



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES POR FUENTES  
MÓVILES EN CUENCA MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL ENTORNO VEHICULAR  
PARA MEJORAR LA GESTIÓN AMBIENTAL**

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

AUTOR: ERIK GUSTAVO CÁCERES CUENCA

TUTOR: ING. NÉSTOR DIEGO RIVERA CAMPOVERDE, PhD.

Cuenca - Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Erik Gustavo Cáceres Cuenca con documento de identificación N° 0350184149 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 04 de julio del 2025

Atentamente,



Erik Gustavo Cáceres Cuenca

0350184149

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Erik Gustavo Cáceres Cuenca con documento de identificación N° 0350184149, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto técnico: “Propuesta de optimización del inventario de emisiones por fuentes móviles en Cuenca mediante el análisis del entorno vehicular para mejorar la gestión ambiental”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 04 de julio del 2025

Atentamente,



---

Erik Gustavo Cáceres Cuenca

0350184149

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Néstor Diego Rivera Campoverde con documento de identificación N° 0103898995, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES POR FUENTES MÓVILES EN CUENCA MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL ENTORNO VEHICULAR PARA MEJORAR LA GESTIÓN AMBIENTAL, realizado por Erik Gustavo Cáceres Cuenca con documento de identificación N° 0350184149, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 04 de julio del 2025

Atentamente,



---

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, PhD.

0103898995

## **DEDICATORIA**

*Primeramente, a Dios y a la Virgen por guiar mis pasos durante este arduo proceso.*

*A mis amados padres quienes han dado todo su esfuerzo para que esta meta se cumpla y los cuales han sido el ejemplo claro de persistencia y dedicación, sin ellos nada de esto hubiera sido posible.*

*A mis hermanos quienes estuvieron ahí cada vez que necesitaba una sonrisa, un abrazo o su compañía.*

**Erick Gustavo Cáceres Cuenca**

## **AGRADECIMIENTO**

*Antes que todo agradezco a Dios y a la Virgen por brindarme salud, sabiduría y la fuerza necesaria para continuar en este camino de aprendizaje para así poder superar las adversidades que se me han presentado.*

*Al mismo tiempo quiero agradecer a mi familia, a mi padre Javier y mi madre Catherine, los cuales han sido el pilar fundamental en esta etapa, gracias por su apoyo, su paciencia, ejemplo y motivación incondicional.*

*A mis abuelos y hermanos los cuales me han alentado y me han sacado sonrisas cuando lo he necesitado.*

*Al Dr. Néstor Rivera como tutor, profesor y amigo, gracias por su orientación, persistencia, paciencia y motivación durante el desarrollo del proyecto y en las aulas.*

*Y a todas las personas, amigos y docentes que de una u otra forma me apoyaron durante este camino.*

**Erick Gustavo Cáceres Cuenca**

## **RESUMEN**

Actualmente el inventario de emisiones de la ciudad Cuenca enfrenta severas limitantes en la estimación de emisiones contaminantes, esto gracias a la aplicación de modelos de estimación internacionales como MOBILE 6 y COPERT, dichos modelos son diseñados bajo contextos normativos, geográficos y tecnológicos alejados de la realidad del cantón, dichas limitantes generan un alto nivel de incertidumbre en los resultados, debido a que no consideran variables como la altitud, la topografía, el parque automotor heterogéneo, los patrones de conducción ni calidad del combustible propios de la localidad, por ello en el siguiente trabajo se aplicó una metodología basada en la revisión técnica y bibliográfica, considerando la evolución de consumo de combustibles, además de un análisis comparativo entre los tres últimos inventarios de emisiones del cantón correspondientes a los años 2011, 2014 y 2021 y los inventarios de la zona metropolitana del valle de México (ZMVM), un estudio estadístico de correlación entre factores como el tamaño del parque automotor y niveles de emisión, incluyendo la evolución de consumo de combustibles, además de una evaluación de aplicabilidad del modelo IVE, el cual permite adaptar factores de emisión a condiciones locales mediante datos empíricos sobre los factores influyentes para la estimación, con ello se logró demostrar que la tasa de emisión del cantón es superior a la de la ZMVM, indicando deficiencias en la estimación con los modelos aplicados, por lo que se concluye que la utilización del modelo IVE como una alternativa para la estimación de emisiones podría llevar a resultados más precisos siempre y cuando se considere la mejora de los insumos necesarios como son los factores de emisión y actividad vehicular basados en la realidad de la localidad, para ello se podrían tomar en cuenta los estudios realizados bajo las condiciones locales.

**Palabras clave:** Emisiones, Inventario, Incertidumbre, Gestión Ambiental, Tráfico Vehicular

## **ABSTRACT**

Currently, the emissions inventory of the city of Cuenca faces severe limitations in the estimation of pollutant emissions, due to the application of international estimation models such as MOBILE 6 and COPERT. These models are designed under regulatory, geographic, and technological contexts that are far removed from the reality of the canton. These limitations generate a high level of uncertainty in the results, since they do not consider variables such as altitude, topography, the heterogeneous vehicle fleet, driving patterns, or the fuel quality specific to the locality. Therefore, in the following work, a methodology based on technical and bibliographic review was applied, considering the evolution of fuel consumption, in addition to a comparative analysis between the last three emissions inventories of the canton corresponding to the years 2011, 2014, and 2021, and the inventories of the Metropolitan Area of the Valley of Mexico (ZMVM), a statistical correlation study between factors such as the size of the vehicle fleet and emission levels, including the evolution of fuel consumption, as well as an evaluation of the applicability of the IVE model, which allows emission factors to be adapted to local conditions through empirical data on the influencing factors for estimation. This made it possible to demonstrate that the emission rate of the canton is higher than that of the ZMVM, indicating deficiencies in estimation using the applied models. Therefore, it is concluded that the use of the IVE model as an alternative for emissions estimation could lead to more accurate results, provided that improvements are made to the necessary inputs such as emission factors and vehicle activity based on the reality of the locality. For this purpose, studies carried out under local conditions could be taken into account.

**Keywords:** Emissions, Inventory, Uncertainty, Environmental Management, Vehicular Traffic

## ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN .....	1
2	PROBLEMA.....	3
2.1	Antecedentes .....	3
2.2	Importancia y alcance .....	3
2.3	Delimitación.....	4
3	OBJETIVOS .....	5
3.1	Objetivo General.....	5
3.2	Objetivos Específicos.....	5
4	ESTADO DEL ARTE .....	6
4.1	Emisiones Contaminantes.....	6
4.2	Gases Contaminantes .....	6
4.2.1	Monóxido de Carbono (CO).....	6
4.2.2	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ).....	6
4.2.3	Compuestos orgánicos volátiles (COV).....	7
4.2.4	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ).....	7
4.2.5	Material Particulado (PM) .....	7
4.3	Factor de emisión.....	8
4.4	Inventario De Emisiones.....	8
4.5	Incertidumbre .....	9
4.6	Modelos internacionales de estimación .....	9
4.6.1	MOBILE .....	9
4.6.2	COPERT .....	10
4.6.3	IVE.....	11
4.7	Investigaciones para el cantón .....	12

5	MARCO METODOLÓGICO.....	15
5.1	Antecedentes de los inventarios de la ciudad .....	15
5.1.1	Inventario de Emisiones 2011 .....	15
5.1.2	Inventario de emisiones 2014 .....	17
5.1.3	Inventario de emisiones 2021 .....	18
5.2	Incertidumbre.....	21
5.3	Evolución de los gases contaminantes.....	23
5.4	Análisis de relación entre contaminantes.....	28
5.5	Características geográficas del cantón.....	32
5.6	Características del combustible.....	33
5.7	Composición del parque automotor .....	35
5.8	Parque vehicular del cantón Cuenca .....	37
5.8.1	Análisis del parque automotor .....	40
5.8.2	Análisis contaminantes por cada vehículo .....	49
5.9	Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).....	57
5.9.1	Reseña del inventario de emisiones .....	58
5.9.2	Análisis de correlación entre flota vehicular y emisiones .....	59
5.9.3	Análisis contaminantes por cada vehículo .....	64
5.10	Comparación entre el inventario de Cuenca y el de la ZMVM .....	67
5.10.1	Coefficiente de Pearson.....	68
5.10.2	Tasa de contaminantes .....	69
6	RESULTADOS .....	73
6.1	Limitaciones metodológicas detectadas en los inventarios actuales.....	74
6.2	Metodología propuesta.....	76
6.2.1	Caracterización del parque vehicular .....	78

6.2.2	Insumos necesarios para la estimación de emisiones mediante IVE .....	79
6.2.3	Estructura para la estimación mediante el modelo IVE.....	80
6.2.4	Incertidumbre en el modelo IVE.....	82
6.3	Comparación entre la metodología propuesta y la actual .....	83
6.4	Factores de emisión.....	85
6.5	Actividad vehicular .....	87
7	CONCLUSIONES .....	89
8	RECOMENDACIONES.....	91
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
10	ANEXOS .....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resumen de emisiones atmosféricas del Cantón Cuenca durante el año 2011 .....	16
Figura 2. Resumen de emisiones atmosféricas del Cantón Cuenca durante el año 2014 .....	18
Figura 3. Resumen de emisiones atmosféricas del Cantón Cuenca durante el año 2021 .....	19
Figura 4. Resumen de evaluación de incertidumbre de las emisiones provenientes por fuentes móviles de Cuenca correspondientes año 2011 .....	22
Figura 5. Resumen de evaluación de incertidumbre de las emisiones provenientes por fuentes móviles de Cuenca correspondientes año 2014 .....	22
Figura 6. Resumen de evaluación de incertidumbre de las emisiones provenientes por fuentes móviles de Cuenca correspondientes año 2021 .....	23
Figura 7. Evolución de CO <sub>2</sub> con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca	24
Figura 8. Evolución de COV con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca .....	24
Figura 9. Evolución de CO con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca.	25
Figura 10. Evolución de NO <sub>x</sub> con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca .....	26
Figura 11. Evolución de SO <sub>2</sub> con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca .....	26
Figura 12. Evolución de MP2.5 con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca .....	27
Figura 13. Evolución de MP10 con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca .....	28
Figura 14. Análisis de relación entre el CO y el CO <sub>2</sub> .....	29

