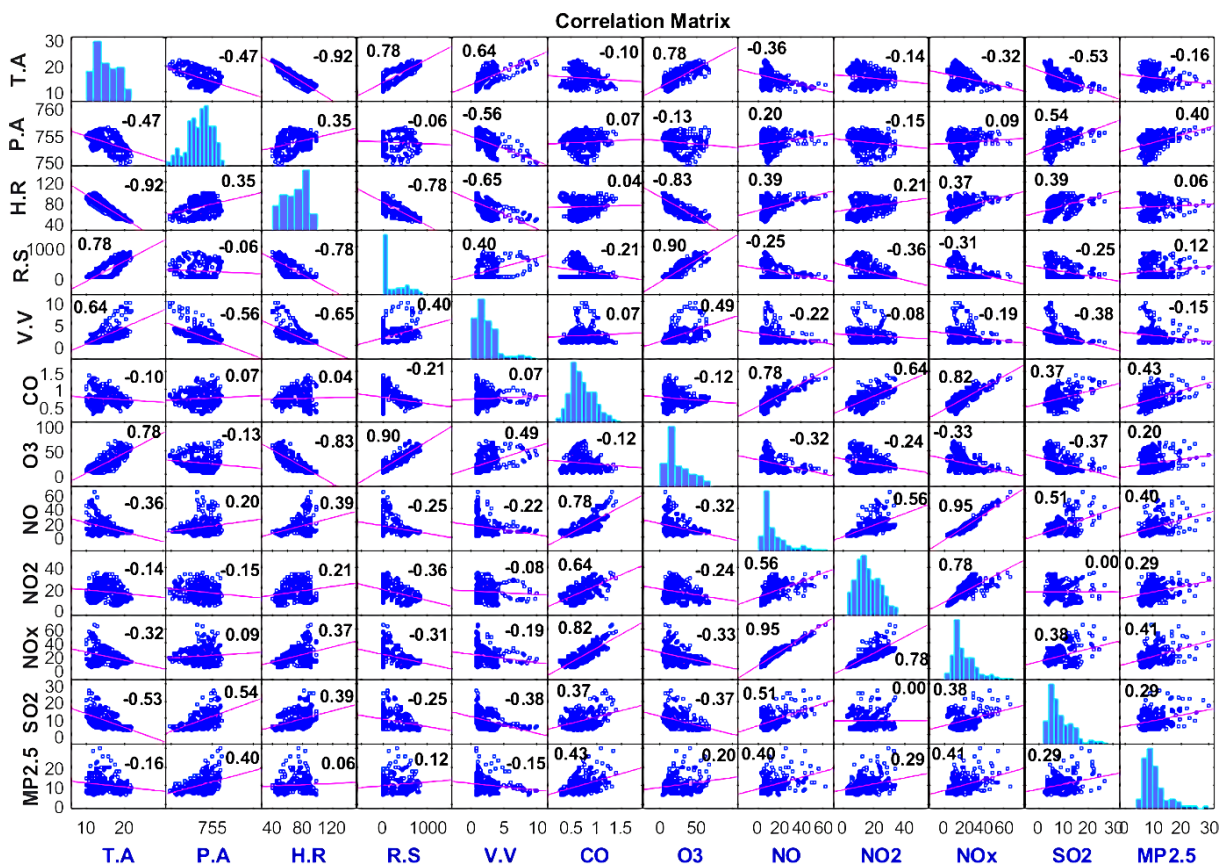


Figura 12. Matriz de correlación entre los gases contaminantes y variables Meteorológicas. **Fuente:** (Morochó & Valdez, 2018)

5.8. Obtención de datos de la Empresa de Movilidad EMOV EP

Para la adquisición de los datos se procede a descargar directamente de la página de la EMOV en formato .xlsx, posteriormente se establecerá los datos organizados en matrices para finalmente exportarlos al software matemático MATLAB ® para observar el comportamiento que obtienen cada una de las variables.

5.8.1. Ubicación el área del estudio: zona del Centro Histórico

La zona de aplicación de este proyecto de titulación se sitúa en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca, debido a que cuenta con una estación automática que mide las concentraciones de gases contaminantes en tiempo real. Seguidamente, se especifica la ubicación de la estación automática de la calidad del aire, esta se encuentra ubicada en la parte superior del edificio de la Alcaldía de Cuenca con las coordenadas siguientes: 2° 53' 50.45" S, 79° 0' 11.15" O aproximadamente, y utiliza la abreviatura MUN (Municipio) para referirse a la estación automática del centro histórico de la ciudad de Cuenca. (EMOV, 2019)

5.8.2. Variables que intervienen en el estudio

La calidad del aire en el centro histórico de la ciudad de Cuenca se ve influenciada por diferentes variables, como el caso del tráfico vehicular que se concibe en diferentes horas del día. Las variables que intervienen en este estudio se clasifican en: variables de entrada y variables de salida, el proceso se detalla en la Figura 13.



Figura 13. Proceso de análisis de datos. Fuente: Autores

5.8.3. Adquisición de datos de emisiones de gases contaminantes

Para la adquisición de los datos se procede a ingresar a la página de la EMOV, en ella se direcciona al apartado de Calidad del Aire, luego de ello se ingresa en el sistema de monitoreo de la calidad del aire, posterior a este paso se procede a ingresar al reporte de los valores horarios de los datos de la calidad del aire, finalmente se descarga los datos en formato .xlsx del periodo de enero-agosto de los años 2018, 2019 y 2020.

Además, se desarrolló una matriz con los datos adquiridos de cada uno de los gases contaminantes, tales como: Monóxido de Carbono (CO), Ozono Troposférico (O₃), Óxido de Nitrógeno (NO), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Óxidos Nitrosos (NO_x), Dióxido de Azufre (SO₂)

y Material Particulado menor a 2.5 micras (MP_{2.5}). La forma o plantilla como se desarrolló las matrices para cada uno de los gases contaminantes se aprecia en la Tabla 10.

Tabla 10. Plantilla para la matriz generada para la recolección de batos de los gases contaminantes. **Fuente:** Autores

	Día 1	Día 2	Día 3	Día n
Hora	(Gas cont.) (unidad)	(Gas cont.) (unidad)	(Gas cont.) (unidad)	(Gas cont.) (unidad)
01:00 am	-	-	-	-	-	-	-
02:00 am	-	-	-	-	-	-	-
03:00 am	-	-	-	-	-	-	-
04:00 am	-	-	-	-	-	-	-
...	-	-	-	-	-	-	-
...	-	-	-	-	-	-	-
...	-	-	-	-	-	-	-
10:00 pm	-	-	-	-	-	-	-
11:00 pm	-	-	-	-	-	-	-
12:00 pm	-	-	-	-	-	-	-

5.9. Análisis de la información

Según los boletines emitidos por la alcaldía de Cuenca en declaración al COE Nacional durante el periodo de enero a agosto del año 2020 en Cuenca se planteó la siguiente semaforización como se muestra en la Tabla 11, según los cambios en los horarios de toque de queda impuestos en el cantón Cuenca.

Tabla 11. Periodos de semaforización en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

COLOR SEMÁFORO	FECHA INICIO	FECHA FIN	TOQUE DE QUEDA	LUGAR
SIN RESTRICCIONES	01 de enero	16 de marzo	-	TE
SIN SEMÁFORO 1	17 de marzo	20 de marzo	21:00 a 5:00	TE
SIN SEMÁFORO 2	21 de marzo	24 de marzo	19:00 a 5:00	TE
SIN SEMÁFORO 3	25 de marzo	12 de abril	14:00 a 5:00	TE
ROJO	13 de abril	24 de mayo	14:00 a 5:00	Cuenca
AMARILLO 1	25 de mayo	30 de junio	21:00 a 5:00	Cuenca
AMARILLO 2	01 de julio	30 de julio	23:00 a 5:00 exp Quito de 21:00 a 5:00	Cuenca
AMARILLO 3	31 de julio	31 de agosto	lunes a jueves 21:00 a 5:00, viernes a domingo 19:00 a 5:00	Cuenca

5.9.1. Promedios diarios de CO, O₃, NO₂, SO₂ Y MP_{2.5} de enero a agosto 2018, 2019 y 2020

Se presenta el promedio diario de los gases contaminantes propuestos para este estudio desde el 1 de enero de 2020 hasta el 31 de agosto de 2020, en donde se muestra el comportamiento de cada gas en cuestión para cada uno de los días de la semana; cada uno de ellos toma un trayecto específico durante las 24 horas del día según los niveles de contaminación generados, lo cual permite destacar un cierto patrón de comportamiento común para los días de lunes a viernes, mientras que, para los fines de semana se obtiene una trayectoria notablemente diferente. El comportamiento antes mencionado se produce porque de forma general entre semana las personas producen mayor actividad comercial, educativa, entre otras, esta concentración se ve reflejada con mayor intensidad en el Centro histórico de la ciudad de Cuenca ya que la ciudad es mono centralizada y, por lo tanto, la mayor cantidad de actividades se desarrollan en dicha zona.

En el eje de las ordenadas se tendrá una escala de contaminación y en el eje de las abscisas las horas del día; esto permitirá identificar el comportamiento de los gases contaminantes promediados en cada día dentro de un mes específico, esto permitirá observar a qué horas se producirían los picos más altos y a qué horas se producirían los picos más bajos de contaminación.

5.9.1.1. Promedios diarios de CO de enero a agosto 2018, 2019 y 2020

En la Figura 14 se presenta el comportamiento del CO promedio de enero a agosto 2018, en donde se observa que los niveles pico máximos de contaminación pertenecen a los días martes, miércoles y jueves con valores de 1,5 mg/m³, mientras que en la Figura 15 se presenta el CO promedio de enero a agosto 2019 con máximos niveles de contaminación correspondientes a los días martes y viernes con valores de 1,68 mg/m³, finalmente en la Figura 16 se aprecia el comportamiento del CO promedio de enero a agosto 2020 en donde el día lunes es el que tiene el nivel pico máximo de contaminación, no superando el 1 mg/m³. Estos niveles son similares para las Figuras 14 y 15, mientras que para la Figura 16 existe una notable diferencia, esta es producida por las restricciones vehiculares impuestas por el COE nacional a causa del Covid-19.

Los niveles pico máximos antes mencionados siguen un patrón horario durante el día que corresponden en las mañanas entre las 8:00 y 9:00 horas, mientras que en la noche entre las 19:00 y 21:00 horas.

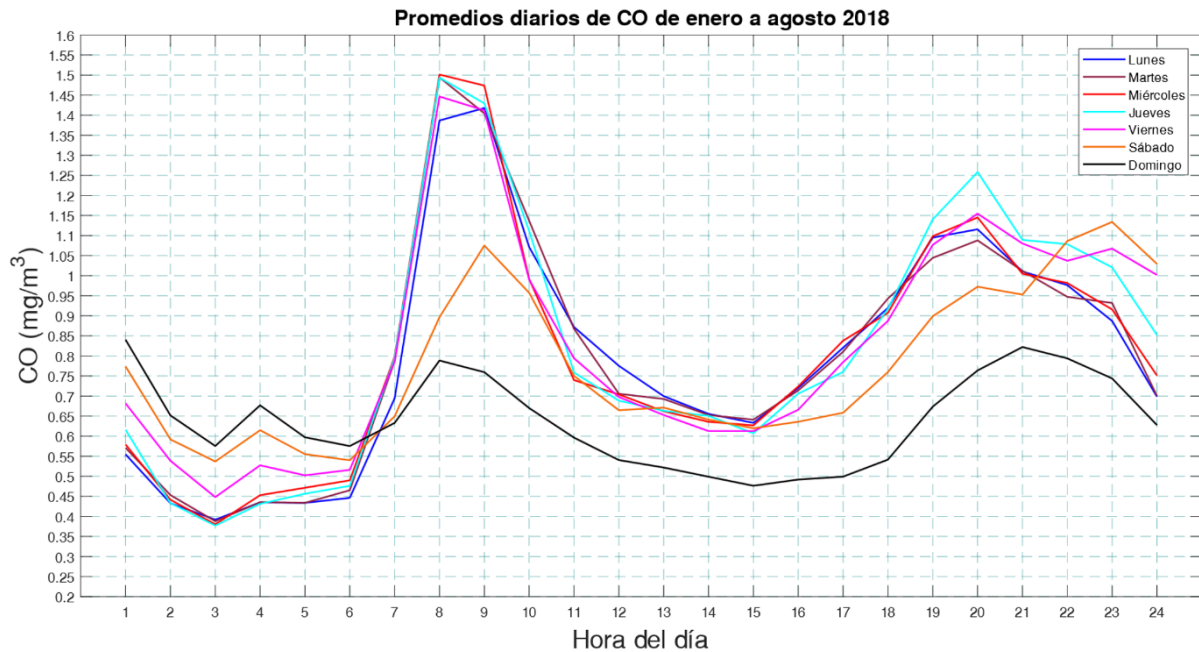


Figura 14. Promedios diarios de CO de enero a agosto 2018. Fuente: Autores

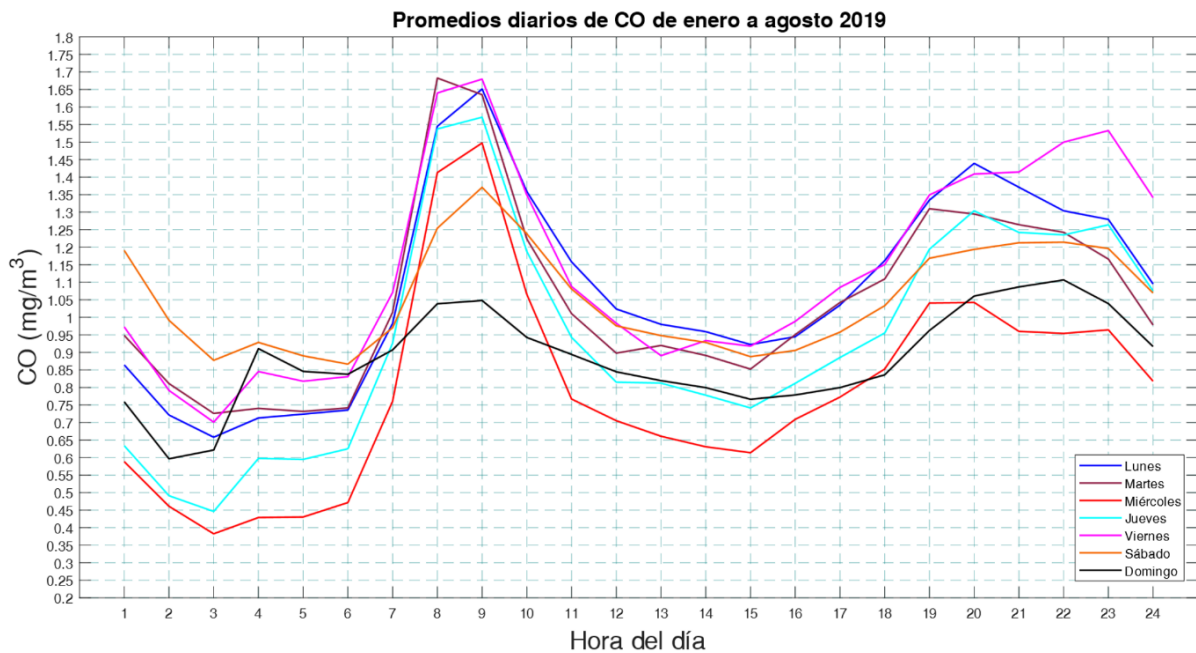


Figura 15. Promedios diarios de CO de enero a agosto 2019. Fuente: Autores

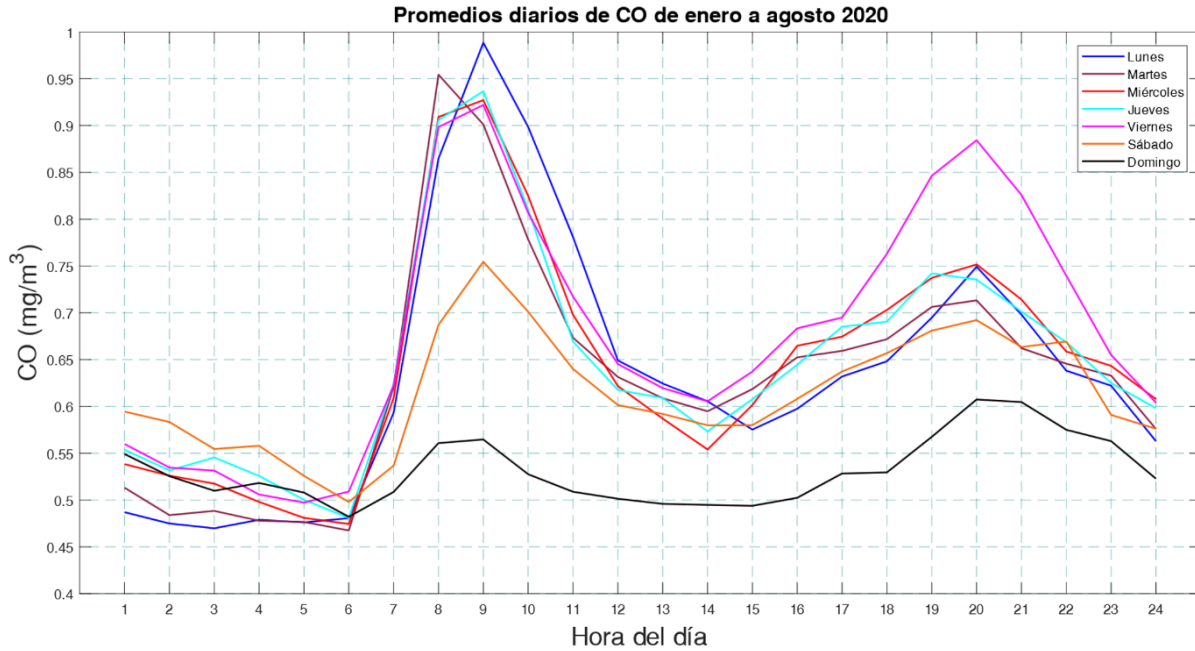


Figura 16. Promedios diarios de CO de enero a agosto 2020. Fuente: Autores

5.9.1.2. Promedios diarios de O₃ de enero a agosto 2018, 2019 y 2020

En la Figura 17 se presenta el comportamiento del O₃ promedio de enero a agosto 2018, en donde se evalúa que los niveles máximos de contaminación pertenecen al día sábado con valores de 90 ug/cm³, mientras que en la Figura 18 del O₃ promedio de enero a agosto 2019 estos niveles corresponde a los días viernes y domingo con valores de 82 ug/m³, finalmente en la Figura 19 del O₃ promedio de enero a agosto 2020 el día martes es el que tiene el nivel pico máximo de contaminación, no superando los 60 ug/m³. Los niveles pico máximos antes mencionados siguen un patrón horario durante el día que corresponden entre las 12:00 horas y 14:00 horas.