Figura 15. Análisis de relación entre el COV y el CO.....	30
Figura 16. Análisis de relación entre el NOx y el CO <sub>2</sub> .....	31
Figura 17. Análisis de relación entre el PM <sub>2.5</sub> y el PM <sub>10</sub> .....	32
Figura 18. Evolución de la gasolina extra con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca.....	34
Figura 19. Evolución de la gasolina super con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca.....	34
Figura 20. Evolución del diésel con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca .....	35
Figura 21. Conformación del parque vehicular del cantón Cuenca correspondientes al año 2021. Vehículos que usan gasolina .....	36
Figura 22. Conformación del parque vehicular del cantón Cuenca correspondientes al año 2021. Vehículos que usan diésel .....	37
Figura 23. Vehículos matriculados según la EMOV durante los años 2013-2014 .....	38
Figura 24. Vehículos matriculados según la EMOV durante los años 2017-2021 .....	38
Figura 25. Vehículos matriculados según los informes de calidad del aire durante el año 2008-2023.....	39
Figura 26. Análisis de correlación entre el CO <sub>2</sub> y el número de vehículos según la EMOV .....	41
Figura 27. Análisis de correlación entre el CO <sub>2</sub> y el número de vehículos según la CDA .....	41
Figura 28. Análisis de correlación entre el CO <sub>2</sub> y el número de vehículos según los datos de la provincia .....	42
Figura 29. Análisis de correlación entre el CO y el número de vehículos según la EMOV .....	43
Figura 30. Análisis de correlación entre el CO y el número de vehículos según la CDA .....	44

Figura 31. Análisis de correlación entre el CO y el número de vehículos según los datos de la provincia .....	44
Figura 32. Análisis de correlación entre el COV y el número de vehículos según la EMOV .....	45
Figura 33. Análisis de correlación entre el COV y el número de vehículos según la CDA .....	46
Figura 34. Análisis de correlación entre el COV y el número de vehículos según los datos de la provincia .....	46
Figura 35. Análisis de correlación entre el NOx y el número de vehículos según la EMOV .....	47
Figura 36. Análisis de correlación entre el NOx y el número de vehículos según la CDA .....	48
Figura 37. Análisis de correlación entre el NOx y el número de vehículos según los datos de la provincia .....	48
Figura 38. Tasa de emisión de CO <sub>2</sub> de los vehículos registrados por la EMOV .....	49
Figura 39. Tasa de emisión de CO <sub>2</sub> de los vehículos registrados por la CDA .....	50
Figura 40. Tasa de emisión de CO <sub>2</sub> de los vehículos registrados en la provincia .....	51
Figura 41. Tasa de emisión de CO de los vehículos registrados por la EMOV .....	51
Figura 42. Tasa de emisión de CO de los vehículos registrados por la CDA .....	52
Figura 43. Tasa de emisión de CO de los vehículos registrados en la provincia .....	52
Figura 44. Tasa de emisión de COV de los vehículos registrados por la EMOV .....	53
Figura 45. Tasa de emisión de COV de los vehículos registrados por la CDA .....	54
Figura 46. Tasa de emisión de COV de los vehículos registrados en la provincia .....	54
Figura 47. Tasa de emisión de NOx de los vehículos registrados por la EMOV .....	55
Figura 48. Tasa de emisión de NOx de los vehículos registrados por la CDA .....	56
Figura 49. Tasa de emisión de NOx de los vehículos registrados en la provincia .....	56
Figura 50. Análisis de correlación entre el número de vehículos y el CO <sub>2</sub> según la ZMVM .....	60

Figura 51. Análisis de correlación entre el número de vehículos y el CO según la ZMVM .....	60
Figura 52. Análisis de correlación entre el número de vehículos y el COV según la ZMVM ....	61
Figura 53. Análisis de correlación entre el número de vehículos y el NOx según la ZMVM.....	62
Figura 54. Análisis de correlación entre el número de vehículos y el SO <sub>2</sub> según la ZMVM .....	62
Figura 55. Análisis de correlación entre el número de vehículos y el PM 2.5 según la ZMVM.	63
Figura 56. Análisis de correlación entre el número de vehículos y el PM10 según la ZMVM...	64
Figura 57. Tasa de emisión de CO <sub>2</sub> de los vehículos registrados en la ZMVM .....	65
Figura 58. Tasa de emisión de CO de los vehículos registrados en la ZMVM.....	65
Figura 59. Tasa de emisión de COV de los vehículos registrados en la ZMVM.....	66
Figura 60. Tasa de emisión de NOx de los vehículos registrados en la ZMVM .....	67
Figura 61. Comparación entre tasas de emisión de CO <sub>2</sub> de los inventarios de Cuenca frente a los de la ZMVM .....	70
Figura 62. Comparación entre tasas de emisión de CO de los inventarios de Cuenca frente a los de la ZMVM .....	71
Figura 63. Comparación entre tasas de emisión de COV de los inventarios de Cuenca frente a los de la ZMVM .....	72
Figura 64. Comparación entre tasas de emisión de NOx de los inventarios de Cuenca frente a los de la ZMVM .....	72
Figura 65. Matriz de ponderaciones para el modelo IVE .....	77
Figura 66. Insumos necesarios del modelo IVE para la estimación de emisiones .....	80
Figura 67. Estructura para el cálculo de emisiones contaminantes según el modelo IVE.....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla comparativa de los inventarios de emisiones de la ciudad de Cuenca correspondientes a los años 2011, 2014 y 2021 .....	20
Tabla 2. Resultados de los inventarios de emisiones de la ZMVM de acuerdo a los años 2012, 2014 y 2020.....	58
Tabla 3. Comparación entre el Inventario de la ciudad de Cuenca frente al de la ZMVM .....	67
Tabla 4. Resultados del coeficiente de Pearson correspondientes a los datos de Cuenca y de la ZMVM .....	69
Tabla 5. Contaminantes atmosféricos que estima el modelo IVE .....	78
Tabla 6. Clasificación de la flota vehicular según el modelo IVE.....	79
Tabla 7. Comparación entre los modelos COPERT e IVE .....	83

## ÍNDICE DE ANEXOS

Figura A - 1. Análisis de correlación entre el SO <sub>2</sub> y el número de vehículos según la EMOV ...	98
Figura A - 2. Análisis de correlación entre el MP2.5 y el número de vehículos según la EMOV98	
Figura A - 3. Análisis de correlación entre el MP10 y el número de vehículos según la EMOV	99
Figura A - 4. Análisis de correlación entre el SO <sub>2</sub> y el número de vehículos según la CDA .....	99
Figura A - 5. Análisis de correlación entre el MP2.5 y el número de vehículos según la CDA	100
Figura A - 6 Análisis de correlación entre el MP10 y el número de vehículos según la CDA ..	100
Figura A - 7. Análisis de correlación entre el SO <sub>2</sub> y el número de vehículos según los datos de la provincia .....	101
Figura A - 8. Análisis de correlación entre el MP2.5 y el número de vehículos según los datos de la provincia.....	101
Figura A - 9. Análisis de correlación entre el MP10 y el número de vehículos según los datos de la provincia.....	102
Figura A - 10. Tasa de emisión de SO <sub>2</sub> de los vehículos registrados por la EMOV .....	102
Figura A - 11 Tasa de emisión de MP2.5 de los vehículos registrados por la EMOV .....	103
Figura A - 12. Tasa de emisión de MP10 de los vehículos registrados por la EMOV .....	103
Figura A - 13. Incremento porcentual de emisiones entre años según los inventarios de emisiones de Cuenca.....	104
Figura A - 14. Comparación entre tasas de emisión de SO <sub>2</sub> de los inventarios de Cuenca frente a los de la ZMVM.....	104
Figura A - 15. Comparación entre tasas de emisión de MP2.5 de los inventarios de Cuenca frente a los de la ZMVM.....	105

# 1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el cantón Cuenca ha experimentado un crecimiento poblacional significativo, según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) pasó de 505.585 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2010) a 596.101 (INEC, 2023), y con ello la demanda de movilidad también, impulsando un notable incremento del parque automotor según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE, 2021), Cuenca registró en el año 2020 14.518 vehículos matriculados, mientras que para el 2021 fueron 18.290, lo que ha llevado a un mayor consumo de combustibles fósiles y, consecuentemente, el aumento de emisiones contaminantes provenientes de fuentes móviles terrestres. Estas emisiones, compuestas por gases tóxicos, gases de efecto invernadero y material particulado, representan una de las principales amenazas para la calidad del aire y salud pública de la ciudad.

La ausencia de un modelo metodológico adaptado a las condiciones locales para estimar con precisión las emisiones por fuentes móviles ha limitado la efectividad de las políticas públicas orientadas a mitigar la contaminación atmosférica, por ello el presente trabajo resalta una alternativa metodológica para la optimización del inventario de emisiones vehiculares de la ciudad, a partir del análisis de variables locales.

Además, este trabajo aporta al desarrollo de metodologías contextualizadas que permiten reducir los niveles de incertidumbre en la estimación de contaminantes atmosféricos, especialmente en ciudades en las cuales no se cuentan con modelos calibrados a las realidades locales, mediante la integración de datos reales sobre el parque vehicular, patrones de conducción y características del entorno permitiendo generar un sistema de monitoreo confiable y eficiente.

Por ello se ha permitido estructurar en tres capítulos principales, el capítulo 1 realiza una revisión bibliográfica del estado del arte, el cual analiza modelos internacionales, contaminantes y estudios locales sobre emisiones, mientras que el capítulo 2 está enfocado a comparar los inventarios de emisiones del cantón frente al de otra ciudad, a través de análisis estadísticos, finalmente el capítulo 3 propone una alternativa metodológica basada en el modelo IVE argumentando su aplicabilidad para el cantón mediante evidencia técnica.

## **2 PROBLEMA**

### **2.1 Antecedentes**

La ciudad de Cuenca enfrenta un gran desafío en la gestión de calidad del aire, en la zona urbana el tráfico vehicular es la fuente más importante de emisión (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], s.f.), hoy en día el incremento del parque automotor ha sido un impedimento para poder mejorar o controlar la calidad del aire, acompañado de las limitaciones en la estimación de emisiones vehiculares. Actualmente, los modelos utilizados para estimar emisiones son, International Vehicle Emissions Model (IVE) el cual es una herramienta que se utiliza para estimar emisiones de gases contaminantes considerando varios factores con determinada flexibilidad para poder utilizarse en países en vías de desarrollo, y el modelo Computer Programm to calculate Emmissions from Road Tranport (COPERT) el cual es un modelo desarrollado en Europa para calcular y estimar las emisiones contaminantes, y están diseñados para trabajar bajo condiciones propias de donde fueron creados, permitiendo obtener resultados con márgenes de error casi nulos, por lo que aplicar estos modelos en la ciudad de Cuenca genera un alto nivel de incertidumbre, debido a factores propios del sector como las características del parque automotor, patrones de conducción y condiciones geográficas y meteorológicas.

### **2.2 Importancia y alcance**

La falta de un inventario de emisiones vehiculares actualizado y adaptado a las condiciones locales de la ciudad de Cuenca impiden la implementación efectiva de un plan de mejora de gestión ambiental para la reducción de la contaminación del aire, por lo que el presente proyecto busca proponer una alternativa para reducir la incertidumbre y mejorar la estimación de emisiones vehiculares, que puede ser utilizado para establecer políticas más efectivas y mejorar la gestión ambiental, esto se logra gracias a que esta alternativa estará basada en las características propias

de la ciudad, como su topografía, posición geográfica, parque automotor, estilos de conducción, entre otros factores influyentes.