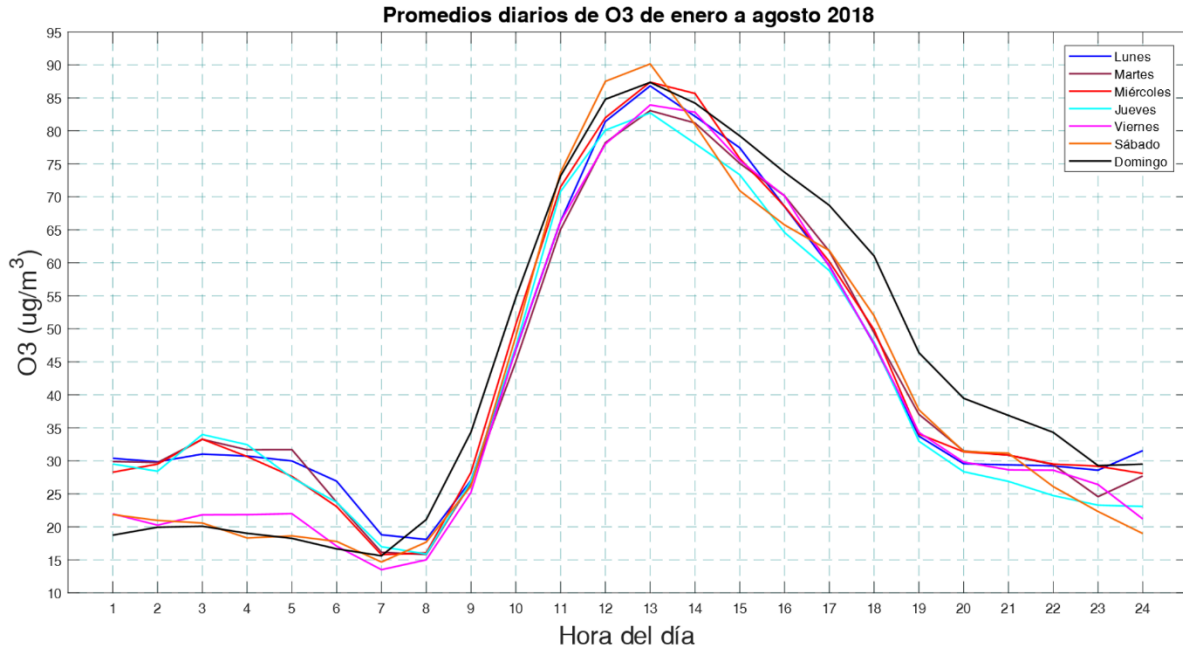


Figura 17. Promedios diarios de O₃ de enero a agosto 2018. **Fuente:** Autores

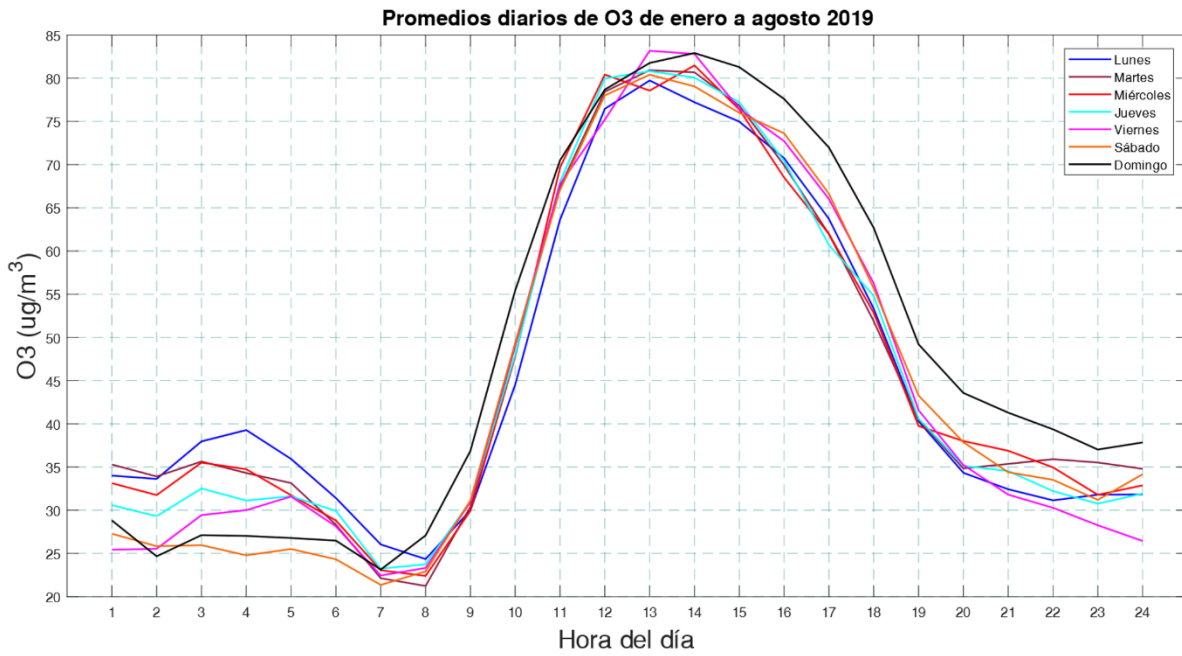


Figura 18. Promedios diarios de O₃ de enero a agosto 2019. **Fuente:** Autores

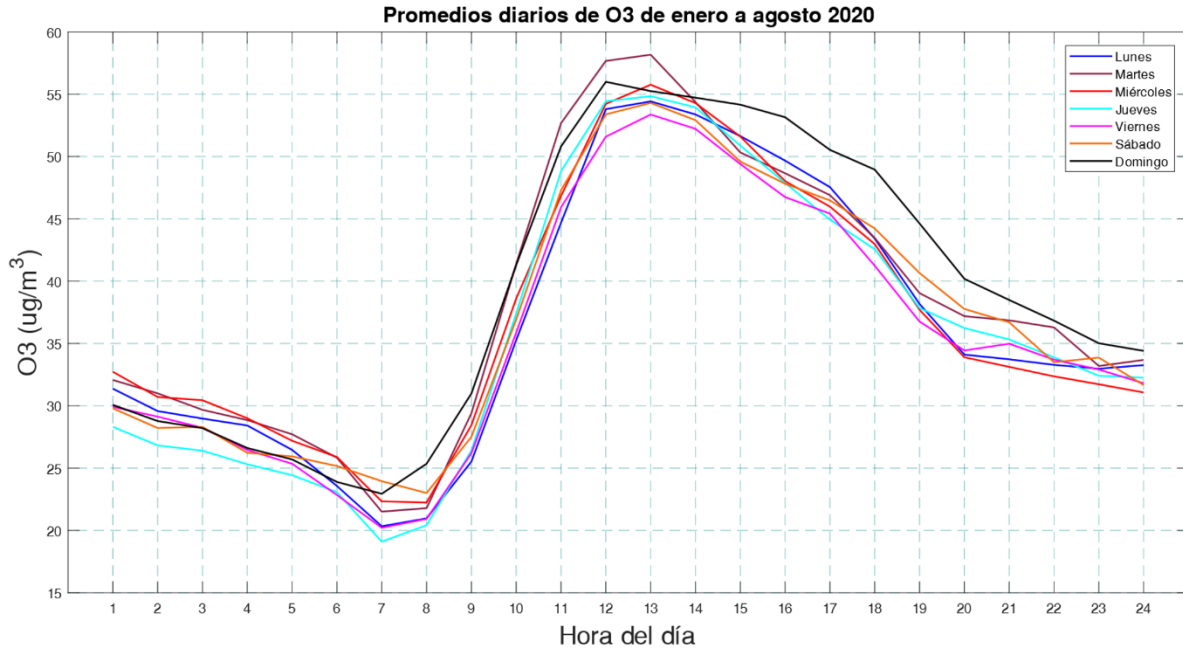


Figura 19. Promedios diarios de O₃ de enero a agosto 2020. Fuente: Autores

5.9.1.3. Promedios diarios de NO₂ de enero a agosto 2018, 2019 y 2020

En la Figura 20 se presenta el comportamiento del NO₂ promedio de enero a agosto 2018, en donde se observa que los niveles pico máximos de contaminación pertenecen al día miércoles con un valor de 55 ug/m³, mientras que en la Figura 21 del NO₂ promedio de enero a agosto 2019 estos niveles corresponde al día jueves con valores de 63 ug/m³, finalmente en la Figura 22 del NO₂ promedio de enero a agosto 2020 el día viernes es el que tiene el nivel pico máximo de contaminación, no superando los 30 ug/m³. Se evidencia que los niveles son similares para las Figuras 20 y 21, mientras que para la Figura 22 existe una notable diferencia, esta es producida por las restricciones vehiculares impuestas por el COE nacional a causa del Covid-19.

Los niveles máximos antes mencionados siguen un patrón horario durante el día que corresponden en las mañanas entre las 9:00 y 10:00 horas, mientras que en la noche entre las 19:00 y 20:00 horas.

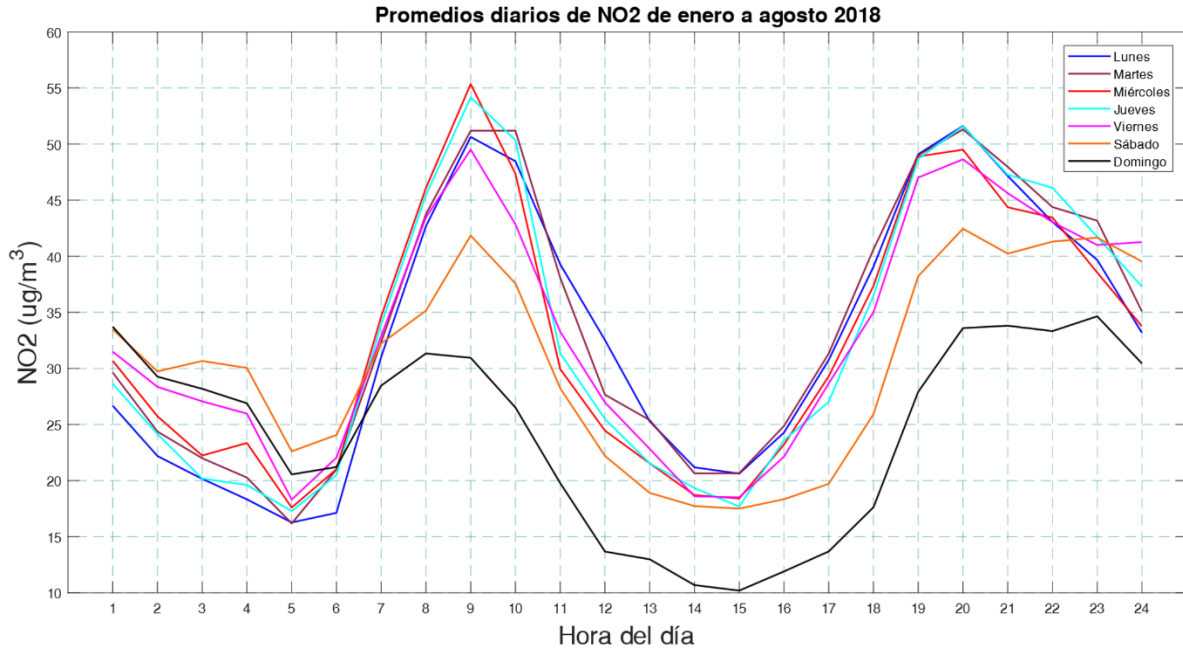


Figura 20. Promedios diarios de NO₂ de enero a agosto 2018. Fuente: Autores

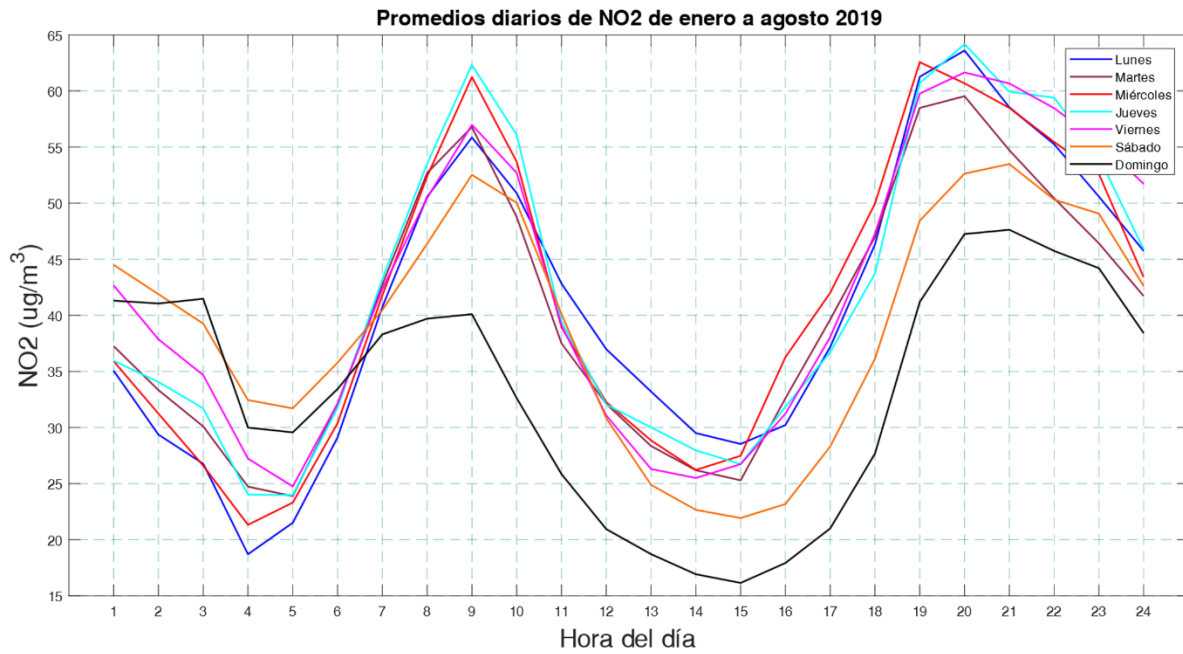


Figura 21. Promedios diarios de NO₂ de enero a agosto 2019. Fuente: Autores

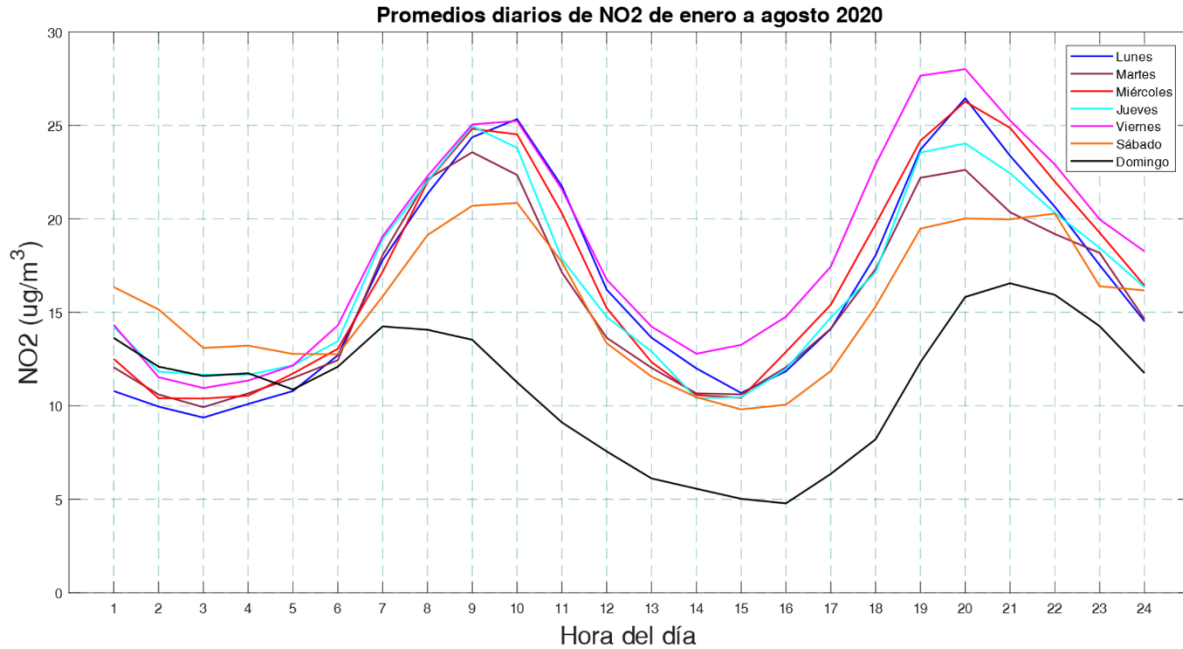


Figura 22. Promedios diarios de NO₂ de enero a agosto 2020. Fuente: Autores

5.9.1.4. Promedios diarios de SO₂ de enero a agosto 2018, 2019 y 2020

En la Figura 23 se presenta el comportamiento del SO₂ promedio de enero a agosto 2018, en donde se observa que los niveles pico de contaminación pertenecen a los días miércoles y viernes con valores de 55 ug/m³, mientras que en la Figura 24 del SO₂ promedio de enero a agosto 2019 estos niveles corresponde a los días viernes y sábado con valores de 56 ug/m³, finalmente en la Figura 25 del SO₂ promedio de enero a agosto 2020 el día martes es el que tiene el nivel pico máximo de contaminación, no superando los 15,5 ug/m³. Se evidencia que los niveles son similares para las Figuras 23 y 24, mientras que para la Figura 25 existe una notable diferencia, esta es producida por las restricciones vehiculares impuestas por el COE nacional a causa del Covid-19.

Los niveles pico antes mencionados siguen un patrón horario durante el día que corresponden a las 9:00 horas para las Figuras 23 y 24, mientras que para la Figura 25 se reduce una hora quedando el pico máximo a las 8:00 horas.

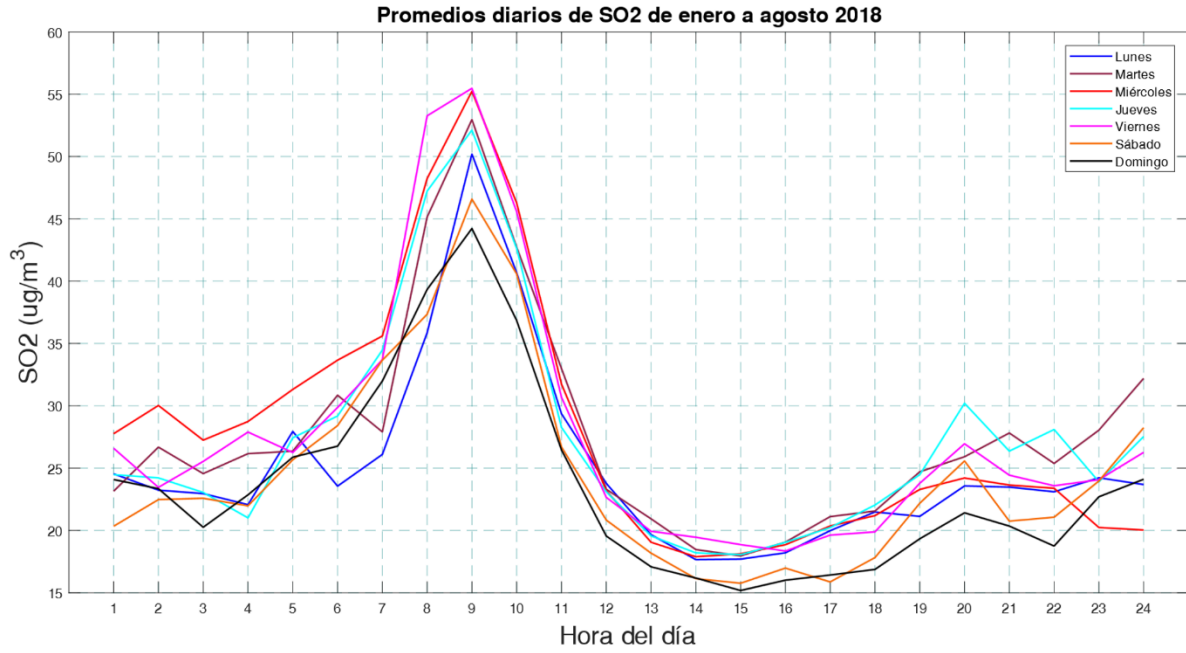


Figura 23. Promedios diarios de SO₂ de enero a agosto 2018. **Fuente:** Autores

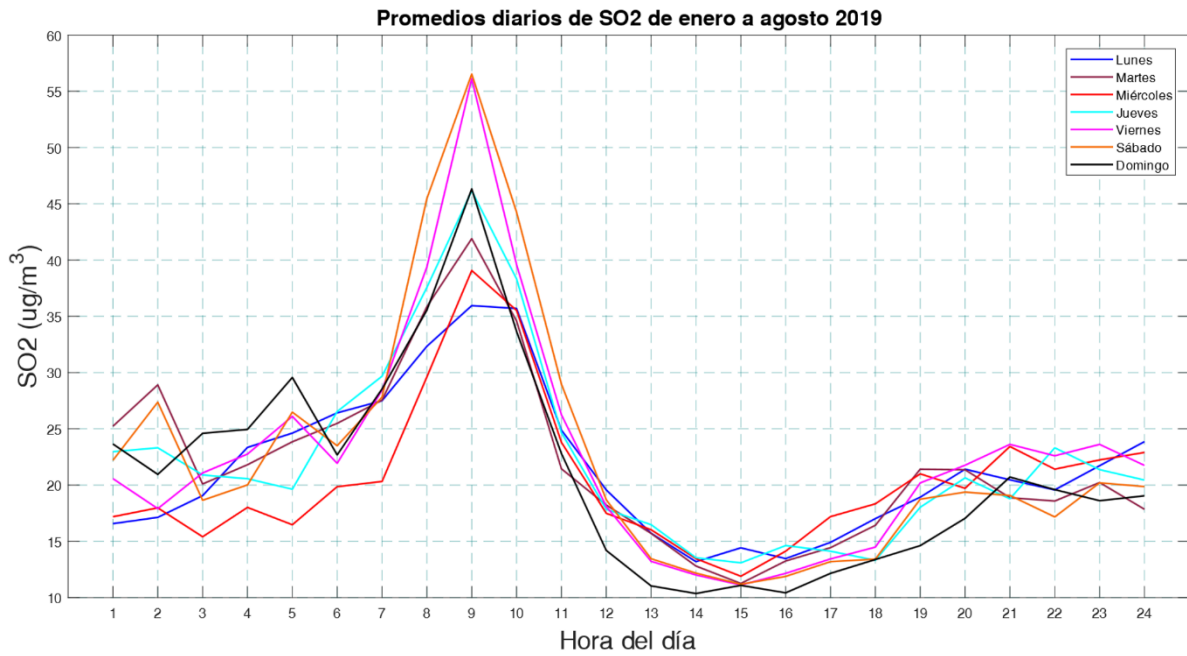


Figura 24. Promedios diarios de SO₂ de enero a agosto 2019. **Fuente:** Autores

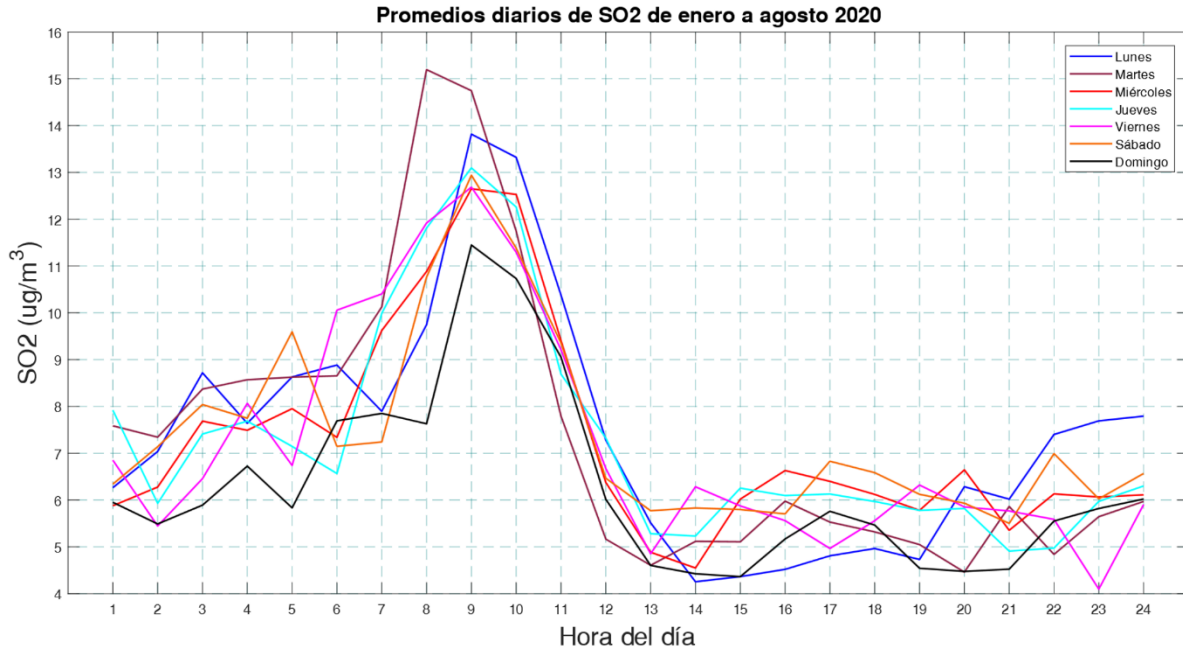


Figura 25. Promedios diarios de SO₂ de enero a agosto 2020. **Fuente:** Autores

5.9.1.5. Promedios diarios de MP_{2.5} de enero a agosto 2018, 2019 y 2020

En la Figura 26 se presenta el comportamiento del MP_{2.5} promedio de enero a agosto 2018, en donde se observa que los niveles pico máximos de contaminación pertenecen al día jueves con valor de 20 ug/m³, mientras que en la Figura 27 del MP_{2.5} promedio de enero a agosto 2019 estos niveles corresponde a los días viernes y sábado con valores de 20 ug/m³, finalmente en la Figura 28 del MP_{2.5} promedio de enero a agosto 2020 el día lunes es el que tiene el nivel pico máximo de contaminación, no superando los 17 ug/m³. Se evidencia que los niveles son similares para las Figuras 26 y 27, mientras que para la Figura 28 existe una notable diferencia, esta es producida por las restricciones vehiculares impuestas por el COE nacional a causa del Covid-19. Los niveles máximos antes mencionados siguen un patrón horario durante el día que corresponden entre las 10:00 y 12:00 horas.

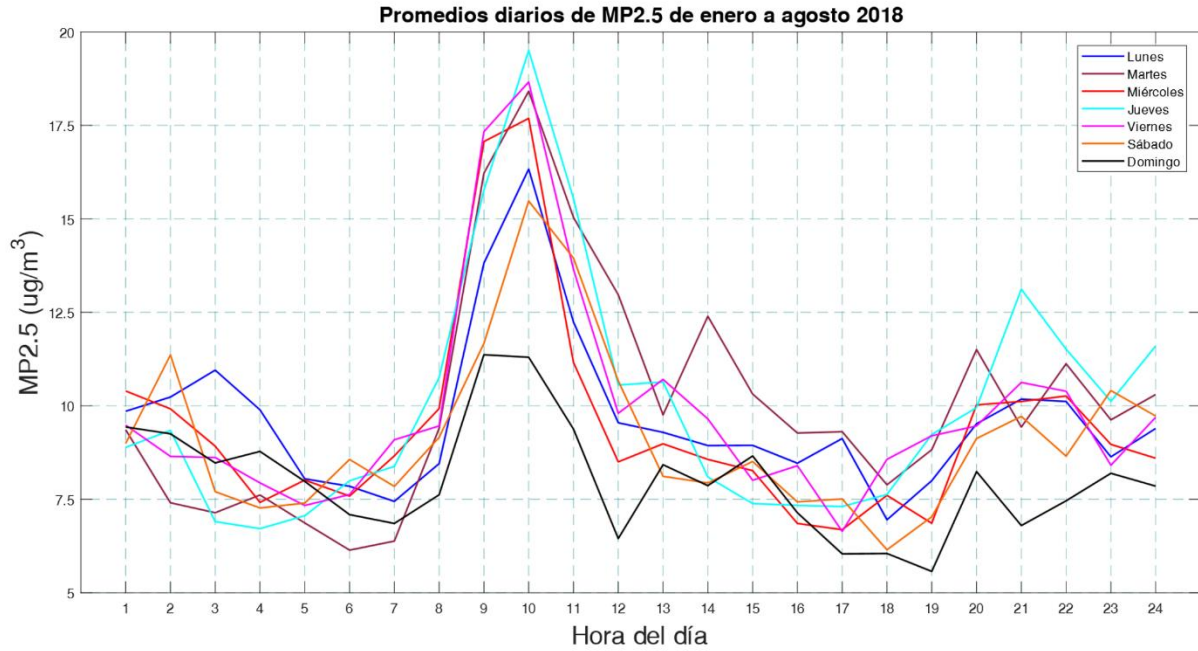


Figura 26. Promedios diarios de MP_{2.5} de enero a agosto 2018. Fuente: Autores

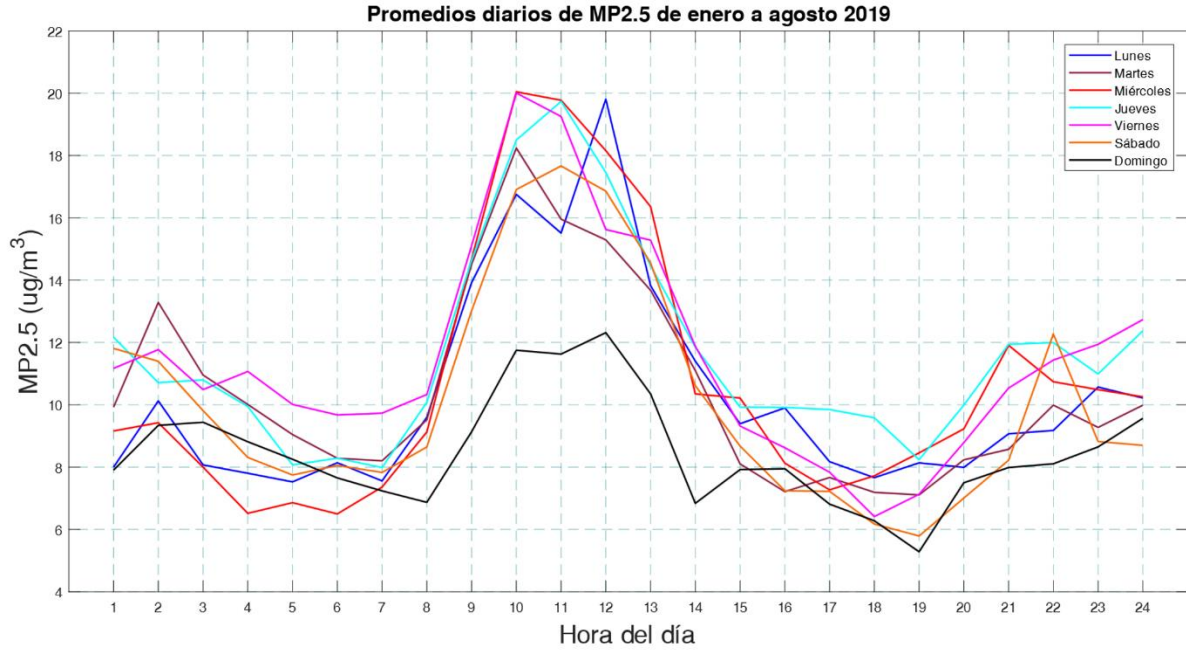


Figura 27. Promedios diarios de MP_{2.5} de enero a agosto 2019. Fuente: Autores

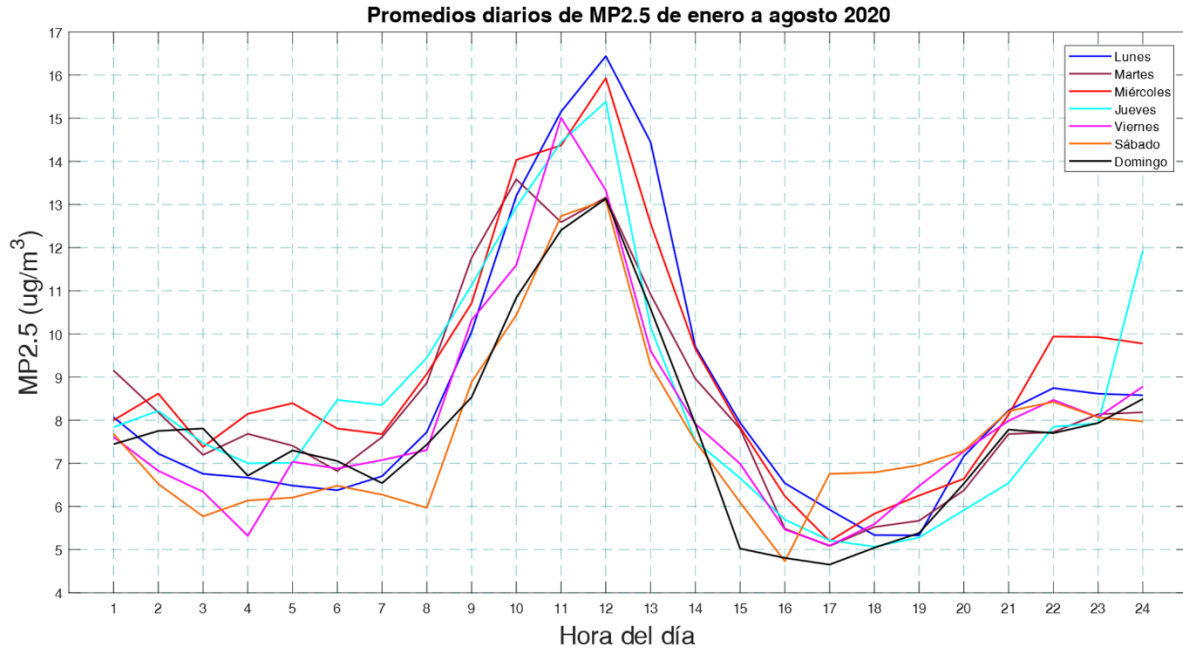


Figura 28. Promedios diarios de MP_{2.5} de enero a agosto 2020. **Fuente:** Autores

5.9.2. Promedios de CO, O₃, NO₂, SO₂ Y MP_{2.5} según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca

Se promediaron los días en esos periodos de tiempo para cada gas analizado en el año 2020, 2019 y 2018, tomando en cuenta que en los años 2019 y 2018 no existían semaforizaciones, esto con el fin de realizar una comparación entre los niveles de contaminación de los distintos gases contaminantes producidos entre los años mencionados.

5.9.2.1. Promedios de CO según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca

En las Figuras 29, 30 y 31 se establecen los promedios de CO para cada periodo de tiempo en el que cambió el horario de toque de queda y la semaforización en el cantón de Cuenca, en los cuales se observan los patrones trazados durante las 24 horas del día. En la Tabla 12 se presentan las áreas bajo la curva para cada periodo de tiempo de los tres años especificados, lo que permitirá comparar los niveles de contaminación entre ellos, identificando la efectividad de las restricciones de movilidad vehicular propuestas en el año 2020.

Tabla 12. Sumatoria de CO según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

SEMÁFORO	AÑO	ÁREA BAJO LA CURVA (mg/m ³)
Sin restricción	2018	18.2819
	2019	35.3406

	2020	13.2587
Sin semáforo 1	2018	18.9913
	2019	11.5654
	2020	7.4779
Sin semáforo 2	2018	22.7402
	2019	16.6248
	2020	7.7538
Sin semáforo 3	2018	19.4370
	2019	8.3518
	2020	13.3521
Semáforo rojo	2018	15.9841
	2019	16.1288
	2020	9.5579
Semáforo amarillo 1	2018	17.8169
	2019	18.8529
	2020	15.4912
Semáforo amarillo 2	2018	18.1508
	2019	17.7408
	2020	19.8205
Semáforo amarillo 3	2018	19.1589
	2019	20.3857
	2020	20.4924

Para el periodo de Sin restricciones el nivel de CO más bajo corresponde al año 2020, mientras que el nivel más alto corresponde al año 2019, para el periodo de Semáforo rojo y Semáforo amarillo 1 se produce el mismo comportamiento; para el periodo de Sin semáforo el nivel de CO más bajo corresponde al año 2020 y el más alto al año 2018; para el periodo de Sin semáforo 1 el nivel de CO más bajo corresponde al año 2019 y el más alto al 2020; para el periodo de Sin semáforo amarillo 2 el nivel de CO más bajo corresponde al 2019 y el más alto al 2020; para el periodo de Sin semáforo amarillo 3 el nivel de CO más bajo corresponde al 2018 y el más alto al 2020.

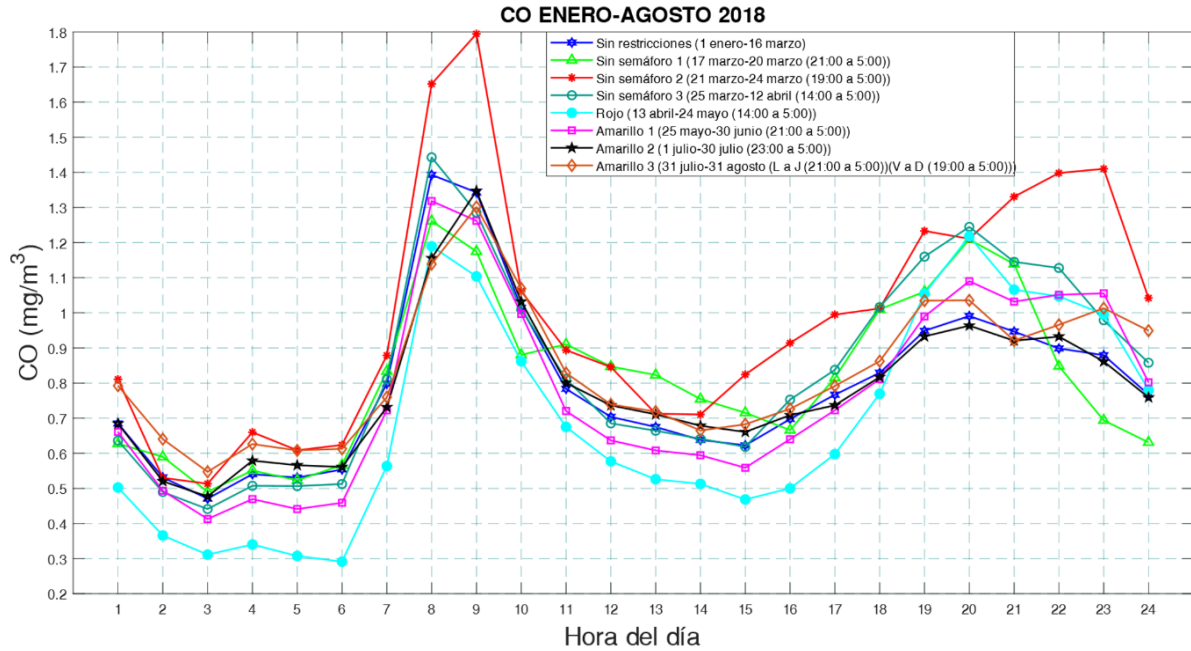


Figura 29. Promedios de CO enero-agosto 2018 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

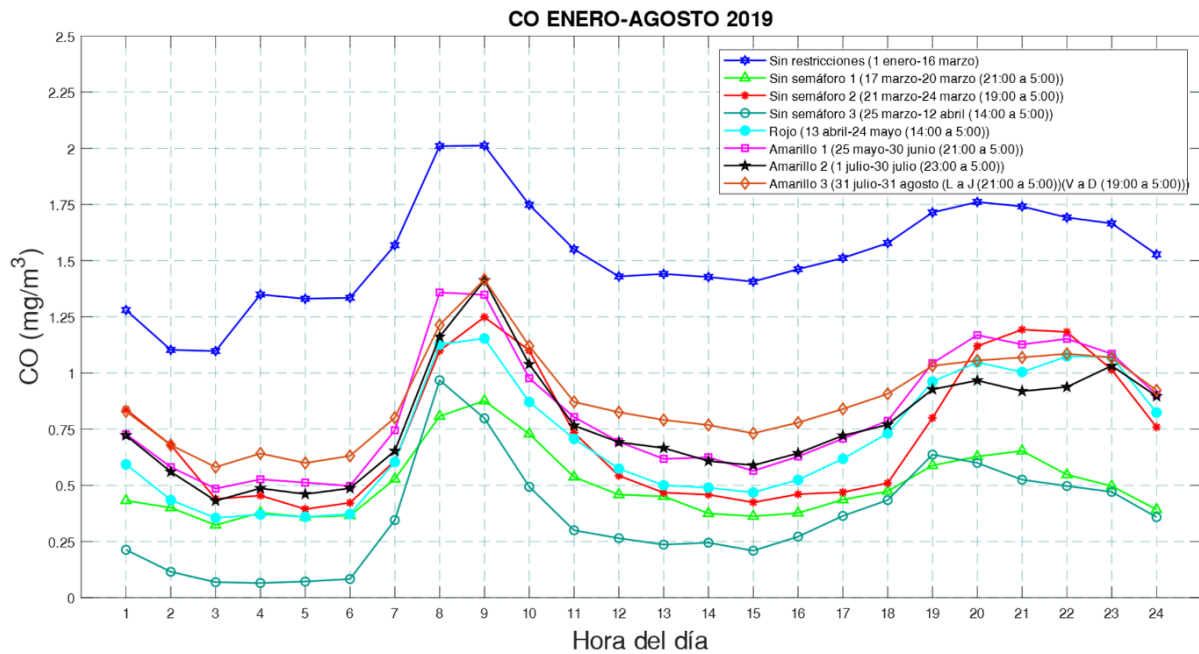


Figura 30. Promedios de CO enero-agosto 2019 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

En la Figura 31 se evidencia la efectividad de las restricciones propuestas según los niveles contaminantes expulsados hacia la atmósfera para el CO, de esta manera, para el periodo Sin semáforo 1 se tienen los niveles más bajos de contaminación debido a la aparición de la

emergencia sanitaria del coronavirus, en donde se producen las primeras restricciones de movilidad de los vehículos y peatones permitida únicamente con la portación de un salvoconducto, para fines tales como la adquisición de productos de primera necesidad, medicamentos y casos de atención médica, traslado hacia el lugar de trabajo solo en casos excepcionales (salud, seguridad, emergencias, etc.) ya que se encontraba con suspensión total de la jornada laboral presencial en el sector público y privado; durante este periodo se aplicó la restricción vehicular de par e impar según los días de la semana alternándose, por lo tanto, las personas permanecían la mayor parte del tiempo en sus casas y cumplían las acotaciones propuestas por Gobierno Nacional para el estado de excepción implantado en el país.