Además, este proyecto se basa en los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) número 11 ciudades y comunidades sostenibles, al crear nuevas y mejoradas políticas permitiendo reducir el impacto ambiental negativo de la ciudad prestando especial atención en la calidad del aire. Y a la vez, se centra en el objetivo 12, fomentar modelos de desarrollo sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al cambio climático.

### 2.3 Delimitación

El presente trabajo se desarrolla en la provincia del Azuay, cantón Cuenca, ubicada al sur del Ecuador con una altura de 2500 msnm y una extensión de 70.59 km<sup>2</sup> y una población de aproximadamente 596.101 habitantes.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Realizar una propuesta de optimización del inventario de emisiones por fuentes móviles en Cuenca mediante el análisis del entorno vehicular para mejorar la gestión ambiental.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Estudiar el estado del arte mediante la revisión bibliográfica para determinar las metodologías implementadas por diversos autores para establecer los inventarios de emisiones vehiculares basado en variables como el tráfico, altitudes elevadas, topografía, el estado físico de las vías y factores de emisiones.
- Analizar los resultados del inventario de emisiones vehiculares de Cuenca comparando con los de otras ciudades seleccionadas.
- Proponer una alternativa metodológica de mejora en el inventario de emisiones vehiculares basada en los resultados obtenidos mediante el análisis de variables propias de la ciudad.

## 4 ESTADO DEL ARTE

### 4.1 Emisiones Contaminantes

Las emisiones contaminantes son sustancias químicas o partículas las cuales son liberadas hacia el medio ambiente, en gran parte a la atmósfera, siendo las principales responsables de problemas ambientales como el calentamiento global, la lluvia ácida y daños a la salud pública, incluyendo enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Martí, s.f.). En el campo vehicular estas emisiones provienen de la ignición de combustibles fósiles en los motores de combustión interna, generando como resultado gases contaminantes como monóxido de carbono (CO), óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>), material particulado (PM), compuestos orgánicos volátiles (COV) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), siendo este último un gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático. (Méndez, 2018).

### 4.2 Gases Contaminantes

#### 4.2.1 Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que se genera como resultado de la combustión incompleta del carbono presente en los combustibles fósiles, especialmente en los motores de vehículos. Este compuesto representa un riesgo severo para la salud humana debido a su alta similitud con la hemoglobina con la cual se une, reduciendo la capacidad de transportar oxígeno en la sangre por los tejidos del cuerpo, además este gas puede interferir con los procesos responsables del metabolismo.

#### 4.2.2 Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

El dióxido de carbono es un gas inodoro e incoloro indicador de una combustión completa de combustibles fósiles como la gasolina y diésel en motores de vehículos, dicho contaminante no

representa un riesgo inmediato para la salud humana en condiciones normales, pero es el principal gas de efecto invernadero debido a que su acumulación en la atmósfera contribuye con el aumento de temperatura global al retener el calor irradiado por la superficie terrestre.

#### 4.2.3 Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Los compuestos orgánicos volátiles son compuestos formados por átomos de hidrógeno y carbono, esto gracias a la combustión incompleta o parcial en el motor resultando en residuos no oxidados, este tipo de gases interactúan con los óxidos de nitrógeno bajo la acción de la radiación del sol, promoviendo la formación de ozono troposférico, el cual es un componente clave del smog fotoquímico, dicho ozono actúa como contaminante secundario causando irritación ocular, afectando al sistema respiratorio y agravando enfermedades pulmonares.

Ciertos hidrocarburos emitidos por el escape de los autos son considerados compuestos tóxicos y están asociados con riesgos de cáncer generando una alerta en la salud pública.

#### 4.2.4 Óxidos de nitrógeno (NOX)

Los óxidos de nitrógeno hacen referencia al monóxido y dióxido de nitrógeno, dichos contaminantes se generan durante procesos de combustión en los que los motores alcanzan elevadas temperaturas y presiones en presencia excesiva de oxígeno, generalmente en vehículos con motores a diésel, dichos contaminantes tienen efectos perjudiciales sobre la salud respiratoria debido a que actúan como precursores del ozono troposférico contribuyendo a la formación de contaminantes secundarios y afectando la integridad del sistema respiratorio.

#### 4.2.5 Material Particulado (PM)

El material particulado hace referencia a una parte de los contaminantes atmosféricos sólidos y líquidos cuyas dimensiones son por lo general 1,3 micrones de diámetro, está compuesto

por una mezcla de hollín, hidrocarburos condensados y compuestos de azufre, este material puede estar dividido de acuerdo a su tamaño por lo general PM 2.5 o PM10.

La exposición prolongada a concentraciones elevadas de PM se asocia con múltiples efectos adversos para la salud, incluyendo irritación en vías respiratorias, enfermedades pulmonares e incluso cáncer.

#### 4.3 Factor de emisión

El factor de emisión es la relación entre la cantidad promedio de contaminante emitido hacia el ambiente por unidad de actividad o tiempo, por ejemplo, gramos de contaminante por kilómetro recorrido o por litro de combustible consumido (Binder, 2014; Tipanluisa et al., 2017). La importancia de estos factores radica en la estimación de emisiones totales de una fuente móvil, gracias a que relacionan la actividad vehicular con la cantidad de contaminantes liberados, pero una gran limitante es su forma compleja de determinación debido a que depende de múltiples variables como el tipo de vehículo, tecnología del motor, calidad de combustible, condiciones de manejo y ambiente geográfico. Por ello, para obtener estimaciones precisas, es necesario adaptar y validar los factores de emisión con datos locales que reflejen las condiciones específicas del parque automotor y el entorno (Méndez, 2018)

#### 4.4 Inventario De Emisiones

Un inventario de emisiones es un registro sistemático y cuantitativo de las emisiones contaminantes a la atmósfera procedentes de diferentes fuentes en una área y periodo determinados (Méndez, 2018). Las fuentes de registro pueden ser fijas o móviles, en el caso de estas últimas el inventario integra información referente a el parque vehicular, factores de emisión y actividad

vehicular, con lo cual se logra estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos como CO, NO<sub>x</sub>, COV y PM.

La creación de este tipo de inventarios es fundamental pues con ello se puede mejorar la gestión ambiental, diseñando políticas públicas para mitigar las emisiones a partir de la evaluación de tendencias.

#### 4.5 Incertidumbre

La incertidumbre en un inventario de emisiones se refiere a la falta de precisión en la estimación de las emisiones debido a limitaciones en los datos, modelos y supuestos empleados (Méndez, 2018). Dentro del contexto de fuentes móviles, este tipo de incertidumbre se puede generar por la variabilidad en las características del parque vehicular, calidad de los factores de emisión, falta de datos locales y diferencia en los patrones de conducción.

#### 4.6 Modelos internacionales de estimación

##### 4.6.1 MOBILE

MOBILE es un modelo de estimación de emisiones desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) desde 1978, dicho modelo es una herramienta diseñada para estimar tasas de emisiones contaminantes generadas por vehículos motorizados en operación terrestre (U.S. Environmental Protection Agency [EPA], s.f.), la estimación de emisiones se determina en unidades de masa por tiempo o por distancia recorrida destinada para autos, motocicletas, camiones y autobuses.

La estructura metodológica de dicho modelo se basa en un sistema de estimación macroscópica de factores de emisión considerando variables como la edad de parque automotor, tipo de combustible, sistema de control de emisiones, velocidad promedio, temperatura del

ambiente y perfiles horarios de operación, con ello estima gases contaminantes como monóxido de carbono CO, óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, compuestos orgánicos volátiles COV, material particulado PM, amoníaco NH<sub>3</sub>, dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, además de contaminantes tóxicos como el plomo, fuentes de escape, evaporativas y materiales resultantes del desgaste de frenos y neumáticos.

La principal limitación del modelo es la restringida capacidad para representar variaciones espaciales y temporales con precisión, además de la dificultad de adaptarse a contextos urbanos con flotas vehiculares de distintos tipos.

#### 4.6.2 COPERT

El modelo de estimación Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport (COPERT) es una herramienta desarrollada en el marco del programa europeo de cooperación medioambiental (EMEP/EEA), el objetivo de este modelo es estimar las emisiones atmosféricas procedentes de fuentes vehiculares.

Dicho modelo distingue emisiones según diferentes tipos de trayectorias ya sea urbanas, interurbanas o autopistas, y según condiciones de operación en frío o caliente, además incorpora normativas europeas de emisiones para clasificar la flota según Euro, permitiendo evaluar la evolución temporal de las emisiones en función a la implementación de tecnologías renovadas y regulaciones ambientales más estrictas (Freire, 2021), gracias a ello el modelo estima emisiones de gases contaminantes como el monóxido de carbono CO, óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, hidrocarburos totales THC, partículas en suspensión PM, dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, amoníaco NH<sub>3</sub> y óxidos de azufre SO<sub>2</sub>.

Las principales fortalezas de este modelo radican en su constante actualización bajo las directrices del EMEP/EEA, equilibrándolo con las normativas europeas de reporte ambiental, además de permitir adaptar los cálculos a diferentes niveles de descomposición según la información disponible de los factores necesarios, aun que dicho modelo esta optimizado para zonas europeas se puede adaptar a contextos de otros países que tengan la cantidad de información necesaria.

#### 4.6.3 IVE

El modelo internacional de emisiones de vehículos por sus siglas en inglés IVE, es una herramienta computacional desarrollada por el International Sustainable Systems Research Center (ISSRC) con el fin de estimar la cantidad de emisiones contaminantes provenientes de fuentes móviles en contextos urbanos y en países en desarrollo.

La característica principal del modelo se basa en la capacidad de adaptar los factores de emisión a condiciones locales específicas mediante la recolección de datos empíricos sobre el comportamiento operativo de los vehículos, tipo de combustible, tecnologías presentes en la flota y condiciones ambientales (International Sustainable Systems Research Center [ISSRC], 2008), con ello se permite estimar emisiones de gases como monóxido de carbono CO, compuestos orgánicos volátiles COV, óxidos de nitrógeno NOx, material particulado PM y dióxido de carbono CO2, para contextos en donde las ciudades constan de un parque automotor con tecnologías heterogéneas y características topográficas propias.

El modelo mencionado aplica factores de emisión ajustados que reflejan las condiciones reales de operación, permitiendo una estimación precisa de las emisiones a nivel urbano o institucional (Valencia et al., 2015)

#### 4.7 Investigaciones para el cantón

A continuación se presenta una recopilación de diversas investigaciones realizadas en el contexto del cantón Cuenca, los cuales abordan la problemática de las emisiones atmosféricas generadas por fuentes móviles, dichos estudios constituyen antecedentes clave para contextualizar la situación ambiental local y evaluar la aplicabilidad de modelos de estimación adaptados a las particularidades del cantón, a través de una revisión técnica de metodologías utilizadas, resultados obtenidos y condiciones operativas.