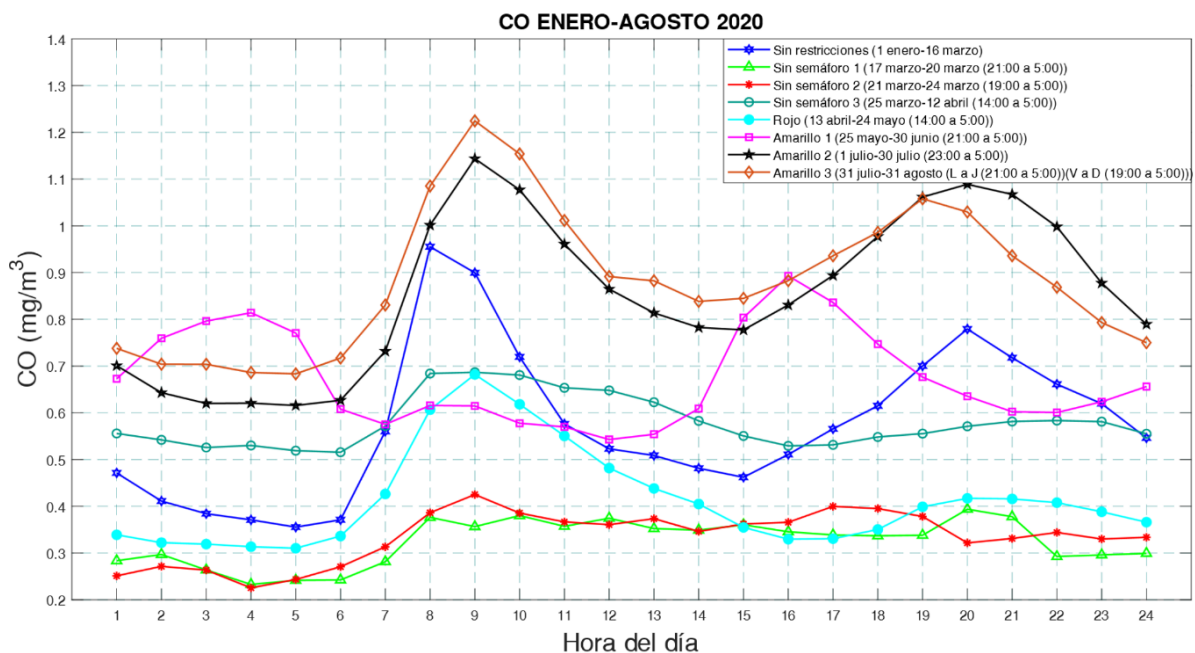


Figura 31. Promedios de CO enero-agosto 2020 según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. Fuente: Autores

5.9.2.2. Promedios de O₃ según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca

En las Figuras 32, 33 y 34 se establecen los promedios de O₃ para cada periodo de tiempo en el que cambió el horario de toque de queda y la semaforización en el cantón de Cuenca, en los cuales se observan los patrones trazados durante las 24 horas del día. En la Tabla 13 se presentan las áreas bajo la curva para cada periodo de tiempo de los tres años especificados, lo que permitirá comparar los niveles de contaminación entre ellos.

La emisión del ozono troposférico según Morocho y Valdez es independiente del tráfico vehicular y es un 0,90 proporcional a la radiación solar, produciéndose variaciones de este gas según los cambios que se tengan en la radiación emitida por el sol.

Tabla 13. Sumatoria de O₃ según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

SEMÁFORO	AÑO	ÁREA BAJO LA CURVA (ug/m³)
Sin restricción	2018	1210.4
	2019	987.59
	2020	815.7676
Sin semáforo 1	2018	1313
	2019	1266.2
	2020	1171.9
Sin semáforo 2	2018	1167.7
	2019	827.3419
	2020	1215.5
Sin semáforo 3	2018	1119.7
	2019	1058.7
	2020	1034.4
Semáforo rojo	2018	615.77
	2019	887.7788
	2020	746.66
Semáforo amarillo 1	2018	682.0325
	2019	960.9551
	2020	780.1865
Semáforo amarillo 2	2018	1031.2
	2019	1028.9
	2020	861.8041
Semáforo amarillo 3	2018	1103.7
	2019	1647.7
	2020	971.7713

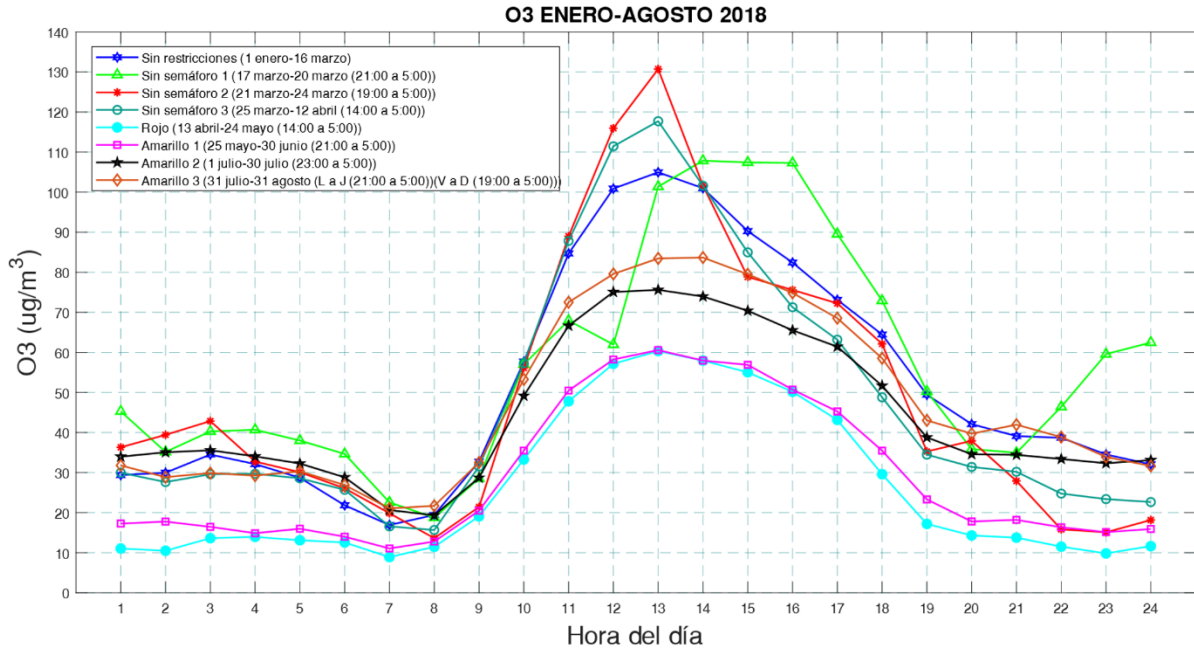


Figura 32. Promedios de O₃ enero-agosto 2018 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

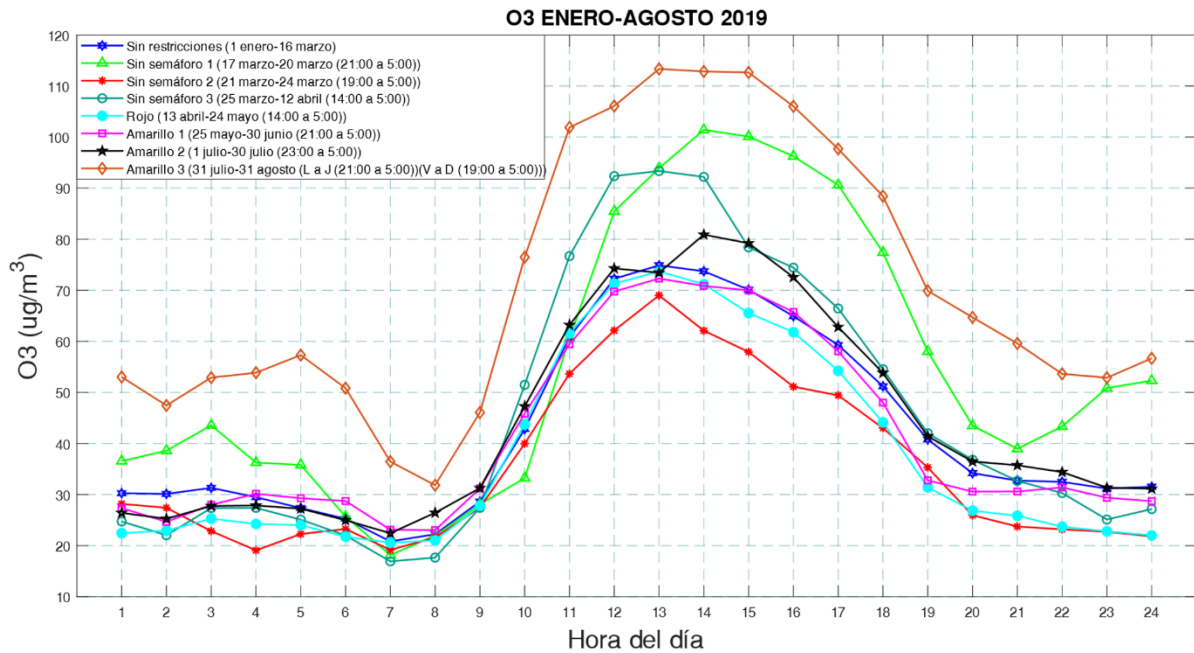


Figura 33. Promedios de O₃ enero-agosto 2019 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

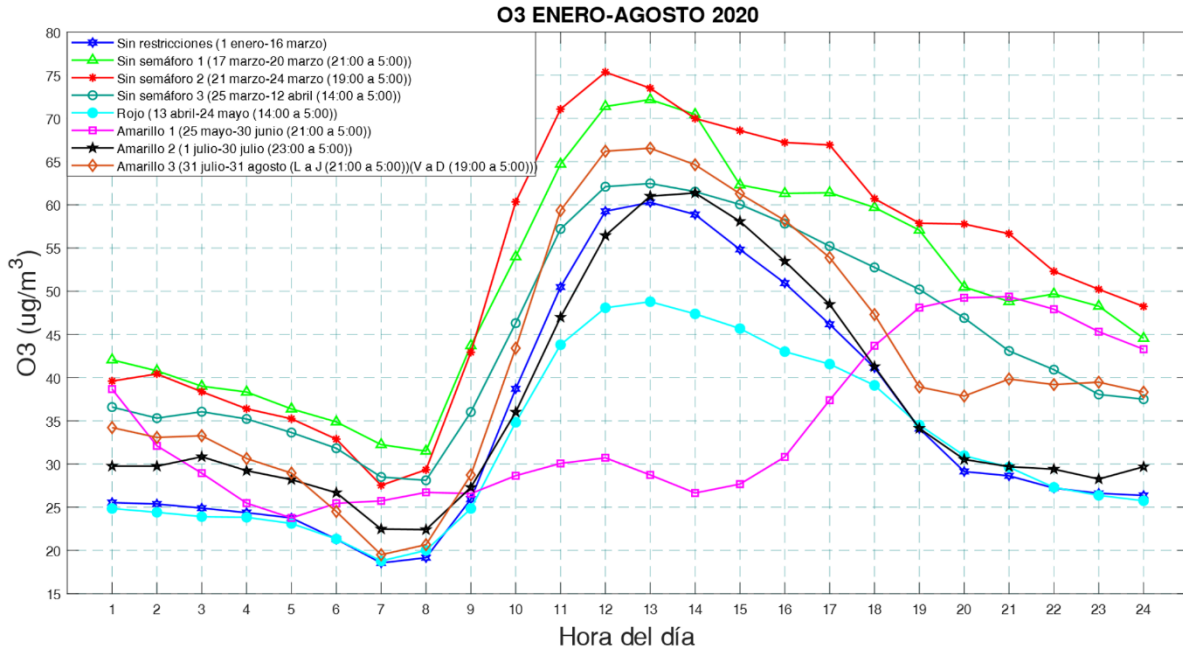


Figura 34. Promedios de O₃ enero-agosto 2020 según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. Fuente: Autores

5.9.2.3. Promedios de NO₂ según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca

En las Figuras 35, 36 y 37 se establecen los promedios de NO₂ para cada periodo de tiempo en el que cambió el horario de toque de queda y la semaforización en el cantón de Cuenca, en los cuales se observan los patrones trazados durante las 24 horas del día. En la Tabla 14 se presentan las áreas bajo la curva para cada periodo de tiempo de los tres años especificados, lo que permitirá comparar los niveles de contaminación entre ellos, identificando la efectividad de las restricciones de movilidad vehicular propuestas en el año 2020.

Tabla 14. Sumatoria de NO₂ según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. Fuente: Autores

SEMÁFORO	AÑO	ÁREA BAJO LA CURVA (ug/m ³)
Sin restricción	2018	780.7395
	2019	197.4757
	2020	477.5070
Sin semáforo 1	2018	978.5107
	2019	1027.5
	2020	125.5404
Sin semáforo 2	2018	1169
	2019	1076.4
	2020	88.7596
Sin semáforo 3	2018	924.1787
	2019	930.4491

	2020	139.7146
Semáforo rojo	2018	747.4905
	2019	837.0442
	2020	179.9379
	2020	603.5522
Semáforo amarillo 1	2018	603.5522
	2019	918.7193
	2020	352.5712
	2020	464.9385
Semáforo amarillo 2	2018	464.9385
	2019	970.1634
	2020	491.8515
	2020	697.6406
Semáforo amarillo 3	2018	697.6406
	2019	1184.6
	2020	425.8209
	2020	425.8209

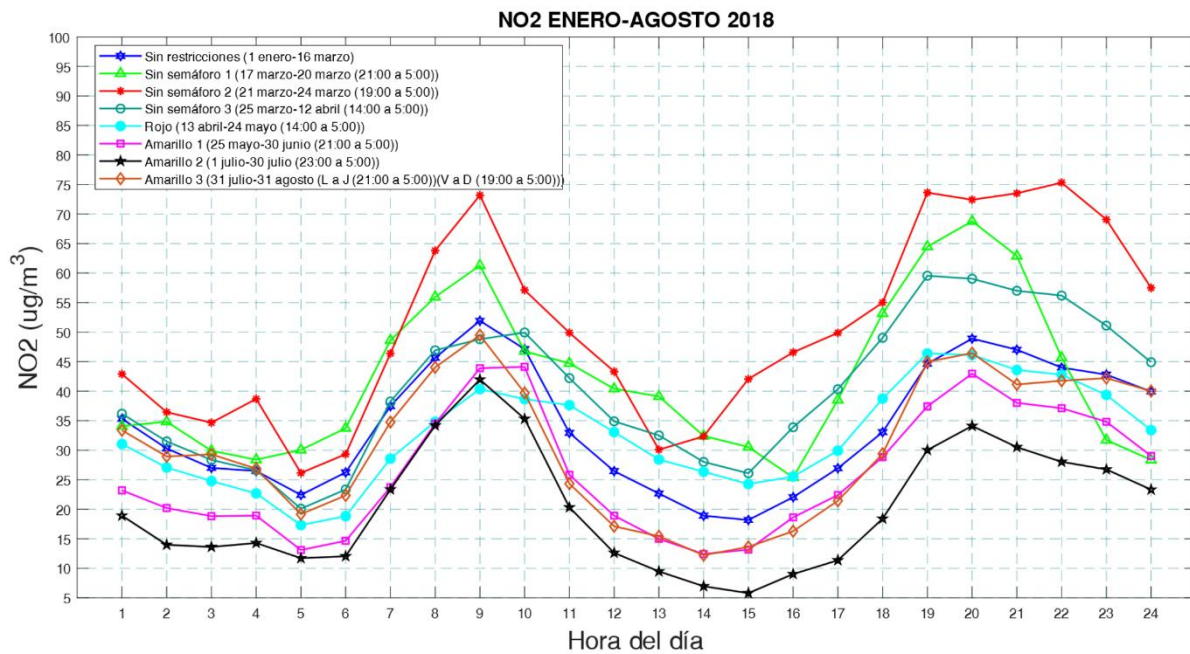


Figura 35. Promedios de NO₂ enero-agosto 2020 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

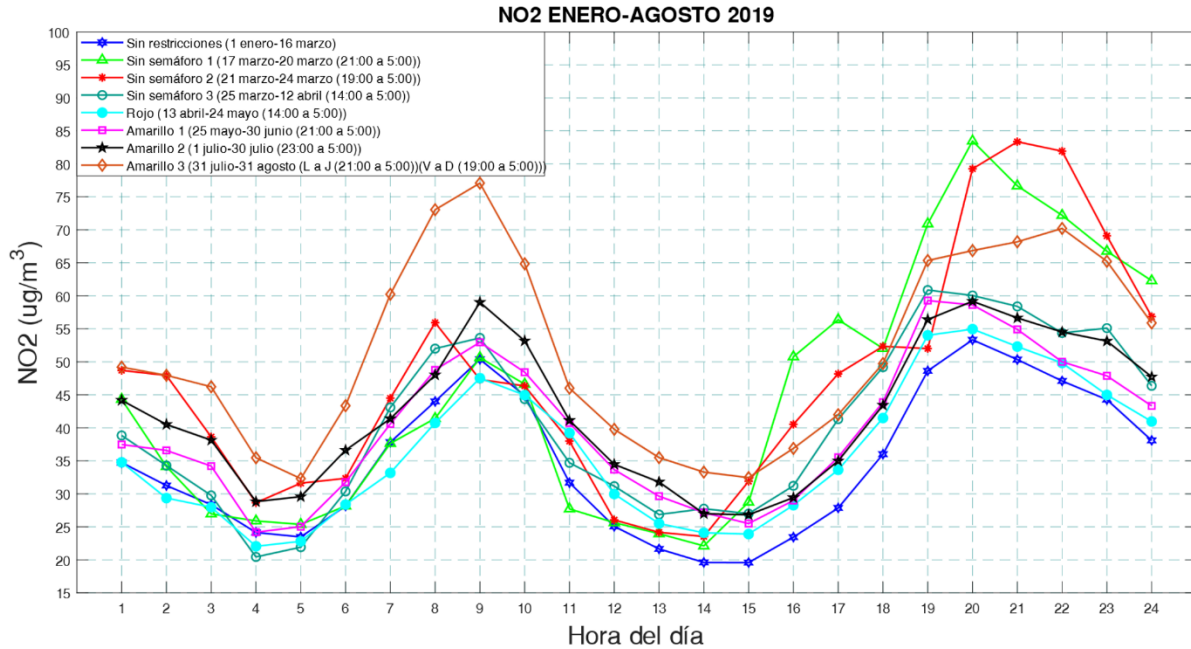


Figura 36. Promedios de NO₂ enero-agosto 2018 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

Los niveles de NO₂ mostrados en la Figura 37 son los generados en el periodo de enero-agosto del año 2020, en la cual se muestra al periodo Sin semáforo 2 quien tiene los niveles más bajos de contaminación debido a que eran los primeros ocho días de confinamiento emitiéndose las primeras restricciones de movilidad y el Semáforo amarillo 2 quien tiene los niveles más altos de contaminación debido a la normalización de las actividades comerciales e industriales flexibilizándose el horario de toque de queda desde las 23:00 horas hasta las 5:00 horas.