En la tesis de (Ortiz, 2021), se examina de manera detalla las metodologías y modelos empleados para la estimación de emisiones atmosféricas provenientes del parque automotor de la ciudad de Cuenca, se realiza un análisis comparativo de los modelos internacionales de estimación de emisiones MOBILE, MOVES, COPERT e IVE, de la cual deduce que el primer modelo mencionado presenta limitaciones significativas al ser desarrollado bajo normativas y condiciones específicas de EE.UU.

Además, se detalla que la confiabilidad de los resultados obtenidos mediante la aplicación de los modelos MOBILE 6 y COPERT se ven comprometidos por la incorporación de factores de emisión extrapolados de otras regiones, lo que se deduce como un elevado nivel de incertidumbre.

Finalmente, se concluye que los niveles de precisión para la época estaban limitados, debido a la carencia de datos locales específicos y a la aplicación de modelos que no están calibrados para las condiciones reales de la ciudad, por ello sugiere una replantación de un modelo de emisiones que se adapte de mejor manera a las condiciones de la ciudad, todo esto sustentado bajo un análisis previo.

Por otro lado, en el estudio que realiza (Urgiles, 2017), se presenta una propuesta metodológica para elaborar un inventario de emisiones de fuentes móviles en la ciudad de Cuenca, utilizando el modelo IVE, esto gracias a la necesidad de contar con una herramienta actualizada y ajustada a las condiciones locales, como la topografía, tipo de vías, parque automotor y combustibles utilizados, con el objetivo de estimar con precisión la carga contaminante atribuida por parte de este sector.

La investigación se realiza a partir de una revisión comparativa de metodologías implementadas en países como Estados Unidos, México, Chile y Colombia, en la cual identifica fortalezas y debilidades técnicas de los modelos MOBILE, COPERT y las guías de IPCC, incluyendo el análisis del inventario de emisiones más actual hasta la fecha de elaboración que era el del año 2014 señalando sus limitaciones como las variables no consideradas, condiciones topográficas y tipo de vía.

Finalmente, la propuesta metodológica de esta investigación se centra en adaptar el modelo IVE, incorporando tres componentes fundamentales que son los factores de emisión, actividad vehicular y caracterización de la flota, estableciendo el proceso detallado para llevar a cabo de manera correcta la estimación de emisiones mediante la aplicación de dicho modelo.

Otro de los estudios realizados, es por (Angamarca & Ávila, 2023) el cual tiene como propósito el desarrollo de un modelo específico para estimar emisiones contaminantes de vehículos particulares de la categoría M1 en la ciudad de Cuenca, considerando variables propias del entorno local, dicha investigación se plantea superar las limitaciones de modelos preexistente como COPERT y MOBILE 6, los cuales fueron diseñados bajo otros tipos de entornos diferentes a los de la localidad.

El modelo propuesto analiza características constructivas del vehículo como el año de fabricación, la marcha utilizada y el estilo de conducción, además resalta el valor de el volumen de circulación urbana, destacando la frecuencia de modelos representativos del parque automotor local.

La metodología planteada incluye la recopilación de datos a través de la base de registros de la empresa EMOV EP, análisis de literatura sobre los modelos de estimación y la aplicación de técnicas estadísticas multivariantes para establecer correlaciones entre las variables estructurales del vehículo y los niveles de emisión, llegando así a la conclusión de que el año de fabricación es un factor determinante de emisiones, con una tendencia a mayores emisiones en vehículos más antiguos y disminución de contaminantes en marchas superior, además demuestra que el patrón de conducción y el comportamiento mecánico influyen notablemente en la generación de contaminantes.

Por último, el estudio de (Rivera, 2024), propone una metodología para la estimación de emisiones atmosféricas generadas por fuentes móviles en el cantón Cuenca, orientada a proporcionar una herramienta técnica que permita evaluar el impacto del transporte terrestre en la calidad del aire local, dicho trabajo está en función a los lineamientos del modelo EMEP/EEA considerando COPERT como modelo, y adaptándolo a condiciones específicas del cantón.

Dicho trabajo identifica los sectores con mayor contribución a la carga contaminante, diferenciando entre vehículos particulares, de transporte público y de carga, a través de la recolección de datos primarios sobre el parque vehicular, la clasificación por categorías tecnológicas, kilometraje recorrido y tipo de combustible, por lo cual el autor concluye que la correcta planificación de políticas públicas ambientales requiere una base de datos sólida,

periódicamente actualizada la cual permita realizar simulaciones y proyección para escenarios futuros enfocados en mejorar la movilidad sostenible.

## **5 MARCO METODOLÓGICO**

### **5.1 Antecedentes de los inventarios de la ciudad**

El cantón Cuenca a lo largo de las últimas décadas ha desarrollado varios estudios enfocados a cuantificar la cantidad de contaminantes emitidos hacia la atmósfera provenientes de varias fuentes, plasmando los resultados en inventarios de emisiones correspondientes a los años 2011, 2014 y 2021.

Dichos inventarios señalan que las emisiones que generan mayor contaminación urbana son provenientes de fuentes móviles, por ello a continuación se detalla el procedimiento y los resultados obtenidos en el contexto de los tres inventarios mencionados.

#### **5.1.1 Inventario de Emisiones 2011**

Para el año 2011, Cuenca presenta el primer inventario oficial de emisiones del cantón, elaborado bajo el Dr. René Parra Narváez, por encargo de la EMOV EP, dicho estudio permitió identificar las principales fuentes de contaminación atmosféricas constituyéndose como una herramienta indispensable para la planificación ambiental local.

En dicho inventario se indica que, “El transporte y los vehículos son la principal fuente antropogénica de emisión de monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles” (Cabrera, 2011, p. [3]), para obtener estos resultados se aplicó el modelo de estimación de contaminantes MOBILE6-México adaptado a características del cantón como recorridos promedios, consumo de combustible, densidad, poder calorífico inferior del combustible (PCI) y

factores de emisión específicos sometidos a cálculos correspondientes a emisiones en caliente, en frío y evaporativas.

Dentro de este inventario también se detalla que para la época se contaba con un total de 126.275 vehículos, de los cuales el 88.7% eran vehículos a gasolina y el restante correspondían a los vehículos a diésel, además estos fueron clasificados por cilindrada y año modelo con el objetivo de obtener una estimación más precisa.

Además, se considera datos del consumo de combustible con un total de ventas registradas de 82.053.972 galones, de lo cual el 48,8% es gasolina extra, el 9,5% súper, el 25,7% diésel premium y el restante corresponde a diésel.

La figura 1, presenta en resumen los resultados de las emisiones atmosféricas obtenidos en dichos años correspondientes al tráfico vehicular y en donde se indica que esta fuente representa el mayor porcentaje de contaminación para cada tipo de gas analizado.

**Figura 1.**

*Resumen de emisiones atmosféricas del Cantón Cuenca durante el año 2011*

	NO		CO		COV		SO <sub>2</sub>		MP <sub>10</sub>		MP <sub>2.5</sub>		CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O	
	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%
Tráfico vehicular	8 160.6	76.4	37 337.8	91.9	4 691.6	34.4	631.3	30.2	390.9	39.9	364.6	42.7	726 871.5	52.2	180.0	4.4	55.7	73.1
Vegetación	0.0	0.0	0.0	0.0	2 916.6	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industrias	998.6	9.3	483.8	1.2	1 006.9	7.4	1 006.9	48.2	113.3	11.6	42.4	5.0	437 972.5	31.4	7.4	0.2	2.5	3.3
Térmica	1 257.7	11.8	270.7	0.7	102.7	0.8	441.3	21.1	83.9	8.6	83.9	9.8	50 871.3	3.7	0.6	0.0	0.2	0.3
Disolventes	0.0	0.0	0.0	0.0	3 451.8	25.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gasolineras	0.0	0.0	0.0	0.0	918.1	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GLP doméstico	181.8	1.7	28.4	0.1	6.1	0.0	0.0	0.0	12.0	1.2	12.0	1.4	166 885.9	12.0	2.5	0.1	11.5	15.0
Tráfico aéreo	35.1	0.3	47.7	0.1	7.6	0.1	7.3	0.3	0.4	0.0	0.4	0.0	10 328.6	0.7	0.5	0.0	0.4	0.5
Rellenos sanitarios	0.0	0.0	0.0	0.0	20.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10 815.7	0.0	3 855.1	95.3	0.0	0.0
Ladrilleras	51.0	0.5	2 465.4	6.1	534.2	3.9	4.1	0.2	353.4	36.0	349.3	40.9	66 704.6	0.0	0.2	0.0	5.9	7.7
Erosión eólica	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8	1.5	1.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Canteras	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	10 685	100	40 634	100	13 656	100	2 091	100	981	100	854	100	1 392 930	100	4046	100	76	100

Nota. Tomado de (Parra, 2014)

### 5.1.2 Inventario de emisiones 2014

El segundo inventario de emisiones también fue realizado por el Dr. René Parra Narváez, bajo la coordinación de la EMOV EP, el cual se publicó en el año 2014, siendo una actualización del estudio anterior. Para este inventario se introdujeron mejoras metodológicas y se usaron datos actualizados y más precisos a cerca del parque automotor, recorrido promedio y ventas de combustible. De igual manera este inventario dicta que lo vehículos con la principal fuente de contaminación en el cantón.

En el inventario de dicho año nuevamente se menciona la utilización del modelo MOBILE6-México adaptado a las condiciones del cantón, considerando recorrido promedio anual, tipo de vía, distribución horaria y factores de emisión, todo esto incluyendo tres tipos de emisiones, en caliente, en frío y evaporativas.

Además, se detalla la caracterización del parque automotor en el cual se estima un total de 147.105 vehículos, de los cuales el 88,4% corresponden a gasolina y el 11,6% a diésel, siendo clasificados por automóviles, camionetas, motocicletas, buses y camiones, información obtenida de RTV y la ANT y necesaria para estimar la edad, cilindrada y tipo de vehículo, mejorando la precisión de los factores de emisión aplicados.

También se reporta el consumo de combustible, para lo cual el inventario indica que se obtuvo una venta de 89.640.325 galones, de estos para la gasolina extra el consumo corresponde a un 52%, para el diésel premium un 41% y la gasolina súper un 7% del total.

En la figura 2, se presenta el resumen de los resultados de las emisiones, en la cual se indica que la mayor fuente de emisión se produce por el tráfico vehicular.

**Figura 2.**

*Resumen de emisiones atmosféricas del Cantón Cuenca durante el año 2014*

	NOx		CO		COV		SO2		PM10		PM2.5		CO2		CH4		N2O	
	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%
Tráfico vehicular	5981.0	71.2	58 283.4	94.9	6065.4	39.6	67.9	4.0	800.2	55.6	384.0	42.4	801 285.9	58.4	191.6	4.2	63.7	79.2
Vegetación	0.0	0.0	0.0	0.0	2982.0	19.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industrias	654.4	7.8	257.7	0.4	156.2	1.0	1025.9	60.4	73.1	5.1	52.1	5.7	374 845.9	27.3	8.8	0.2	1.6	2.0
Térmica	1553.8	18.5	334.4	0.5	126.8	0.8	595.0	35.1	102.1	7.1	102.1	11.3	63 578.7	4.6	0.7	0.0	0.3	0.4
Disolventes	0.0	0.0	0.0	0.0	4551.7	29.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gasolineras	0.0	0.0	0.0	0.0	851.1	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GLP doméstico	137.9	1.6	21.5	0.0	4.6	0.0	0.0	0.0	9.1	0.6	9.1	1.0	126 578.0	9.2	1.9	0.0	8.7	10.8
Tráfico aéreo	24.2	0.3	36.0	0.1	5.4	0.0	4.3	0.3	0.3	0.0	0.3	0.0	6145.9	0.4	0.4	0.0	0.2	0.3
Rellenos sanitarios	0.0	0.0	0.0	0.0	32.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12 292.4	0.0	4381.5	95.6	0.0	0.0
Ladrilleras	51.0	0.6	2465.4	4.0	534.2	3.5	4.1	0.2	353.4	24.6	349.3	38.5	66 704.6	0.0	0.2	0.0	5.9	7.3
Erosión eólica	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.8	6.7	9.7	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Canteras	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total</b>	<b>8402</b>	<b>100</b>	<b>61 398</b>	<b>100</b>	<b>15 310</b>	<b>100</b>	<b>1697</b>	<b>100</b>	<b>1439</b>	<b>100</b>	<b>907</b>	<b>100</b>	<b>1 372 434</b>	<b>100</b>	<b>4585</b>	<b>100</b>	<b>80</b>	<b>100</b>

Nota. Tomado de (Parra, 2016)

### 5.1.3 Inventario de emisiones 2021

El inventario más reciente, es el correspondiente al año 2021, el cual marca un cambio significativo en la metodología y enfoque, el mismo fue desarrollado bajo la coordinación de la Dirección de Gestión Ambiental del Municipio de Cuenca, con apoyo del Ministerio del Ambiente y otras entidades, de igual manera que los anteriores inventarios se dice que las fuentes móviles siguen siendo la principal fuente de contaminación atmosférica.

En este inventario, se indica la utilización de un nuevo modelo de estimación de emisiones, el cual corresponde al modelo EMEP/EEA AIR Pollutant Emission Inventory Guidebook (CORINAIR), conjuntamente con el método planteado en el inventario del 2014, para ello se amplió el análisis para incluir no solo emisiones del tubo de escape es decir en frío y en caliente, sino también emisiones evaporativas, y a diferencia de los inventarios anteriores emisiones diurnas

y emisiones durante el recorrido, considerando factores de emisión, datos de recorrido promedio diarios y comportamiento en tráfico.

Además, se detalla la caracterización del parque automotor, en donde se estima un total de 153.351 vehículos en circulación, compuestos por automóviles, motocicletas, camionetas, camiones, buses y maquinaria pesada, información obtenida de la ANT, la RTV y el sistema de catastro vehicular, clasificando los vehículos por tipo, uso, edad, tipo de motor y tecnología de control de emisiones.

De igual manera, se utilizó información de consumo de combustible a través de las ventas reportadas las cuales fueron de 86.229.560 galones, correspondo el 58.3% a la gasolina eco país, un 37,2% a diésel premium y el restante a gasolina súper 4,7%.

La figura 3 presenta el resumen de las emisiones atmosféricas del cantón, en la cual se evidencia el alto nivel de contaminación de las fuentes móviles durante el año 2021.

**Figura 3.**

*Resumen de emisiones atmosféricas del Cantón Cuenca durante el año 2021*

	NOx		CO		COV		SO2		PM10		PM2.5		CO2		CH4		N2O	
	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%
Tráfico vehicular	6782.4	89.8	37 624.3	95.1	4201.2	31.8	16.8	1.5	860.1	73.3	534.3	65.0	756 655.4	66.3	203.8	4.1	83.1	83.3
Vegetación	0.0	0.0	0.0	0.0	2813.7	21.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industrias	555.5	7.4	286.3	0.7	176.5	1.3	1095.4	98.0	71.9	6.1	52.5	6.4	229 111.8	20.1	4.3	0.1	1.6	1.6
Térmica	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Disolventes	0.0	0.0	0.0	0.0	4752.4	36.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gasolineras	0.0	0.0	0.0	0.0	889.2	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GLP doméstico	162.2	2.1	25.3	0.1	5.4	0.0	0.0	0.0	10.7	0.9	10.7	1.3	148 890.4	13.0	2.3	0.0	10.2	10.2
Tráfico aéreo	15.2	0.2	31.1	0.1	4.5	0.0	3.2	0.3	0.4	0.0	0.4	0.0	4737.2	0.4	0.2	0.0	0.2	0.2
Rehenos sanitarios	6.3	0.1	2.6	0.0	29.5	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	2621.3	0.2	4786.6	95.8	0.0	0.0
Ladrilleras	32.6	0.4	1577.9	4.0	341.9	2.6	2.6	0.2	226.2	19.3	223.5	27.2	53 363.7	0.0	0.2	0.0	4.7	4.7
Erosión edifica	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Canteras	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total</b>	<b>7554</b>	<b>100</b>	<b>39 547</b>	<b>100</b>	<b>13 214</b>	<b>100</b>	<b>1118</b>	<b>100</b>	<b>1174</b>	<b>100</b>	<b>822</b>	<b>100</b>	<b>1 142 016</b>	<b>100</b>	<b>4997</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Nota. Tomado de (Parra et al., 2023)

A continuación, se indica en la tabla 1, la comparación de los resultados obtenidos en los inventarios mencionados anteriormente.

**Tabla 1.**

*Tabla comparativa de los inventarios de emisiones de la ciudad de Cuenca correspondientes a los años 2011, 2014 y 2021*

Descripción	Inventario 2011	Inventario 2014	Inventario 2021
Responsables	Dr. René Parra Narváez / EMOV EP	Dr. René Parra Narváez / EMOV EP	Dirección de Gestión Ambiental del Municipio/ Ministerio del Ambiente
Modelo de estimación	MOBILE6- México	MOBILE6- México	EMEP/EEA AIR Pollutant COPERT
Tipos de emisiones	En caliente, en frío, evaporativas	En caliente, en frío, evaporativas	En caliente, en frío, evaporativas, diurnas y durante el recorrido
Número de vehículos estimados	126.275	147.105	153.351
Distribución por tipo de combustible	88,7% gasolina, 11,3% diésel	88,4% gasolina, 11,6% diésel	89,9% gasolina, 10,1% diésel
Clasificación del parque automotor	Por cilindrada, año y modelo	Por tipo de vehículo, cilindrada y edad	Por tipo, uso, edad, tipo de motor y tecnología de control de emisiones
Consumo de combustibles	82.053.972	89.640.325	86.229.560

Distribución de consumo de combustibles	48,8% extra, 9,5% súper, 25,7% diésel premium, 16% diésel	52% extra, 7% súper, 41% diésel premium	58,3% eco país, 4,7% súper, 37,2% diésel premium
Fuente principal de contaminación	Fuentes móviles	Fuentes móviles	Fuentes móviles

## 5.2 Incertidumbre

En cada uno de los inventarios mencionados se incluye un análisis de incertidumbre, esto debido a la falta de claridad en la información y los métodos utilizados para la estimación de las emisiones.

La metodología utilizada en dichos inventarios es una evaluación cualitativa mediante una matriz de calificación basada en el enfoque Data Attribute Ratings Systems (DARS), esto debido a que no se puede definir la incertidumbre de manera cuantitativa ya que este tipo demandaría una gran cantidad de información de la cual no se disponía.

Según Ortiz (2021), en los inventarios de emisiones de Cuenca el tráfico vehicular tiene una clasificación medianamente fiable, gracias a que la actividad vehicular y el factor de emisión considerados tiene un nivel de incertidumbre tipo C.

A continuación, se presentan los resultados de las incertidumbres correspondientes a los inventarios del cantón, la figura 4 corresponde a los resultados del año 2011, la figura 5 a los resultados del año 2014 y finalmente la figura 6 al año 2021.

**Figura 4.**

*Resumen de evaluación de incertidumbre de las emisiones provenientes por fuentes móviles de Cuenca correspondientes año 2011*

		NO	CO	COV	SO <sub>2</sub>	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2.5</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Actividad	Factor emisión	Estimación
Tráfico vehicular	Automóvil, gasolina	10.1	34.0	15.7	1.0	1.6	1.0	9.3	1.3	15.0	C	C	C
	Camioneta furgoneta, gasolina	5.1	12.6	3.2	0.8	1.1	0.7	7.8	1.1	13.5	C	C	C
	Jeep, gasolina	5.6	13.9	3.4	0.8	1.2	0.8	8.0	1.1	13.9	C	C	C
	Taxi, gasolina	3.7	9.1	1.6	0.4	0.6	0.4	3.4	0.4	6.7	C	C	C
	Pesados, gasolina	0.3	1.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.3	0.0	0.5	D	D	D
	Motos, gasolina	0.2	4.9	1.6	0.1	0.2	0.1	0.9	0.1	1.9	D	D	D
	Automóvil, diésel	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	D	C	C
	Jeep, diésel	0.2	0.1	0.1	0.5	0.3	0.3	0.4	0.0	0.4	D	C	C
	Camioneta furgoneta, diésel	2.1	1.1	1.1	4.6	2.4	2.6	3.8	0.1	3.6	D	C	C
	Buses, diésel	22.3	7.0	3.4	5.8	8.8	9.8	4.8	0.1	4.6	B	C	B
	Pesados, diésel	26.7	7.9	4.1	16.1	23.6	26.9	13.3	0.2	12.8	D	C	C
	Subtotal tráfico vehicular:	76.4	91.9	34.4	30.2	39.9	42.7	52.2	4.4	73.1			

Nota. Tomado de (Parra, 2014)

**Figura 5.**

*Resumen de evaluación de incertidumbre de las emisiones provenientes por fuentes móviles de Cuenca correspondientes año 2014*

		NOx	CO	COV	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Actividad	Factor de emisión	Estimación
Tráfico vehicular	Automóvil, gasolina	13.5	54.6	22.5	1.1	10.5	1.9	19.9	2.3	33.6	C	C	C
	Híbrido, gasolina	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	C	C	C
	Camioneta furgoneta, gasolina	6.9	21.8	3.7	0.4	3.1	0.6	7.6	0.9	12.3	C	C	C
	Taxi, gasolina	0.8	3.9	0.7	0.2	2.1	0.4	3.7	0.4	7.3	C	C	C
	Pesados, gasolina	0.1	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	C	D	D
	Motos, gasolina	0.3	4.1	1.8	0.1	1.0	0.1	1.4	0.2	2.8	C	D	D
	Automóvil, diésel	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.0	0.2	C	C	C
	Camioneta furgoneta, diésel	1.2	0.6	0.6	0.4	3.6	2.8	4.2	0.1	3.7	C	C	C
	Buses, diésel	22.2	4.1	4.5	0.5	9.2	9.6	5.6	0.1	5.1	C	C	C
	Pesados, diésel	26.3	4.9	5.6	1.3	25.7	26.8	15.6	0.2	14.0	C	C	C
	Subtotal tráfico vehicular:	71.2	94.9	39.6	4.0	55.6	42.4	58.4	4.2	79.2			