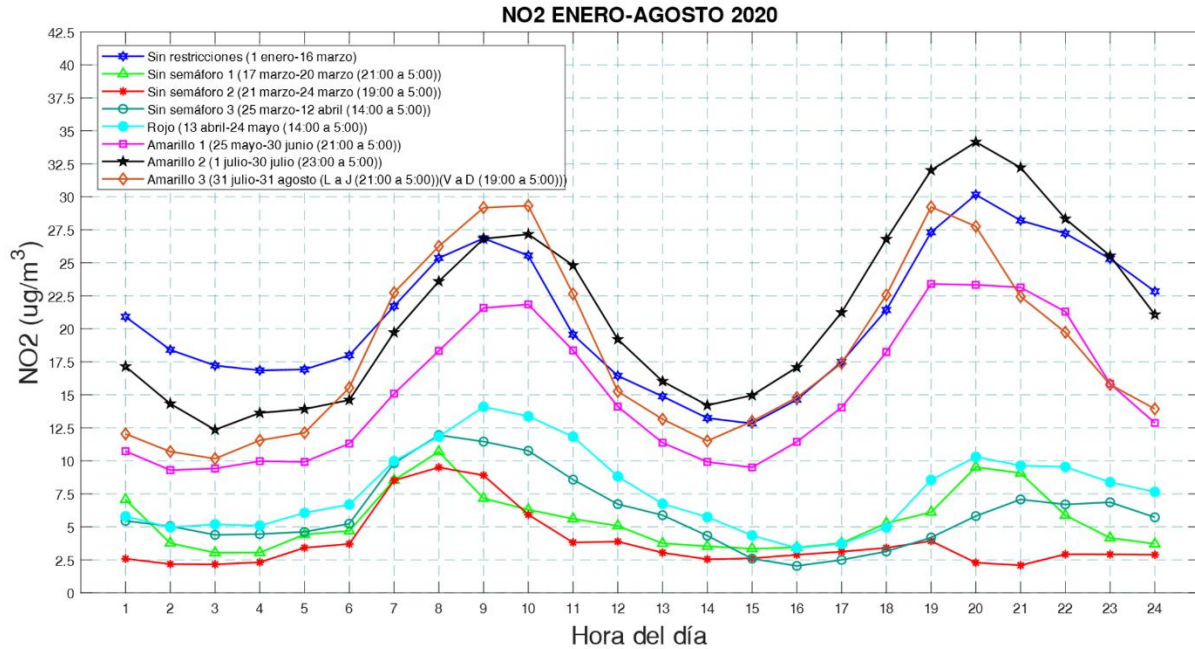


Figura 37. Promedios de NO₂ enero-agosto 2020 según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

5.9.2.4. Promedios de SO₂ según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca

En las Figuras 38, 39 y 40 se establecen los promedios de SO₂ para cada periodo de tiempo en el que cambió el horario de toque de queda y la semaforización en el cantón de Cuenca, en los cuales se observan los patrones trazados durante las 24 horas del día. En la Tabla 15 se presentan las áreas bajo la curva para cada periodo de tiempo de los tres años especificados, lo que permitirá comparar los niveles de contaminación entre ellos, identificando la efectividad de las restricciones de movilidad vehicular propuestas en el año 2020.

Tabla 15. Sumatoria de SO₂ según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

SEMÁFORO	AÑO	ÁREA BAJO LA CURVA (ug/m ³)
Sin restricción	2018	438.3919
	2019	519.0073
	2020	182.7731
Sin semáforo 1	2018	481.2601
	2019	501.0679
	2020	81.6944
Sin semáforo 2	2018	555.3876
	2019	569.2851
	2020	82.1557
Sin semáforo 3	2018	449.3689
	2019	477.6598

	2020	127.0776
Semáforo rojo	2018	477.7740
	2019	468.7165
	2020	85.2301
	2018	897.5254
Semáforo amarillo 1	2019	505.8689
	2020	185.3292
	2018	847.6165
Semáforo amarillo 2	2019	579.2276
	2020	206.2615
	2018	693.7033
Semáforo amarillo 3	2019	423.3622
	2020	201.7484

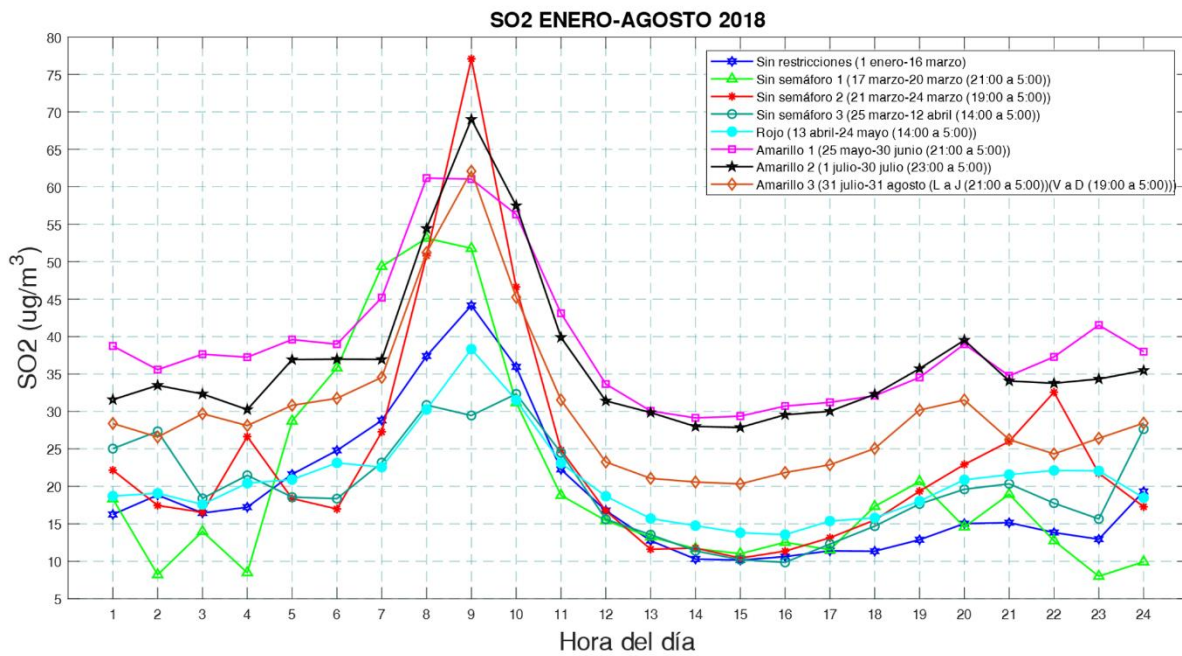


Figura 38. Promedios de SO₂ enero-agosto 2018 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

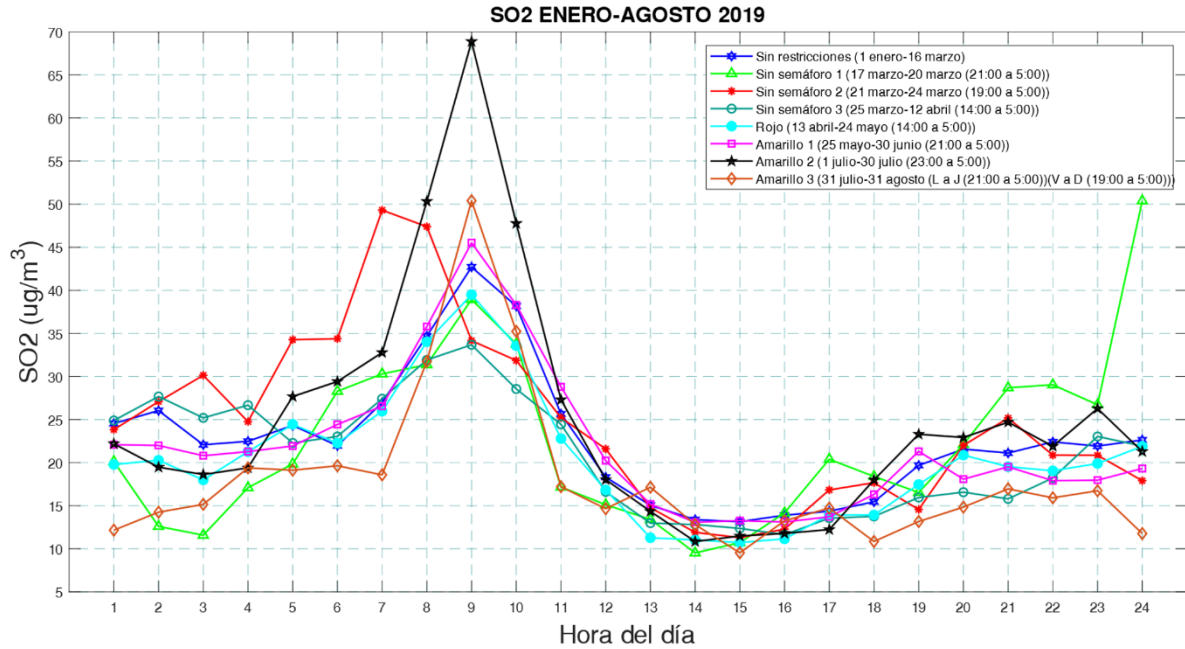


Figura 39. Promedios de SO₂ enero-agosto 2019 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

Los niveles de SO₂ mostrados en la Figura 40 reflejan el comportamiento de este gas contaminantes durante cada periodo de confinamiento teniendo al periodo Sin semáforo 1 con los niveles de contaminación más bajos debido al reciente decreto del confinamiento a causa de la emergencia sanitaria, y al Semáforo amarillo 2 con los niveles más altos de contaminación debido a la flexibilización en los horarios de queda y restricciones de movilidad, debido al retorno a la normalidad.

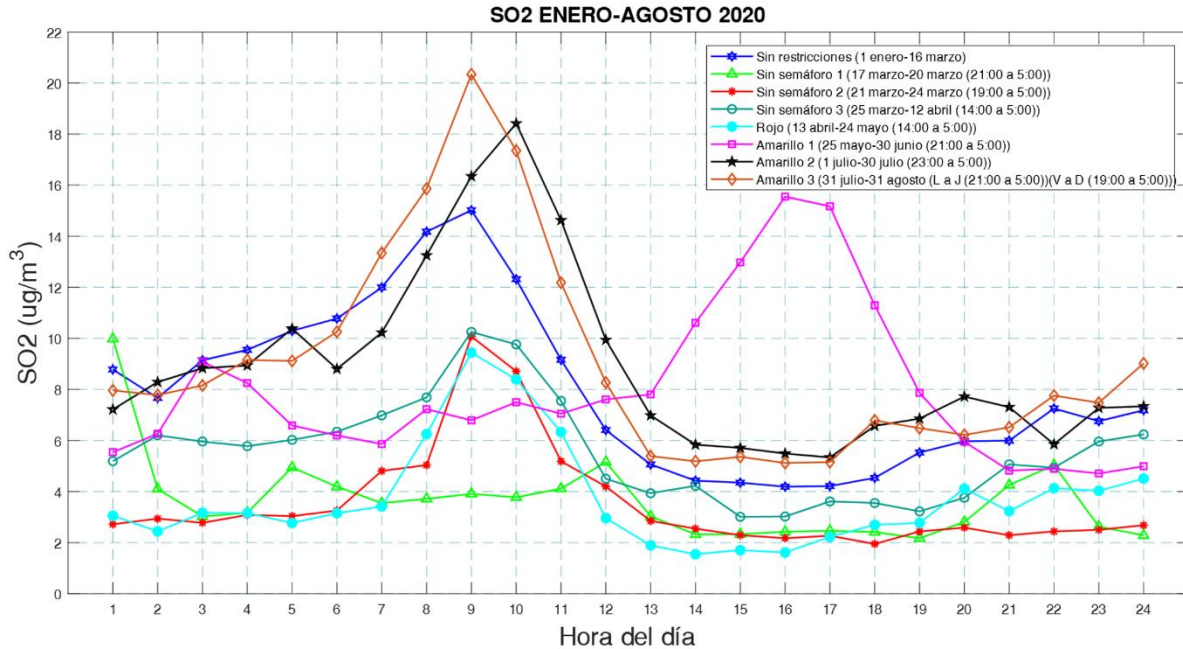


Figura 40. Promedios de SO₂ enero-agosto 2020 según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

5.9.2.5. Promedios de MP_{2.5} según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca

En las Figuras 41, 42 y 43 se establecen los promedios de MP_{2.5} para cada periodo de tiempo en el que cambió el horario de toque de queda y la semaforización en el cantón de Cuenca, en los cuales se observan los patrones trazados durante las 24 horas del día. En la Tabla 16 se presentan las áreas bajo la curva para cada periodo de tiempo de los tres años especificados, lo que permitirá comparar los niveles de contaminación entre ellos, identificando la efectividad de las restricciones de movilidad vehicular propuestas en el año 2020.

Tabla 16. Sumatoria de MP_{2.5} según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

SEMÁFORO	AÑO	ÁREA BAJO LA CURVA (ug/m ³)
Sin restricción	2018	267.8795
	2019	237.6265
	2020	233.2111
Sin semáforo 1	2018	237.7259
	2019	293.1763
	2020	185.1958
Sin semáforo 2	2018	223.7071
	2019	207.9394
	2020	316.5010
Sin semáforo 3	2018	181.1268
	2019	229.7715

	2020	195.8944
Semáforo rojo	2018	197.2251
	2019	215.5131
	2020	128.8066
	2018	190.6441
Semáforo amarillo 1	2019	221.6497
	2020	130.5431
	2018	185.6986
Semáforo amarillo 2	2019	224.6193
	2020	185.7484
	2018	201.1017
Semáforo amarillo 3	2019	324.5849
	2020	219.6972

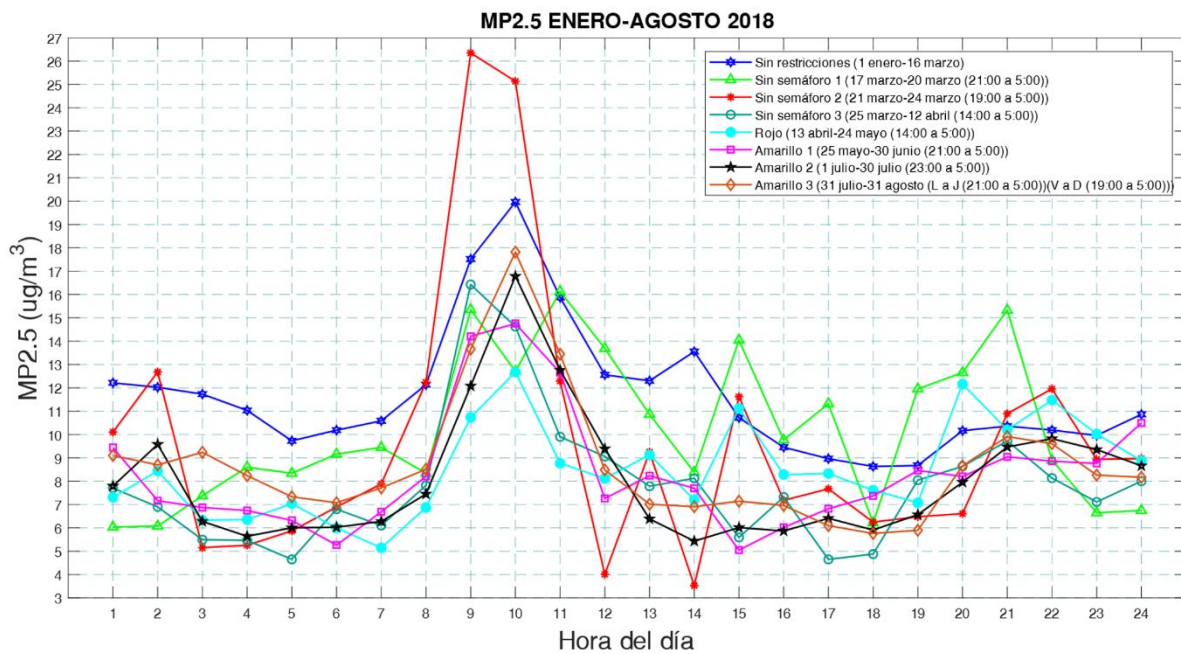


Figura 41. Promedios de MP_{2.5} enero-agosto 2018 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca.

Fuente: Autores

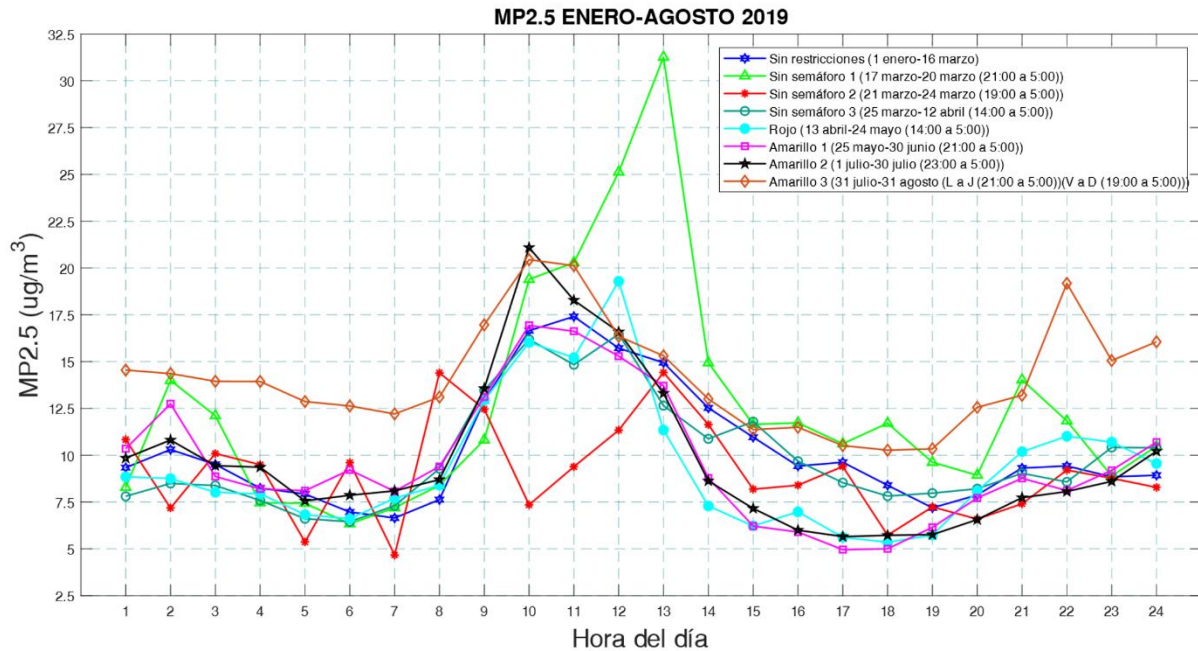


Figura 42. Promedios de MP_{2.5} enero-agosto 2019 según los periodos de semaforización del 2020 en el cantón Cuenca.
Fuente: Autores

En los niveles de MP_{2.5} mostrados en la Figura 43, se observa que para el periodo de Semáforo rojo se tienen los niveles más bajos de contaminación debido al estricto horario de toque de queda propuesto en dicho periodo, en el cual estaba restringida la movilidad vehicular y peatonal desde las 14:00 horas hasta las 5:00 horas, en contraste el periodo de Semáforo amarillo 2 es quién tiene los niveles más altos de contaminación debido a flexibilización en el horario de toque de queda en donde las personas salían con mayor frecuencia.

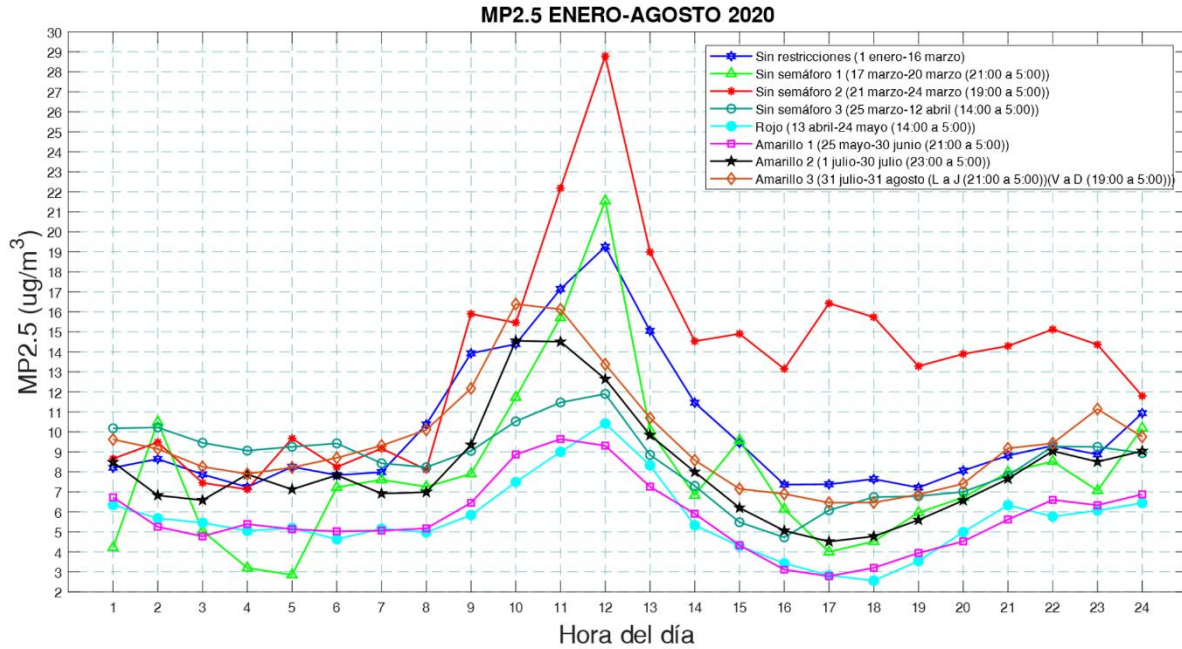


Figura 43. Promedios de MP_{2.5} enero-agosto 2020 según los periodos de semaforización en el cantón Cuenca. **Fuente:** Autores

5.9.3. Crecimiento del promedio de los gases contaminantes según semaforización en el año 2020

En la Figura 44 se representa el comportamiento o crecimiento del gas contaminante en cuestión, basándose en la sumatoria progresiva de las áreas bajo la curva del vector tratado y muestra el promedio de los gases contaminantes para cada fase de confinamiento dentro de una escala de 0 a 24 horas, basándose en la semaforización que contiene los diferentes horarios de toque de queda impuestos por el COE cantonal de la ciudad de Cuenca.

A continuación, se presenta en la Tabla 17 los resultados de las fases de confinamiento que causaron mayor y menor contaminación, dando a entender la efectividad de la restricción de movilidad correspondiente a cada periodo de semaforización.

Tabla 17. Crecimiento mayor y menor del promedio de los gases contaminantes según semaforización en el año 2020. **Fuente:** Autores

Gases contaminantes	Crecimiento mayor	Crecimiento menor
CO	Amarillo 3	Sin semáforo 1 y Sin semáforo 2
O ₃	Sin semáforo 2	Rojo y Amarillo 1
NO ₂	Sin restricciones y Amarillo 2	Sin semáforo 1 y Sin semáforo 2
SO ₂	Amarillo 2 y Amarillo 3	Sin semáforo 1 y Rojo
MP _{2.5}	Sin semáforo 2	Rojo y Amarillo 1

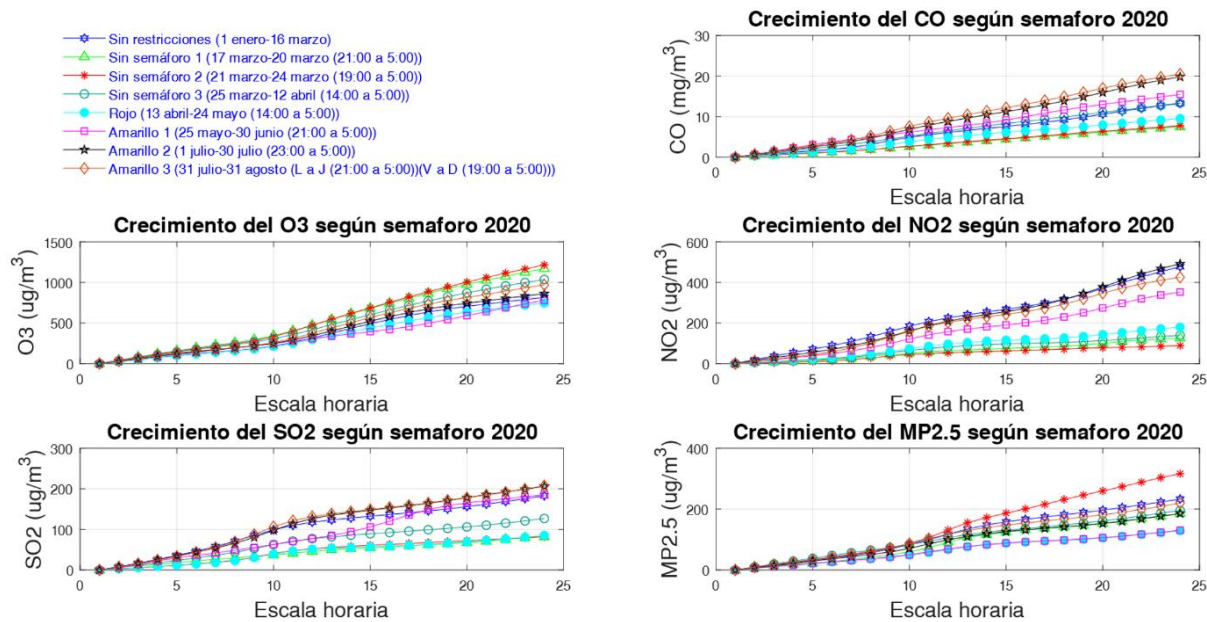


Figura 44. Crecimiento del promedio de los gases contaminantes según semaforización en el año 2020. **Fuente:** Autores

5.9.4. Comparación anual de los gases contaminantes basados en las fechas de semaforización

A continuación, se muestran los promedios de los gases contaminantes para cada periodo de tiempo durante la semaforización para el año 2020, mientras que para los años 2018 y 2019 se promediaron estos mismos periodos de tiempo únicamente con el objetivo de obtener una comparación del comportamiento de los niveles contaminantes entre estos años. Para una mayor apreciación del comportamiento de los gases contaminantes. Se trazan dos líneas verticales las cuales están etiquetadas con las iniciales ITQ que se refieren al inicio del toque de queda y con las iniciales FTQ que se refieren al final del toque de queda, durante cada periodo de confinamiento analizado.

5.9.4.1. Sin restricciones del 01 de enero al 16 de marzo

En la Figura 45 se aprecia el comportamiento de los gases contaminantes durante el periodo Sin restricciones que fue del 01 de enero al 16 de marzo; en este periodo de tiempo aún no se implantaban restricciones de ninguna índole, ya que la pandemia del coronavirus aún no llegó a el país.

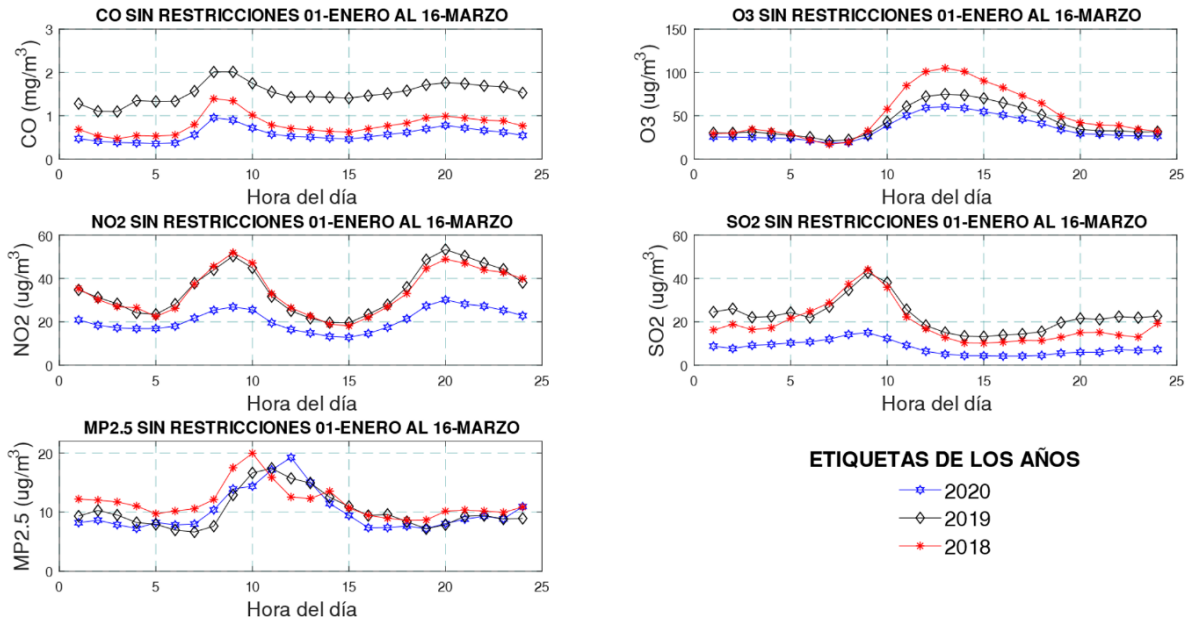


Figura 45. Periodo sin restricciones del 01 de enero al 16 de marzo. Fuente: Autores

5.9.4.2. Sin semáforo 1 del 17 de marzo al 20 de marzo

En la Figura 46 se aprecia el comportamiento de los gases contaminantes durante el periodo Sin semáforo 1 que fue del 17 de marzo al 20 de marzo; el horario de toque de queda aplicado en este periodo fue de 21:00 horas a 5:00 horas; durante este periodo de confinamiento empiezan a implantarse las primeras restricciones de movilidad de los vehículos y peatones permitida únicamente con la portación de un salvoconducto, para fines tales como la adquisición de productos de primera necesidad y medicamentos, cuidado de adultos mayores, personas con discapacidad y enfermedades graves, traslado hacia el lugar de trabajo y casos de atención medica; durante este periodo se aplicó la restricción vehicular como sigue: los días lunes, miércoles, viernes y domingo circulaban los vehículos con placa impar, de la misma forma los días martes, jueves y sábado circulaban los vehículos con placa par y cero, como consecuencia de esta restricción los niveles contaminantes durante este periodo del año 2020 se vieron afectados, para el CO, NO₂ y SO₂ los niveles son los más bajos comparados con los dos años anteriores y para el MP_{2.5} mantiene un perfil menor parecido al de sus similares. En el caso del O₃ no se observa un cambio considerable respecto a los años 2018 y 2019 al no ser este un gas directamente dependiente de la movilización vehicular.

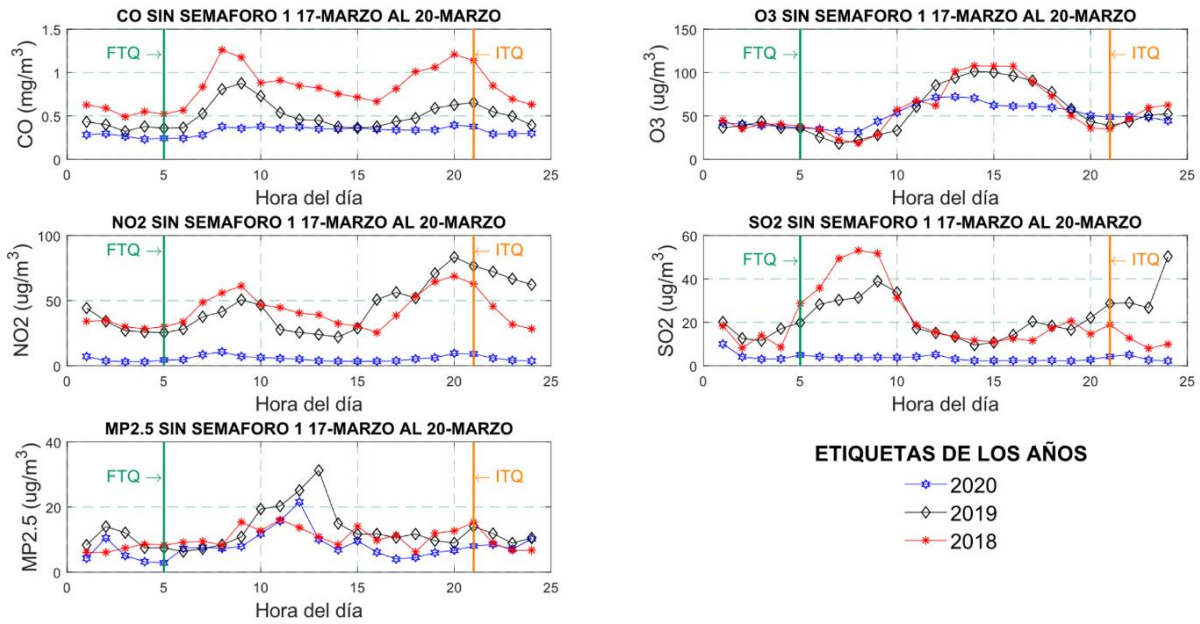


Figura 46. Periodo sin semáforo 1 del 17 de marzo al 20 de marzo. Fuente: Autores

5.9.4.3. Sin semáforo 2 del 21 de marzo al 24 de marzo

En la Figura 47 se observa el comportamiento de los gases contaminantes durante el periodo Sin semáforo 2 que fue del 21 de marzo al 24 de marzo; durante este periodo de confinamiento se mantienen las restricciones de movilidad vehicular igual que en el periodo anterior, sin embargo, el horario de toque de queda se modificó empezando este a las 19:00 horas y terminando a las 5:00 horas, como consecuencia de este nuevo cambio de horario en el toque de queda se ven alterados también los niveles de contaminación durante este nuevo periodo de tiempo. Así para los gases de CO, NO₂, SO₂ el comportamiento tiene pocas fluctuaciones con tendencia lineal, mientras que para el MP_{2.5} entre el ITQ y el FTQ se alcanzan niveles altos semejantes al de sus similares.

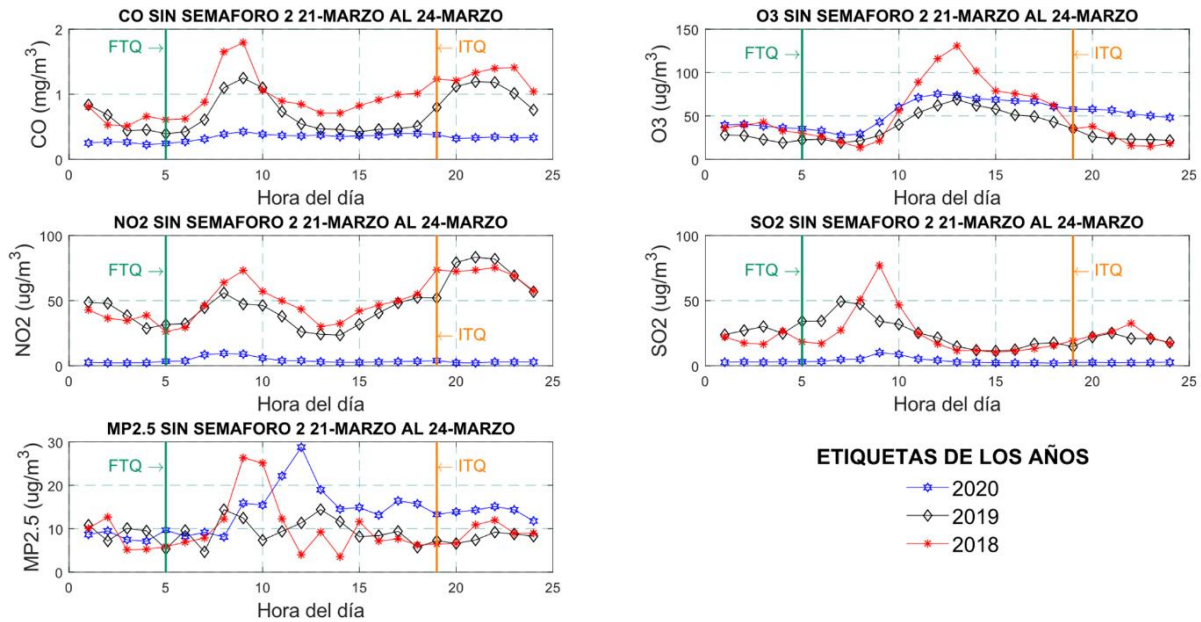


Figura 47. Periodo sin semáforo 2 del 21 de marzo al 24 de marzo. Fuente: Autores

5.9.4.4. Sin semáforo 3 del 25 de marzo al 12 de abril

En la Figura 48 se observa el comportamiento de los gases contaminantes durante el periodo Sin semáforo 3 que fue del 25 de marzo al 12 de abril; para este periodo de confinamiento el cambio en el horario de toque de queda fue desde las 14:00 horas hasta las 5:00 horas, durante este periodo existieron tres restricciones de movilidad vehicular, de esta manera hasta el 27 de marzo se rigió la misma restricción vehicular implementada en los dos periodos anteriores, posteriormente se implementó una segunda restricción de movilidad vehicular desde el 28 de marzo hasta el 5 de abril, en donde se podía circular lunes y viernes si la placa termina en 1, 2 y 3, martes y sábado si la placa termina en 4, 5 y 6, miércoles y domingo si la placa termina en 7, 8 y 9, lunes y jueves si la placa termina en 0. A partir desde el 6 de abril en adelante en lo que resta del periodo rigió la restricción de movilidad vehicular como sigue: los días lunes las placas terminadas en 1 y 2, los días martes las placas terminadas en 3 y 4, los días miércoles las placas terminadas en 5 y 6, los días jueves las placas terminadas en 7 y 8, los días viernes las placas terminadas en 9 y 0, para los días sábados y domingos no circulaba ningún vehículo particular. El pico de CO y MP_{2.5} para el año 2020 se encuentra por debajo de los picos de los años 2018 y 2019, debido a la movilidad permitida bajo restricción durante este horario, sin embargo, sus valores se hallan entre los dos años mencionados. Los niveles de NO₂ y SO₂ del año 2020 se encuentran por debajo de los niveles correspondientes a los años 2018 y 2019.

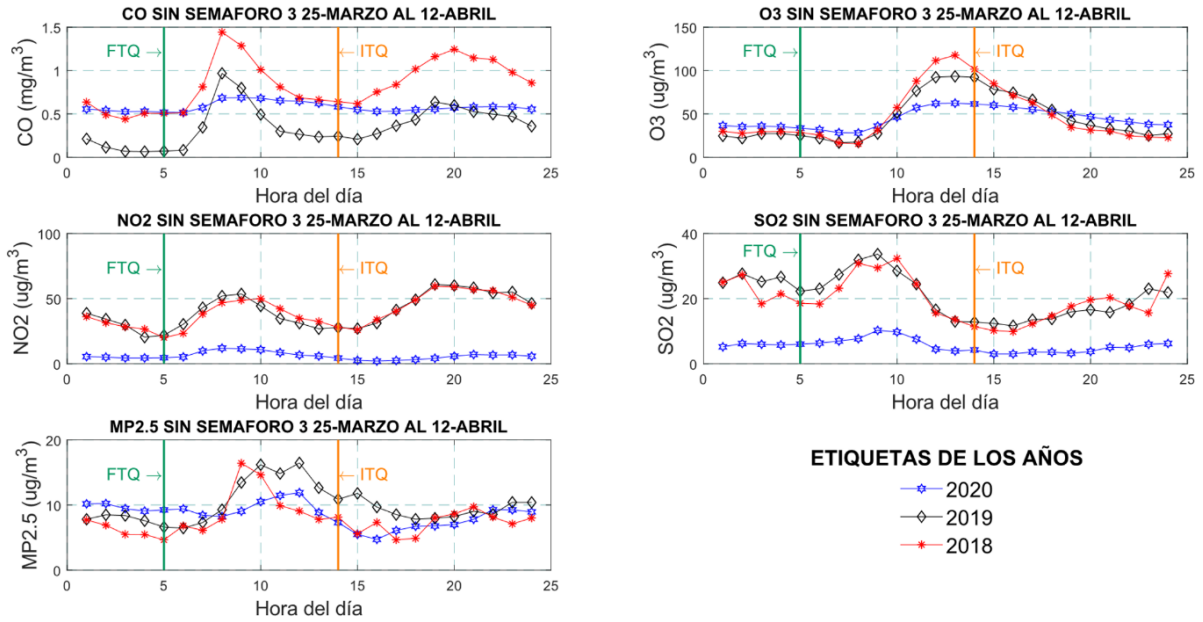


Figura 48. Periodo sin semáforo 3 del 25 de marzo al 12 de abril. Fuente: Autores

5.9.4.5. Semáforo rojo del 13 de abril al 24 de mayo

En la Figura 49 se observa el comportamiento de los gases contaminantes durante el periodo semáforo Rojo que fue del 13 de abril al 24 de mayo; a partir del 13 de abril se implementan la semaforización en todo el país, empezando con semáforo rojo en el cantón Cuenca, el horario de toque de queda para este periodo de tiempo se mantiene igual que en el caso anterior desde las 14:00 horas hasta las 5:00 horas, mientras que la restricción vehicular permanece la misma que la última implantada en el periodo anterior. Los niveles de CO, NO₂, SO₂ y MP_{2.5} correspondientes al año 2020 se encuentra por debajo de los años 2018 y 2019, demostrando tener más efectividad al aumentar el tiempo de aislamiento a las personas.