Nota. Tomado de (Parra, 2016)

**Figura 6.**

*Resumen de evaluación de incertidumbre de las emisiones provenientes por fuentes móviles de Cuenca correspondientes año 2021*

		NOx	CO	COV	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Actividad	Factor de emisión	Estimación
Tráfico Vehicular	Automóvil, gasolina	12.3	49.2	17.2	0.6	14.9	2.3	2.3	2.1	30.4	C	C	C
	Híbrido, gasolina	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.2	C	C	C
	Camioneta furgoneta, gasolina	5.4	18.9	2.8	0.2	2.9	0.5	0.5	0.8	10.5	C	C	C
	Taxi, gasolina	0.6	2.5	0.4	0.1	2.8	0.4	0.4	0.4	5.8	C	C	C
	Pesados, gasolina	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	C	D	D
	Motos, gasolina	0.8	11.7	3.3	0.0	2.8	0.4	0.4	0.2	2.5	C	D	D
	Automóvil, diésel	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.0	0.2	C	C	C
	Camioneta furgoneta, diésel	2.4	0.9	0.7	0.1	7.8	7.9	7.9	0.2	8.5	C	C	C
	Buses, diésel	14.8	2.1	2.7	0.1	9.3	11.9	11.9	0.1	4.9	C	C	C
	Microbuses, diésel	3.4	0.5	0.6	0.0	2.1	2.6	2.6	0.0	1.1	C	C	C
	Pesados, diésel	50.2	9.0	4.0	0.3	30.2	38.7	38.7	0.4	19.1	C	C	C
	Subtotal tráfico vehicular:	89.8	95.1	31.8	1.5	73.3	65.0	65.0	4.1	83.3			

Nota. Tomado de (Parra et al., 2023)

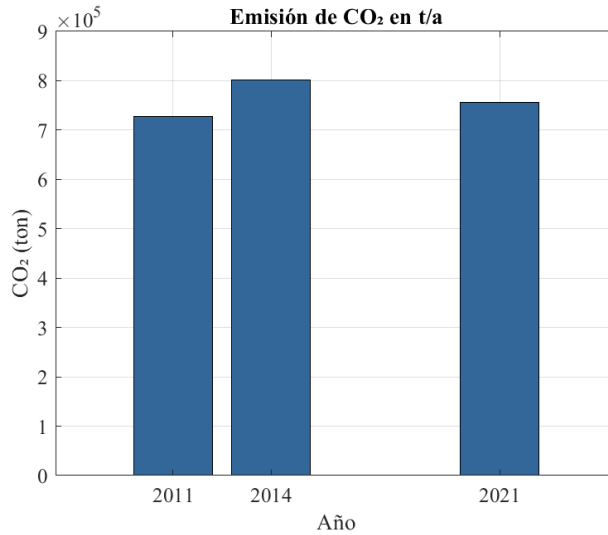
### 5.3 Evolución de los gases contaminantes

Como se ha descrito anteriormente en los tres últimos inventarios de emisiones del cantón, la fuente con mayor número de contaminación son las móviles, por ello a continuación se detalla de forma individual como ha ido evolucionando cada contaminante con el paso del tiempo.

La figura 7 representa la variación de las emisiones de dióxido de carbono en la ciudad durante los años mencionado, dichos valores expresados en toneladas. De lo cual se evidencia que, en el año 2011, las emisiones se sitúan por encima de  $7,4 \times 10^{-5}$  ton, en comparación con el año 2014 en el cual se registra un incremento significativo a más de  $8,2 \times 10^{-5}$  ton, mientras que para el año 2021 existe una reducción de  $7,8 \times 10^{-5}$  ton.

**Figura 7.**

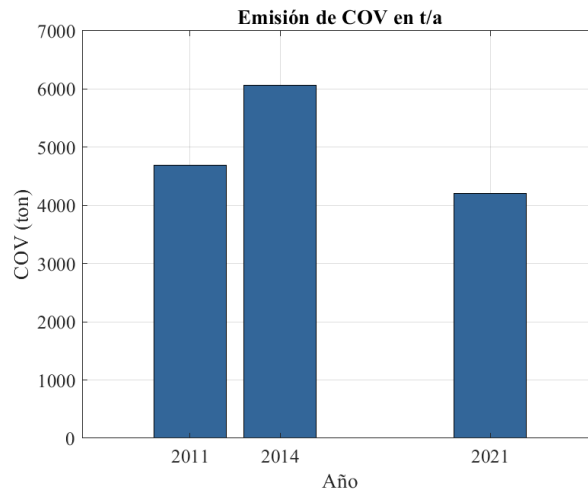
*Evolución de CO<sub>2</sub> con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca*



En la figura 8, se presenta la variación de compuestos orgánicos volátiles emitidos por fuentes móviles en la ciudad, representado en toneladas, en el cual se demuestra que, en el año 2011, las emisiones se ubican aproximadamente en 4700 ton siendo esta la base de análisis, mientras que en el año 2014 existe un incremento de 30% con alrededor de 6100 ton y para el año 2021 se evidencia una reducción de un 31% con un total de 4200 ton.

**Figura 8.**

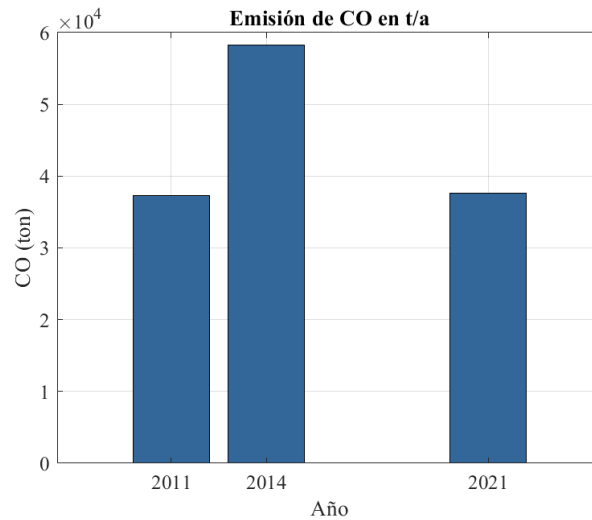
*Evolución de COV con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca*



En la figura 9 se evidencia la evolución de las emisiones de monóxido de carbono, la cual está representado en toneladas y en la que se evidencia que para el año 2011, existió una cantidad de  $3,6 \times 10^4$  ton la cual representa la base para el análisis, mientras que para el año 2014 se observa un crecimiento notable hasta tener  $5,9 \times 10^4$  ton, y para el 2021 las emisiones disminuyen hasta un  $3,8 \times 10^4$  ton, finalizando de una manera similar a los datos del año inicial.

**Figura 9.**

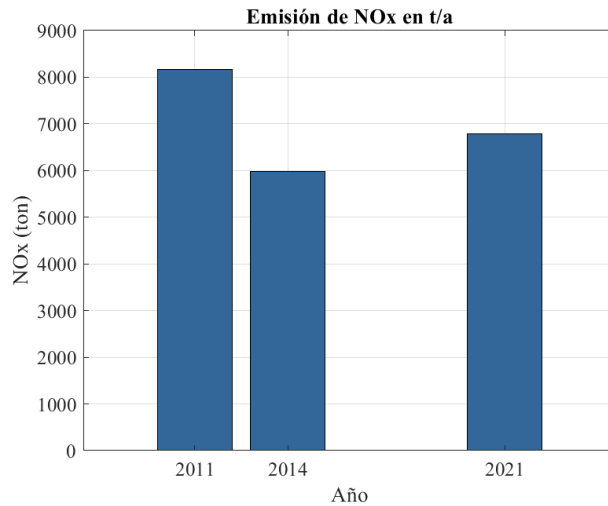
*Evolución de CO con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca*



En la figura 10, se evidencia la variación de las emisiones de óxido de nitrógeno desde las fuentes móviles en la ciudad, valor presentado en toneladas, y para el cual en el año 2011 se registra el nivel más alto con un total de 8200 ton, mientras que para el año 2014 existe una reducción del 26% llegando a tener 6000 ton, y para el 2021 las emisiones incrementan levemente con un total de 6800 ton.

**Figura 10.**

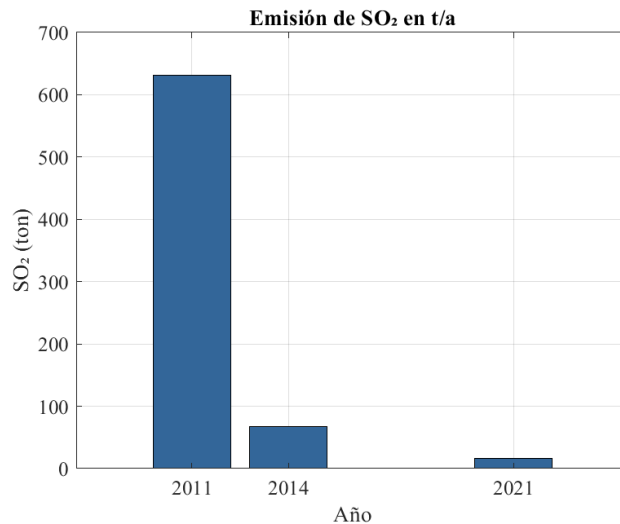
*Evolución de NOx con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca*



En la figura 11, se detalla la evolución de las emisiones de dióxido de azufre, las cuales están expresadas en toneladas por año, en la gráfica se evidencia una reducción drástica en los niveles de dicho contaminante, para el año 2011 se calcularon alrededor de 630 toneladas, mientras que en el 2014 se redujo aproximadamente a 70 toneladas y para el 2021 descendió mucho más llegando a un total de 17 toneladas.