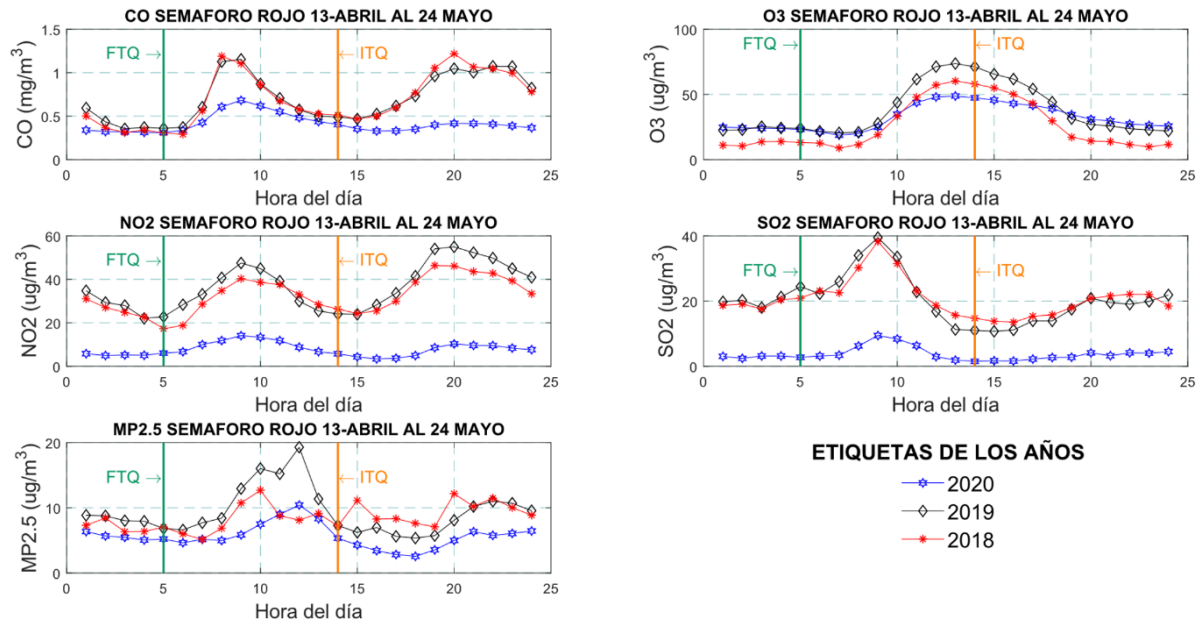


Figura 49. Periodo semáforo rojo del 13 de abril al 24 de mayo. Fuente: Autores

5.9.4.6. Semáforo amarillo 1 del 25 de mayo al 30 de junio

En la Figura 50 se observa el comportamiento de los gases contaminantes durante el periodo semáforo Amarillo 1 que fue del 25 de mayo al 30 de junio; con un nuevo horario de toque de queda desde las 21:00 horas a las 5:00 horas. Durante este periodo de confinamiento se implementaron dos restricciones de movilidad vehicular siendo la primera del 25 de mayo al 31 de mayo como sigue: los días lunes circulaban los vehículos con placas terminadas en 1, 2 y 7, los días martes las placas terminadas en 3, 4, 5 y 8, los días miércoles las placas terminadas en 5, 6 y 9, los días jueves las placas terminadas en 6, 7, 8 y 0, los días viernes las placas terminadas en 9, 0 y 1, los sábados las placas terminadas en 2, 3 y 4 y los días domingos no circulaba ningún vehículo particular. La segunda restricción se implementó del 1 de junio al 30 de junio, en donde los vehículos circulaban como sigue: las placas con el último dígito impar circulan los lunes, miércoles y viernes, las placas con el último dígito par circulan los días martes, jueves y sábado, y para los días domingos no existía circulación para vehículos particulares, mientras que los taxis, vehículos de transporte mixto y carga liviana si circulan este día con último dígito de placa impar. Los picos del CO del año 2020 se encuentran por debajo de los años 2018 y 2019, mientras mantiene niveles relativamente constantes. Los niveles de NO₂, SO₂ y MP_{2.5} para el año 2020 se encuentran por debajo de los niveles en el año 2018 y 2019.

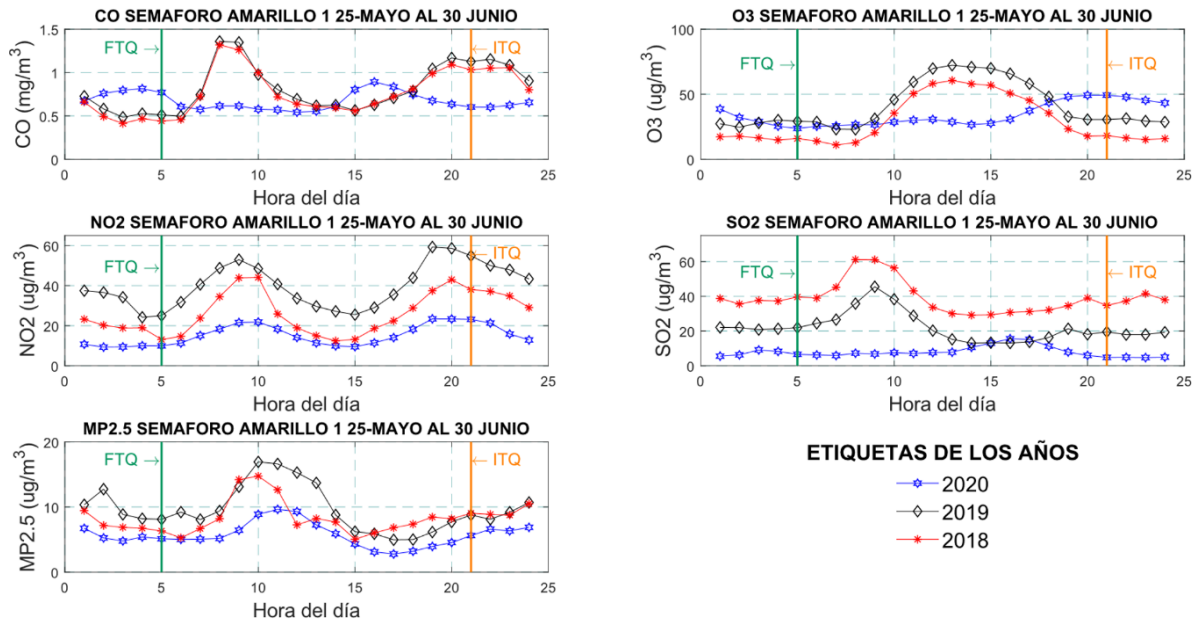


Figura 50. Periodo semáforo amarillo 1 del 25 de mayo al 30 de junio. Fuente: Autores

5.9.4.7. Semáforo amarillo 2 del 1 de julio al 30 de julio

En la Figura 51 se observa el comportamiento de los gases contaminantes durante el periodo semáforo Amarillo 2 que fue del 1 de julio al 30 de julio; durante este periodo de confinamiento se cambió el horario de toque de queda desde las 23:00 horas hasta las 5:00 horas, durante todo este periodo se rigió la siguiente restricción de movilidad vehicular en donde circulaban con el último dígito de la placa impar los días lunes, miércoles, viernes y los días domingo 5 y 19, mientras que para los vehículos con el último dígito de la placa par los días martes, jueves, sábado y los días domingos 12 y 26. Los taxis, transporte mixto y carga liviana circulaban todos los días, el transporte institucional circulaba sin restricción, el transporte urbano circulaba con el 50% de su aforo. Los niveles de CO para el 2020 se incrementaron fuera del horario de toque de queda, los niveles de SO₂ para el año 2020 se mantienen por debajo de los años 2018 y 2019, los niveles de NO₂ en el año 2020 están entre el 2018 y 2019 al igual que para el MP_{2.5}.

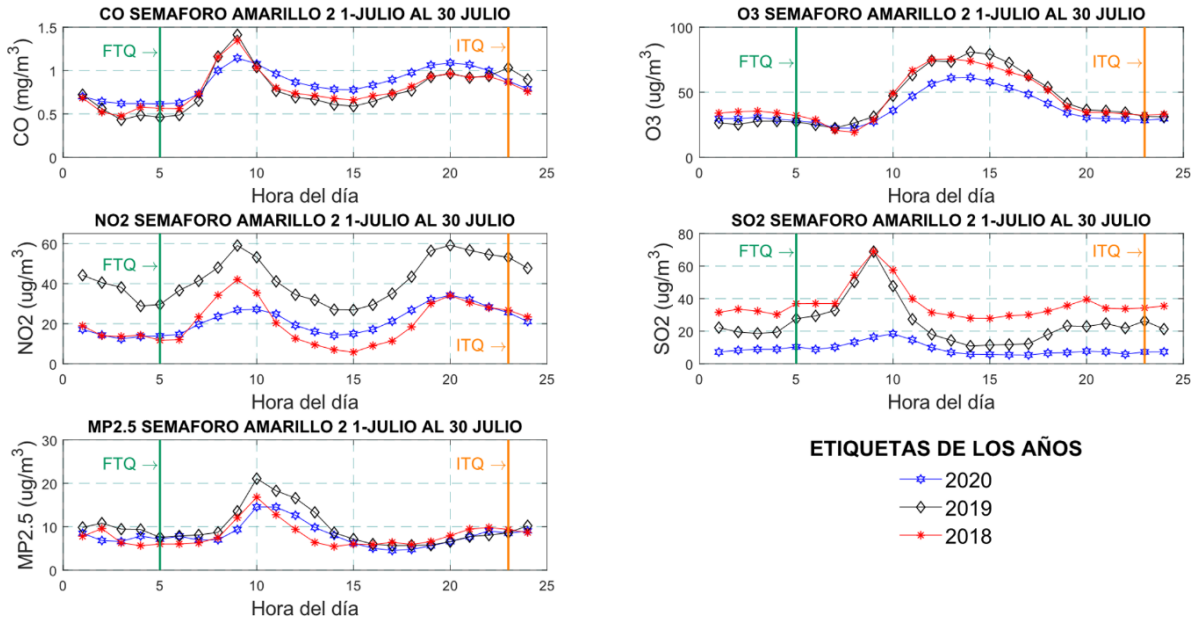


Figura 51. Periodo semáforo amarillo 2 del 1 de julio al 30 de julio. Fuente: Autores

5.9.4.8. Semáforo amarillo 3 del 31 de julio al 31 de agosto

En la Figura 52 se observa el comportamiento de los gases contaminantes durante el periodo semáforo Amarillo 3 que fue del 1 de julio al 31 de agosto; durante este periodo de confinamiento se cambió el horario de toque de queda desde las 21:00 horas hasta las 5:00 horas de lunes a jueves mientras que desde las 19:00 horas hasta las 5:00 horas de viernes a domingo, para el 31 de julio rigió la misma restricción de movilidad vehicular del periodo anterior mientras que para el resto del periodo se rigió la siguiente restricción de movilidad vehicular en donde circulan con el último dígito de la placa impar los días lunes, miércoles, viernes y los días domingo 2, 16 y 30, mientras que para los vehículos con el último dígito de la placa par los días martes, jueves, sábado y los días domingos 9 y 23. Los niveles de CO para el 2020 se puede notar que son semejantes a los años 2018 y 2019, los niveles de NO₂ y SO₂ para el año 2020 se mantienen por debajo de los años 2018 y 2019, los niveles de MP_{2.5} en el año 2020 están entre el 2018 y 2019.

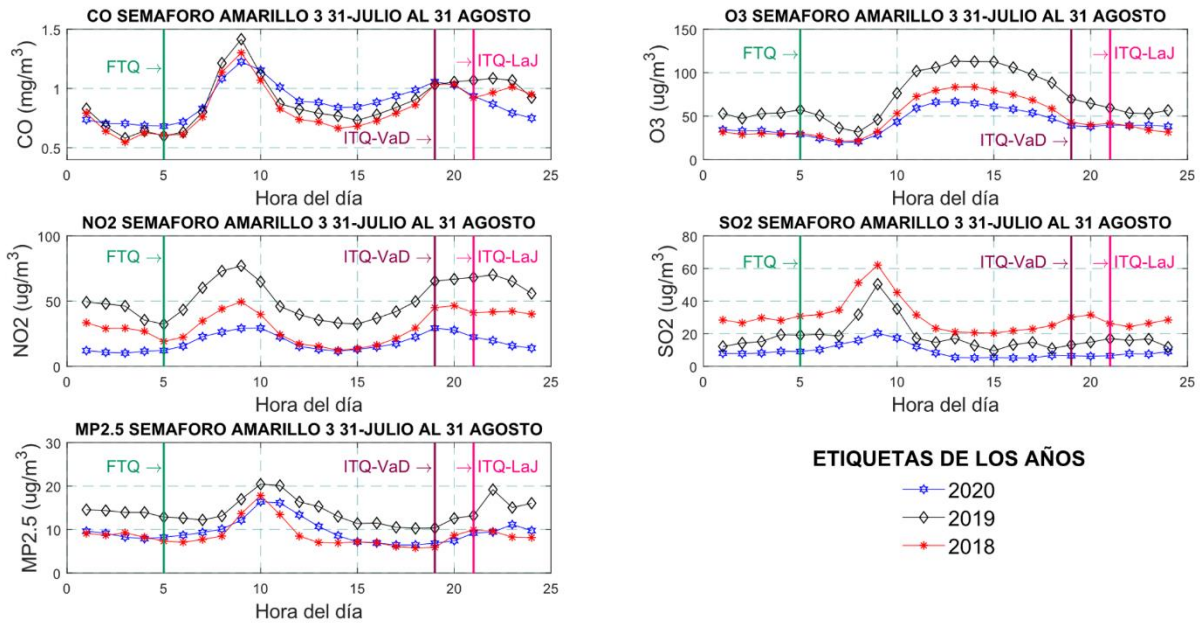


Figura 52. Periodo semáforo amarillo 3 del 31 de julio al 31 de agosto. Fuente: Autores

6. RESULTADOS

6.1. Coeficiente de determinación R^2 comparado con los días de desplazamiento del CO, NO₂, SO₂ Y MP_{2.5} del 2020

En las Figuras 53 y 54 se observa el trazo de una línea con los puntos formados de la gráfica, entre los días de desplazamiento y el R^2 ajustado. Este R^2 ajustado viene de un modelo de regresión lineal entre el gas contaminantes y la cantidad de contagiados diarios dando como resultado el coeficiente de determinación que indica la cantidad proporcional de variación en la variable de respuesta que en este caso sería la cantidad de contagiados por día, explicada por las variables independientes como son los gases contaminantes.

Para obtener el punto donde el R^2 sea el máximo posible y nos de la mayor fuerza de variabilidad en la variable de respuesta se prueba desplazar la cantidad de días para observar el momento en el que después de que hubo actividad vehicular relacionada con la expulsión de los gases contaminantes nos da como consecuencia un aumento en los contagiados diarios luego de dicho tiempo, Según la OMS el tiempo que transcurre entre la exposición a la Covid-19 y el momento en que comienzan los síntomas suele ser de alrededor de 5 o 6 días, pero puede variar entre 1 y 14 días, de acuerdo Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias de España el periodo de incubación medio es de 5 a 6 días con un amplio rango de 0 a 24 días. Es decir, estos

resultados muestran que en promedio después de 15.75 días se tiene la variabilidad máxima de los contagiado con respecto al gas en cuestión, por lo tanto, debe existir cierta correlación entre estas variables luego de haber desplazado dichos días.

En la Tabla 18 se tienen los resultados en los cuales se tienen la cantidad de días desplazados en los cuales se obtiene el coeficiente de determinación máximo.

Tabla 18. Coeficiente de determinación R^2 y días de desplazamiento. **Fuente:** Autores

Gases contaminantes	Adjusted R-aquare	Días de desplazamiento
CO	0.4084	14
NO ₂	0.3747	15
SO ₂	0.2736	19
MP _{2.5}	0.1121	15

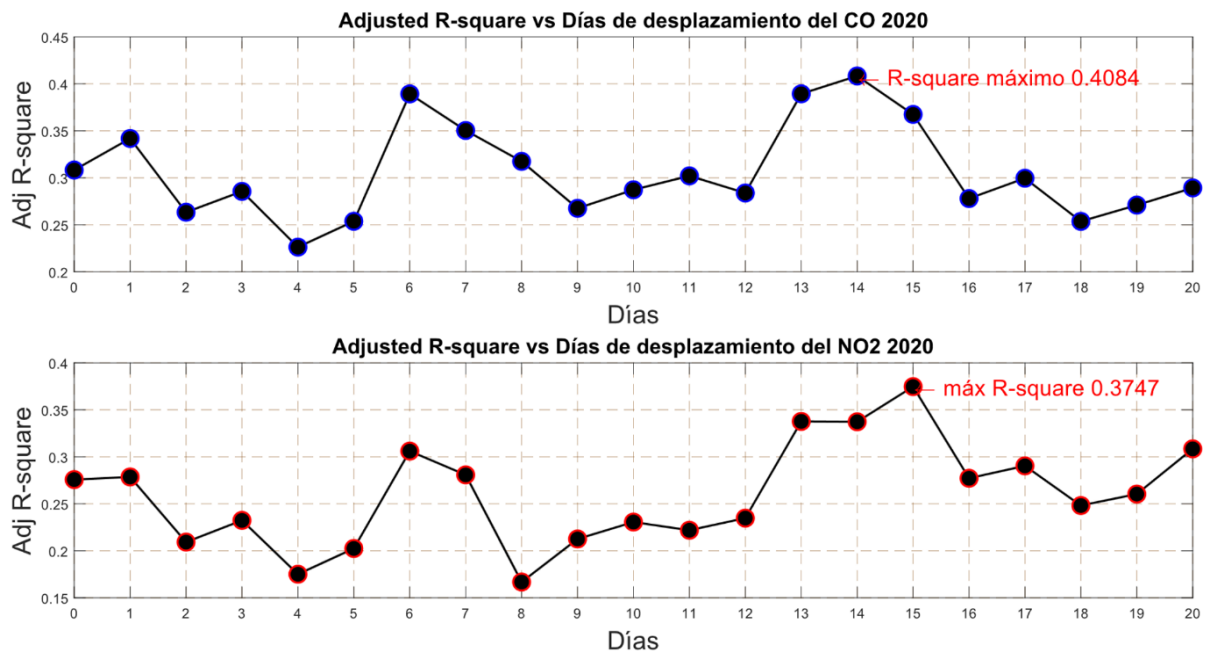


Figura 53. Coeficiente de determinación comparado con los días de desplazamiento del CO, NO₂ del año 2020. **Fuente:** Autores