**Figura 11.**

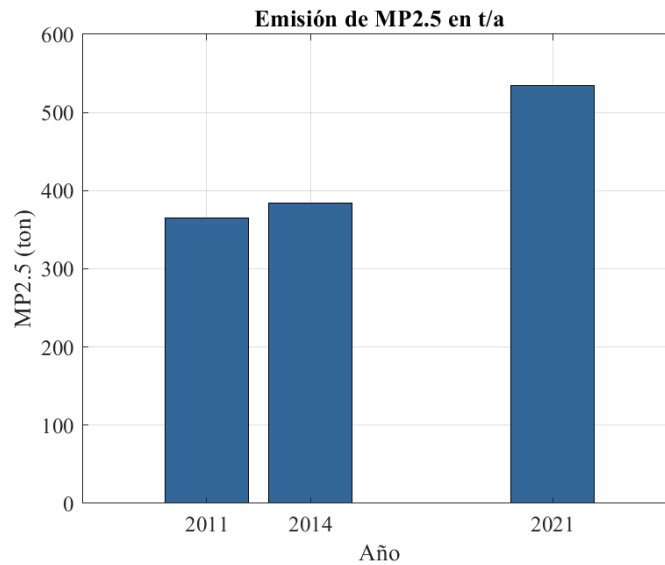
*Evolución de SO<sub>2</sub> con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca*



La figura 12, demuestra la evolución de las emisiones de material particulado fino, expresado en toneladas por año, dicha figura indica que en el año 2011 hubo aproximadamente 370 toneladas de este contaminante, para el año 2014 la tendencia incremento ligeramente hasta el 2021 en el cual se evidenció un crecimiento significativo resultando en más de 530 toneladas.

**Figura 12.**

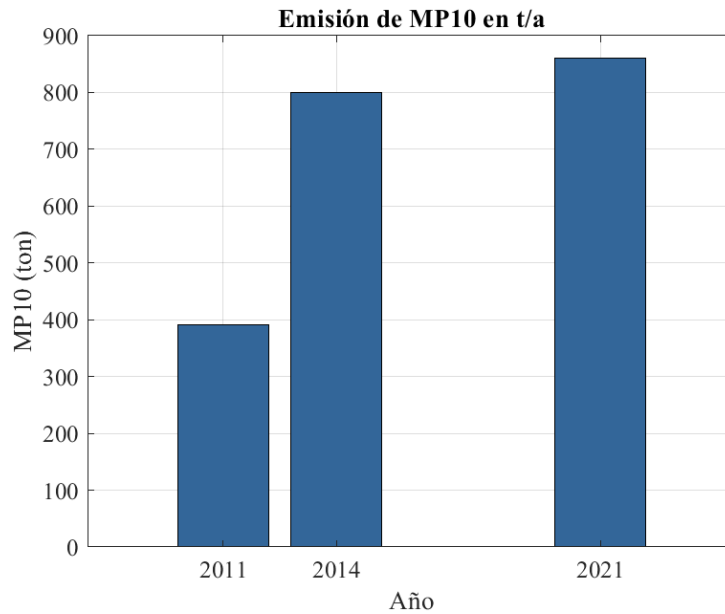
*Evolución de MP2.5 con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca*



En la figura 13, se indica la evolución de las emisiones de material particulado menor o igual a 10 micras, para lo cual se observa un incremento significativo, pasando de aproximadamente 430 toneladas en 2011 a más de 800 toneladas en 2014 y para el 2021 supera las 850 toneladas.

**Figura 13.**

*Evolución de MP10 con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca*



#### 5.4 Análisis de relación entre contaminantes

El considerar únicamente los valores de cada contaminante sirve como una limitante para la caracterización de emisión, razón por la cual se debería considerar también la evaluación de relaciones entre los mismos, ya que ofrece una perspectiva cualitativa sobre el comportamiento del parque automotor, eficiencia de la combustión, el tipo de fuente predominante y el riesgo sanitario que esto conlleva.

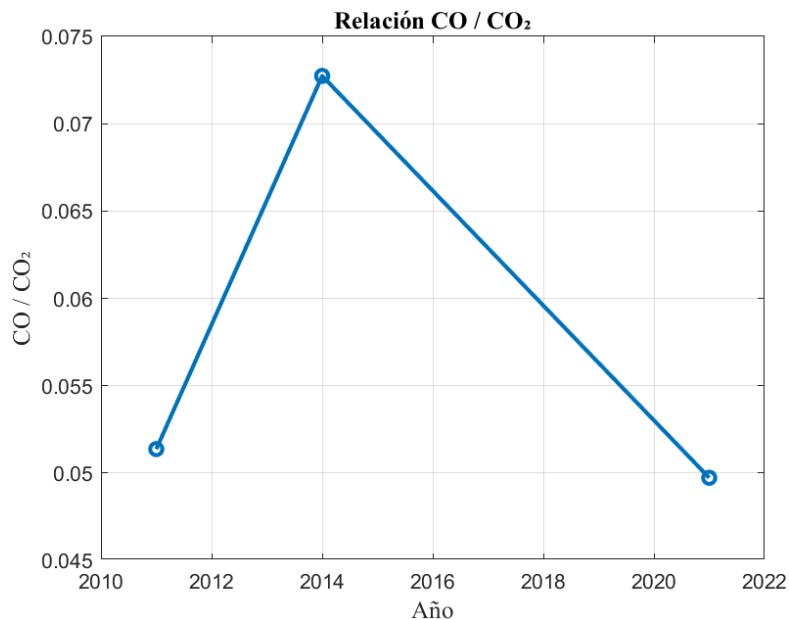
Por ello se presenta una serie de relaciones entre distintos contaminantes, los cuales permitirán identificar años críticos, posibles fallas en la gestión del parque vehicular o señales de mejora en la tecnología. Cada uno de estos constan de representación gráfica y son analizados de acuerdo con los años 2011, 2014 y 2021.

Inicialmente se analiza una relación  $CO/CO_2$ , la cual permite evidenciar la eficiencia de la combustión promedio del parque automotor de Cuenca a lo largo del tiempo, en la figura 14 se

indica la evolución de la relación entre las emisiones de monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), para el año 2011 se obtiene un valor aproximadamente de 0.052 lo que indica un nivel aceptable de eficiencia para un parque automotor propio de la época, mientras que en el año 2014 se evidencia un aumento significativo llegando a 0.073 lo que indica una reducción en la eficiencia de la combustión debiéndose a varios factores como incremento de vehículos sin mantenimiento, mayor carga y congestión vehicular y deterioro de la calidad de combustible, para el año 2021 la relación disminuye notablemente a 0.050 lo cual representa una mejora fundamental en la eficiencia de la combustión de los vehículos.

**Figura 14.**

*Análisis de relación entre el CO y el CO<sub>2</sub>*

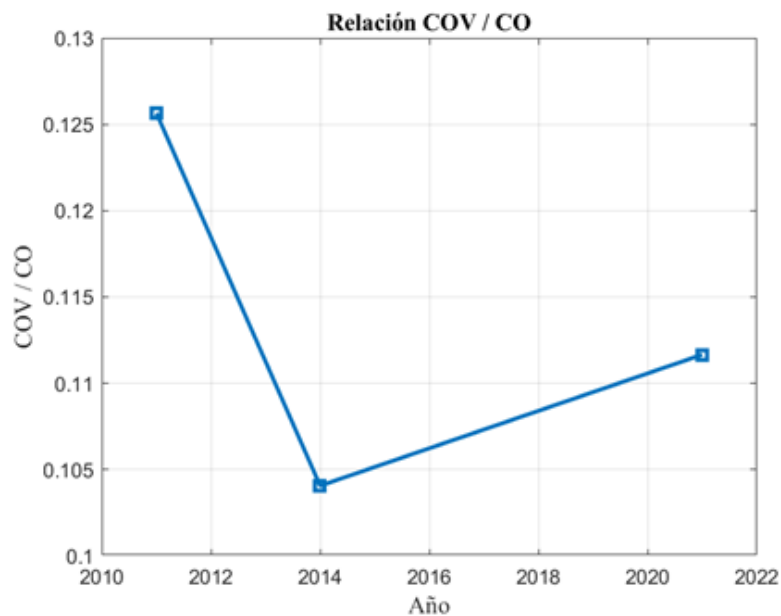


La relación entre compuestos orgánicos volátiles y el monóxido de carbono permite analizar el comportamiento de la combustión incompleta en vehículos a gasolina es decir qué tanto de los hidrocarburos están presentes en relación con el CO producido, por lo cual en la figura 15 se observa la evolución entre estos compuestos, para el año 2011 se observa el valor más alto

cercano a 0.126, lo cual indica que por cada unidad de CO se liberó un gran cantidad de COV, lo cual puede estar asociado a vehículos con sistema de evaporación defectuoso o mayor presencia de vehículos carburados, para el año 2014 se observa el valor más bajo aproximadamente 0.104 indicando una reducción notable reflejando un mayor control sobre los sistemas evaporativos o actualización en el parque automotor, por último en el año 2021 se registra un leve incremento lo cual podría deberse a degradación de los sistemas evaporativos, gasolina con características más volátiles o condiciones ambientales más favorables.

**Figura 15.**

*Análisis de relación entre el COV y el CO*

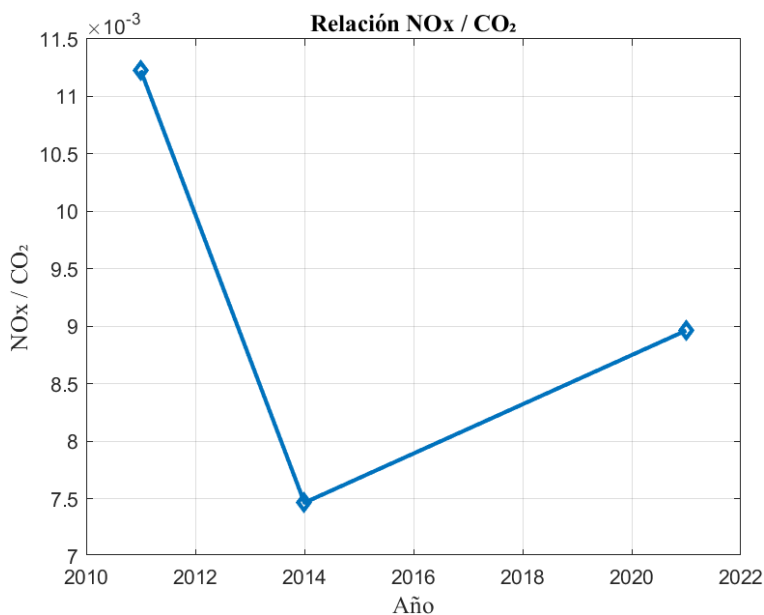


La intensidad de formación de NOx con respecto al CO<sub>2</sub> oxidado permite deducir aspectos sobre el tipo de combustión y tecnología de motorización, los valores de esta relación se representa en la figura 16, la cual involucra los óxidos nitrógenos sobre el dióxido de carbono, en el año 2021 se observa un valor máximo de relación aproximadamente 0.0113 lo que indica la presencia significativa de vehículos en este caso diésel antiguos los cuales son las principales fuentes de emisión de NOx debido a su principio de funcionamiento, para el año 2014 se observa una notable

disminución llegando a un valor de 0.0074, lo cual implica una mejora en el control de emisiones de NOx lo que pudo estar asociado a retiro de flota obsoleta, incremento de vehículos con mejores normativas y mejores condiciones de combustión, finalmente para el año 2021 se registra un crecimiento leve aproximadamente 0.009 reflejando un rebrote en la proporción de vehículos o deterioros en flotas anteriores.