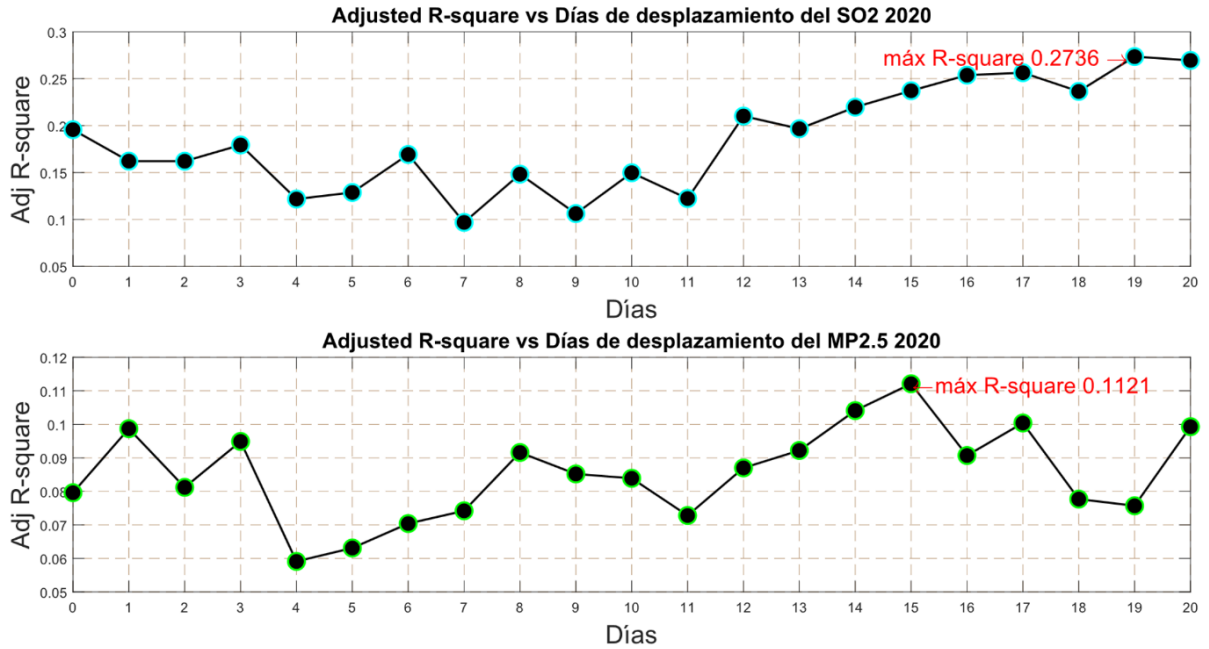


Figura 54. Coeficiente de determinación comparado con los días de desplazamiento del SO2, MP2.5 del año2020. **Fuente:** Autores

6.2. Coeficiente de determinación R^2 entre el tráfico vehicular y los gases contaminantes

Según la OMS el tiempo que transcurre entre la exposición a la Covid-19 y el momento en que comienzan los síntomas suele ser de alrededor de 5 o 6 días (Organización Mundial de la Salud, Transmisión del SARS-CoV-2: repercusiones sobre las precauciones en materia de prevención de infecciones, 2020), pero puede variar entre 1 y 14 días, de acuerdo Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias de España el periodo de incubación medio es de 5 a 6 días con un amplio rango de 0 a 24 días (Ministerio de Sanidad de España, 2020), en la Figura 55, se observan la gráfica entre los contagiados diarios y los gases contaminantes desplazados la cantidad de días en donde se obtiene el coeficiente de determinación R^2 máximo, también se observa las similitudes entre las curvas trazadas para posteriormente obtener un coeficiente de correlación de Pearson que indicara la fuerza de influencia que tienen los gases contaminantes sobre los contagiados diarios.

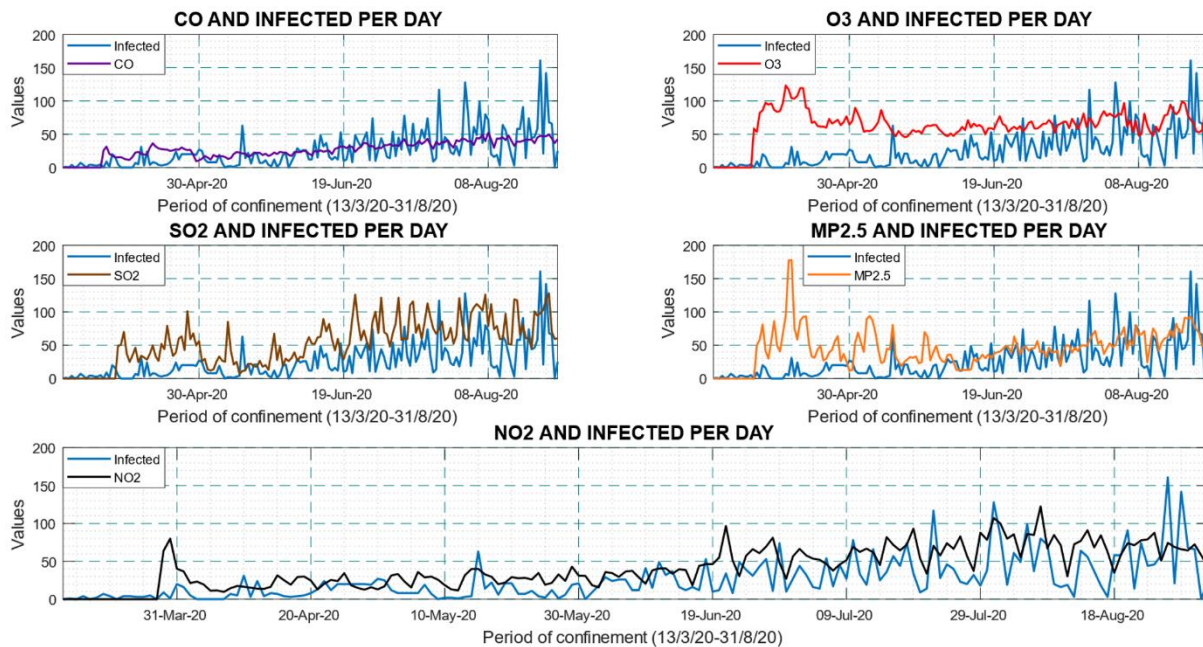


Figura 55. Coeficiente de determinación R^2 entre el tráfico vehicular y los gases contaminantes. **Fuente:** Autores

6.3. Matriz de Correlación de los Gases Contaminantes y los Contagiados Diarios

En la Figura 56 se tiene la matriz de correlación de Pearson que indica la fuerza y la dirección de la relación lineal y proporcionalidad entre los gases contaminantes y los contagiados diarios. Se utiliza el coeficiente de correlación de Pearson para lograr resultados lo más precisos posibles de la influencia de los gases contaminantes sobre los contagios diarios, uno de los métodos para determinar las relaciones bivariantes es el gráfico de dispersión.

El gráfico de dispersión presentado en la Figura 56 contiene los cinco gases contaminantes: monóxido de carbono, ozono troposférico, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y material particulado menor a 2.5 micras ($MP_{2.5}$) y los contagios diarios. Si los puntos en la gráfica de dispersión se forman a lo largo de la línea de regresión se considera una correlación lineal positiva (+1) o negativa (-1) perfecta.

Así los valores máximos que se obtiene de esta correlación de Pearson especifican entre contagiados diarios y los gases contaminantes es la siguiente según la Tabla 19: 0,61 entre los contagiados y el NO_2 , 0,60 entre los contagiados y el CO, 0,53 entre los contagiados y el SO_2 , 0,27 entre los contagiados y el $MP_{2.5}$ y 0,14 entre los contagiados y el O_3 .

Tabla 19. Matriz de correlación entre los gases contaminantes y los contagiados diarios. **Fuente:** Autores

Presentación de la correlación	Resultados
Correlación muy débil (0.00 a 0.19)	O ₃ vs Contagiados diarios (0.14)
Correlación débil (0.20 a 0.39)	MP _{2.5} vs Contagiados diarios (0.27), O ₃ vs NO ₂ (0.33), O ₃ vs SO ₂ (0.36), NO ₂ vs MP _{2.5} (0.38), SO ₂ vs MP _{2.5} (0.32)
Correlación moderada (0.40 a 0.69)	CO vs Contagiados diarios (0.60), NO ₂ vs Contagiados diarios (0.61), SO ₂ vs Contagiados diarios (0.53), CO vs O ₃ (0.47), CO vs MP _{2.5} (0.46), O ₃ vs MP _{2.5} (0.67), NO ₂ vs SO ₂ (0.62)
Correlación fuerte (0.70 a 0.89)	CO vs NO ₂ (0.80), CO vs SO ₂ (0.71)
Correlación muy fuerte (0.90 a 1.00)	-

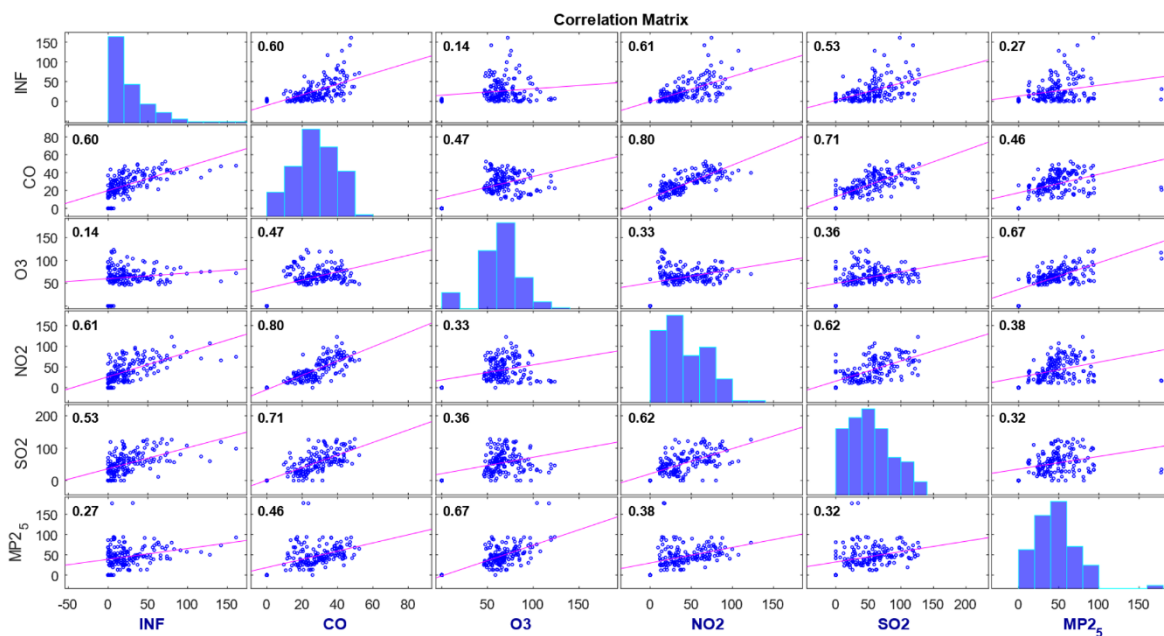


Figura 56. Matriz de correlación entre los gases contaminantes y los contagiados diarios. **Fuente:** Autores

7. CONCLUSIONES

- En el centro histórico de la ciudad de Cuenca en el año 2020 en el segmento de tiempo de enero a agosto la sumatoria total del monóxido de carbono para el periodo de sin semáforo 1 es de 7.4779 mg/m³ y el número de contagiados de 13, siendo este periodo el que tiene los niveles más bajos de contaminación debido a la aparición de la emergencia sanitaria del coronavirus, en donde se producen las primeras restricciones de movilidad de los vehículos y peatones permitida únicamente con la portación de un salvoconducto, para fines como la adquisición de productos de primera necesidad, medicamentos y casos de atención médica; para el periodo de sin semáforo 2 es de 7.7538 mg/m³ y el número de contagiados de 11, durante este periodo las restricciones vehiculares se mantuvieron las mismas mientras hubo cambios en el toque de queda, cabe recalcar que este periodo tiene niveles bajos de CO y es debido a que todavía se estaba en los primeros 8 días de confinamiento decretado por el Gobierno Nacional; para el periodo de sin semáforo 3 es de 13.3521 mg/m³ y el número de contagiados de 133, con lo que se puede mencionar que los niveles de contaminación aumentaban en relación a los periodos anteriores, durante este periodo se aplicaron tres restricciones de movilidad vehicular la misma que permitía salir con menor frecuencia debido a que los contagios a nivel del país se incrementaban y el horario de toque de queda fue el más riguroso siendo este desde las 14:00 horas hasta las 5:00 horas; para el periodo de semáforo rojo es de 9.5579 mg/m³ y el número de contagiados de 519, durante este periodo de confinamiento se inicia con la semaforización cantonal impuesta por el Gobierno Nacional cumpliendo un horario de toque de queda igual al anterior con el fin de contener la propagación del Covid-19; para el periodo de semáforo amarillo 1 es de 15.4912 mg/m³ y el número de contagiados de 899, para el periodo de semáforo amarillo 2 es de 19.8205 mg/m³ y el número de contagiados de 1228, para el periodo de semáforo amarillo 3 es de 20.4924 mg/m³ y el número de contagiados de 1662, durante los periodos de semaforización amarilla se fueron cambiando los horarios de toque de queda volviéndolos más flexibles y permitiendo la reactivación de la movilidad vehicular en el país y en consecuencia los niveles de contaminación son los más elevados en comparación a todos los periodos anteriores de semaforización.
- El crecimiento del promedio de los gases contaminantes según las fases de confinamiento que causaron mayor contaminación: CO (amarillo 3), NO₂ (Sin restricciones, amarillo

2), SO₂ (amarillo 2 y amarillo 3), MP_{2.5} (Sin semáforo 2), mientras las que causaron menor contaminación son: CO, NO₂ (Sin semáforo 1 y Sin semáforo 2), SO₂ (Sin semáforo 1 y Semáforo rojo), MP_{2.5} (Semáforo rojo y Amarillo 1), dando a entender la efectividad de la restricción de movilidad correspondiente a cada periodo de tiempo.

- Los días después de los cuáles incrementan el número de contagiados luego de haber un alza en los niveles de contaminación como resultado de una mayor fuerza de variabilidad son como sigue: CO (14 días), NO₂ (15 días), SO₂ (19 días), MP_{2.5} (15 días). Estos valores se encuentran dentro del rango de 0 a 20 días transcurridos desde la infección hasta presentar los síntomas, según el Ministerio de Sanidad de España (Ministerio de Sanidad de España, 2020).
- Por otro lado, se tiene que la mayor fuerza de correlación existente entre los gases contaminantes y el número de contagiados diarios es del NO₂ con un 61%, siguiéndole el CO con un 60% de correlación, lo que significa que en un promedio de 15 días después de haber incrementados los niveles contaminantes producidos por el tráfico vehicular, también se incrementaban el número de contagiados.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis sobre el comportamiento de los gases contaminantes post-feriados durante la pandemia, para observar el impacto sobre el número de contagiados a causa de la circulación vehicular ya que son directamente proporcionales según el estudio realizado. Además de ello se recomienda también replicar estudios similares a este en otras ciudades del país que cuenten con red de monitoreo automático de la calidad del aire.
- También se recomienda usar medios de transporte alternativos a los vehículos de combustión con el propósito de mejorar la calidad del aire, y por ende la salud de las personas, ya que en este estudio en el periodo de sin restricciones 1 se evidencio una buena calidad del aire ya que las restricciones de movilidad fueron estrictas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alea, V., Guillén, M., Muñoz, C., Torrelles, E., & Viladomiu, N. (2000). *Estadística con SPSS*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Arias Montaña, E. I., & Ludeña Ayala, J. A. (2018). *Estimación del consumo de combustible y niveles de emisiones contaminantes de un vehículo de categoría M1 en rutas con mayor grado de saturación en la ciudad de Cuenca*. Cuenca.
- Arias, D. M., & Ladino, M. T. (2018). *CARACTERIZACIÓN DE LAS CURVAS DE PRESIÓN, PARYPOTENCIADE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA MONOCILÍNDRICO BAJO DIFERENTES REGÍMENES DE OPERACIÓN*. Pereira.
- Bernet, J. C. (2018). *ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO TJI MEDIANTE UNA HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO DE LA COMBUSTIÓN*. Valencia.
- El Universo. (14 de agosto de 2020). *El Universo*. Obtenido de El Universo: <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/08/14/nota/7942177/ecuador-coronavirus-lenin-moreno-estado-excepcion>
- EMOV. (2019). *Informe de Calidad del Aire en la Ciudad de Cuenca durante el año 2019*. Cuenca: Empresa Pública de Movilidad (EMOV).
- Escuela Andaluza de Salud Pública. (22 de mayo de 2020). *Comprender el COVID-19 desde una perspectiva de salud pública*. Obtenido de Comprender el COVID-19 desde una perspectiva de salud pública: <https://www.easp.es/web/coronavirusysaludpublica/efecto-de-la-pandemia-de-covid-19-en-la-calidad-del-aire-impacto-en-la-salud-respiratoria/>
- Gómez Iniesta, R., & Franco Sandoval, P. (2009). *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*. Tlalpan, México, México.
- Guambaña, J. (14 de marzo de 2020). *El Universo*. Obtenido de El Universo: <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/03/14/nota/7781598/coronavirus-ecuador-cuenca-ya-tiene-caso-se-trata-mujer-que-llego>
- INE-SEMARNAT. (Mayo de 2005). Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/447321/Guia_Inventario_de_Emisiones.pdf
- León Bacuilima, P. A., & Piña Orellana, C. D. (2018). *PREDICCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE GASES DE ESCAPE A TRAVÉS DE LA PRESIÓN MEDIA EFECTIVAEMPLEANDO REDES NEURONALES EN MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO*. Cuenca.
- MathWorks. (2019). *MathWorks*. Obtenido de MathWorks: <https://la.mathworks.com/help/stats/principal-component-analysis-pca.html>

- Ministerio de Salud Pública. (2020). *INFOGRAFIA NACIONAL COVID19 COE NACIONAL 08h00 31082020*.
- Ministerio de Salud Pública. (s.f.). *Salud.gob.ec*. Obtenido de Salud.gob.ec: <https://www.salud.gob.ec/ministra-de-salud-informa-sobre-situacion-actual-del-coronavirus-en-ecuador/>
- Ministerio de Sanidad de España. (2020). *INFORMACIÓN CIENTÍFICA-TÉCNICA Enfermedad por coronavirus, COVID-19 (versión 2)*.
- Morocho, E., & Valdez, M. (2018). ANÁLISIS DE LA MATRIZ DE MOVILIDAD EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE CUENCA Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS. Cuenca.
- Muhammad, S., Long, X., & Salman, M. (2020). COVID-19 pandemic and environmental pollution: A blessing in disguise? *ELSEVIER*, 1-5.
- Organización Mundial de la Salud. (s.f.). *Who.int*. Obtenido de Who.int: <https://www.who.int/es/news/item/27-04-2020-who-timeline---covid-19>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). *Transmisión del SARS-CoV-2: repercusiones sobre las precauciones en materia de prevención de infecciones*.
- Organización Mundial de la Salud. (s.f.). *Who.int*. Obtenido de Who.int: <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses>
- Rovira De Antonio, A. J., & Muñoz Domínguez, M. (2015). *Motores de Combustión Interna*. Madrid, España.
- Secretaría General de Comunicación de la Presidencia. (s.f.). *Comunicacion.gob.ec*. Obtenido de Comunicacion.gob.ec: <https://www.comunicacion.gob.ec/el-presidente-lenin-moreno-decreta-estado-de-excepcion-para-evitar-la-propagacion-del-covid-19/>
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2020). *INFOGRAFIA NACIONAL COVID 19 COE NACIONAL 14032020*.
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2020). *Informe de Situación No008 Casos Coronavirus Ecuador 16032020*. Quito.
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (s.f.). *gestionderiesgos.gob.ec*. Obtenido de gestionderiesgos.gob.ec: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/informes-de-situacion-covid-19-desde-el-13-de-marzo-del-2020/>
- Yunez López, Y. Y. (2018). *ANÁLISIS DEL SERVICIO AL CLIENTE DE LATERMINAL TERRESTRE DE LA CIUDAD DE CUENCA COMO PARTE DEL DESARROLLO TURÍSTICO 2017*. Cuenca.