**Figura 16.**

*Análisis de relación entre el NOx y el CO<sub>2</sub>*

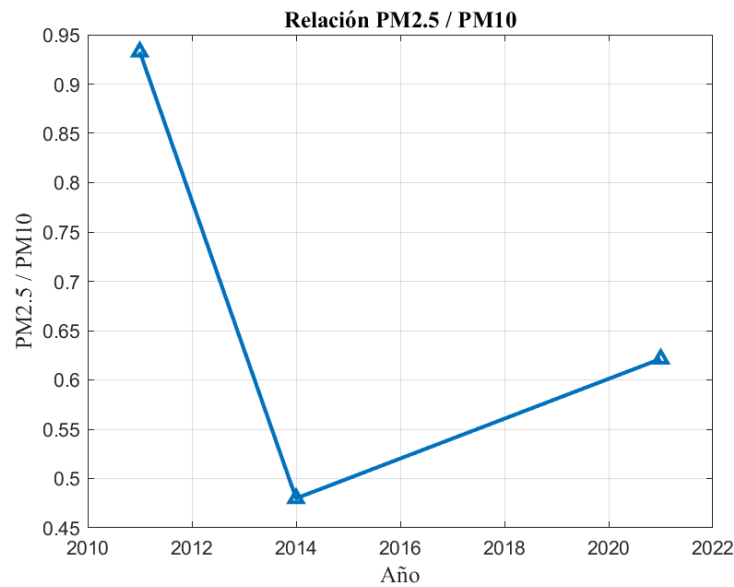


Analizar la cantidad de particular finas las cuales son las más dañinas debido a su tamaño y facilidad de penetrar profundamente en el sistema respiratorio, permitirá tomar mejores decisiones en la mejora ambiental y salud pública, en la figura 17, se muestra la evolución de la relación entre las emisiones de material particulado fino y material particulado total, en el año 2011 se registra el valor más alto de relación 0.93 lo que indica que la mayoría del material particulado correspondía a PM<sub>2.5</sub> pudiendo deberse a fuentes de combustión incompleta o bajo nivel de emisiones asociadas a polvo, mientras que para el año 2014 se observa un descenso significativo, lo cual indica una mayor participación de partículas gruesas, y finalmente para el

2021 el cociente se vuelve a incrementar aproximadamente a 0.63 esto puede deberse a renovación parcial de la flota diésel, reducción de fuentes de polvo por mejoras de infraestructura o recuperación parcial del componente de partículas finas debido el aumento de tránsito o emisiones por frenado.

**Figura 17.**

*Análisis de relación entre el PM2.5 y el PM10*



### 5.5 Características geográficas del cantón.

El cantón Cuenca se sitúa en el valle interandino de la sierra sur, cuenta con un área urbana de 72 Km<sup>2</sup>, la cual se distribuye en tres terrazas, la primera denominada loma de Cullca, tiene una altura de 2560 hasta 2620 msnm, la segunda comprende el centro histórico con alturas que varían desde los 2560 a 2520 msnm, y la última se consideran curvas de clase de 2500 a 2520 msnm (Moscoso, Astudillo, & Vázquez, 2015).

## 5.6 Características del combustible

En el Ecuador se comercializan algunos combustibles para los distintos tipos de vehículos, los cuales se dividen en gasolina eco país, gasolina super y diésel cada uno de estos combustibles poseen características propias detalladas y regularizadas por normas de calidad como la INEN 1489 y la INEN 935.

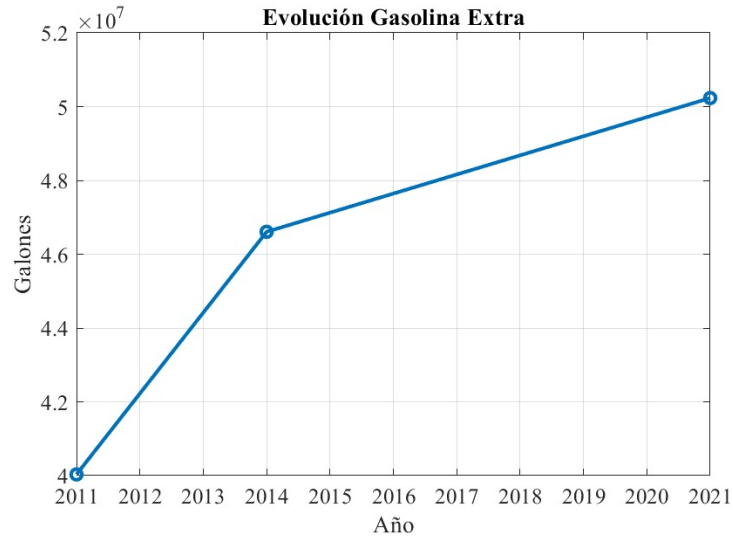
Como se señala en el boletín de EP Petroecuador (7 de marzo de 2022), el diésel comercializado en el país cuenta con un contenido promedio de azufre de 61 ppm en 2021, mientras que las gasolinas Extra y Super registran 235 ppm y 161 ppm, lo cual radica en un bajo contenido del componente mencionado, además menciona que cumplen la norma internacional EURO III desde el 2017.

A continuación, se presenta la evolución que ha tenido el consumo de combustibles en el cantón.

La figura 18, indica un incremento en el consumo de gasolina extra, en 2011 el consumo fue de aproximadamente  $4 \times 10^7$  galones, mientras que para el año 2014 se incrementó a  $4,7 \times 10^7$  y finalmente en el 2021 alcanzó los  $5 \times 10^7$  galones.

**Figura 18.**

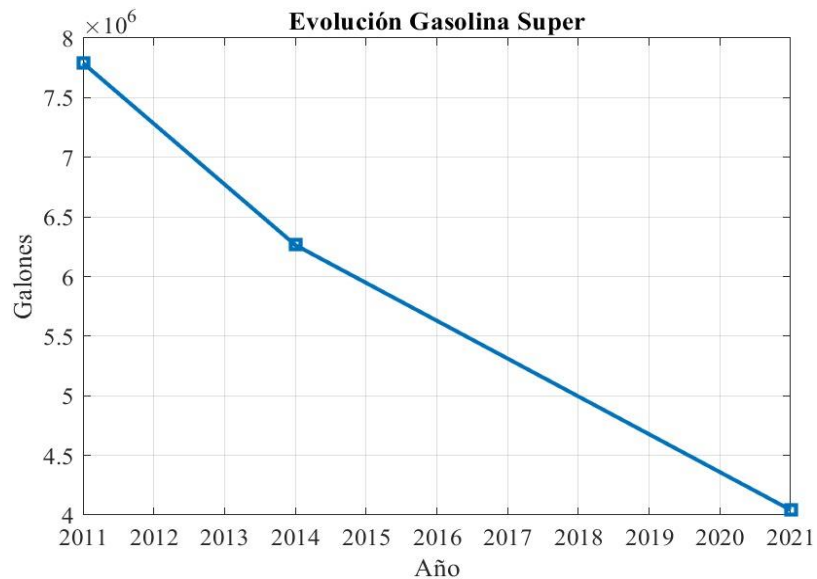
*Evolución de la gasolina extra con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca*



La figura 19, evidencia una tendencia descendente, para el 2011 se alcanzaron valores cercanos a  $7,8 \times 10^6$  galones, los cuales disminuyeron hasta llegar a  $4 \times 10^6$  galones para el año 2021, esto puede deberse a la diferencia de precios entre la gasolina extra y la super.

**Figura 19.**

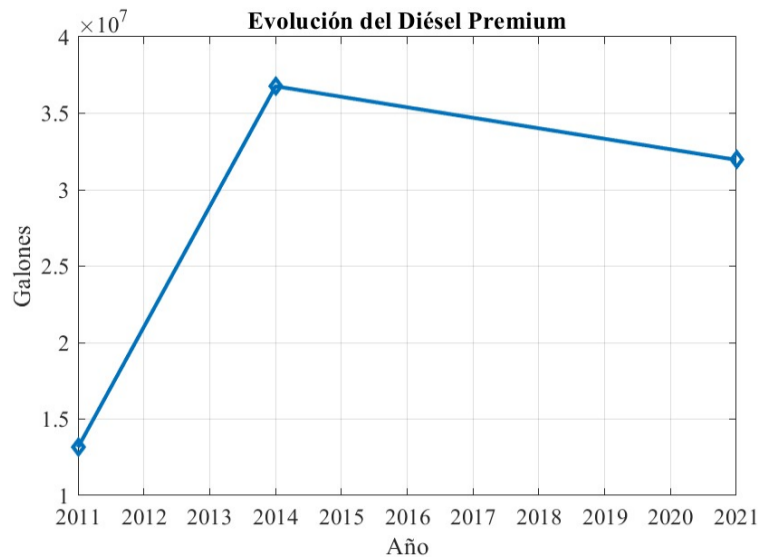
*Evolución de la gasolina super con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca*



Mientras que la figura 20, presenta un aumento significativo entre los años 2011 y 2014, pasando de aproximadamente  $1,3 \times 10^7$  a  $3,7 \times 10^7$  galones, seguido de una leve disminución hacia el 2021 con un consumo de aproximadamente  $3,3 \times 10^7$  galones.

**Figura 20.**

*Evolución del diésel con respecto a los años de los inventarios de emisiones de Cuenca*



### 5.7 Composición del parque automotor

Según los inventarios de emisiones, la composición del parque automotor considerada en la estimación de emisión fue fundamentada mediante el procesamiento de la base de datos de la revisión técnica vehicular (RTV), la cual pasó por un proceso de depuración realizada por la EMOV, y la cual fue complementada con datos de vehículos exonerados de RTV.

Además, esta composición fue clasificada en vehículos a gasolina, y vehículos a diésel, los cuales a su vez fueron subdivididos tal como se indica en las figuras 21 y 22.

**Figura 21.**

*Conformación del parque vehicular del cantón Cuenca correspondientes al año 2021. Vehículos que usan gasolina*

	Automóviles			Híbridos		Camionetas y furgonetas			Taxis		Pesados	Motos	Total
	<1400 cm <sup>3</sup>	1400-2000 cm <sup>3</sup>	>2000 cm <sup>3</sup>	<2000 cm <sup>3</sup>	>=2000 cm <sup>3</sup>	1400-2000 cm <sup>3</sup>	1400-2000 cm <sup>3</sup>	>2000 cm <sup>3</sup>	<1400 cm <sup>3</sup>	1400-2000 cm <sup>3</sup>			
1989 y anteriores	760	431	494	0	0	229	693	313	0	0	11	60	2 990
1990	324	50	36	0	0	27	2	88	0	0	2	3	531
1991	326	130	61	0	0	31	8	99	0	0	0	5	660
1992	342	320	147	0	0	41	17	146	0	0	3	8	1 023
1993	226	378	185	0	0	47	11	230	0	0	2	17	1 095
1994	310	686	188	0	0	94	19	387	0	0	2	20	1 707
1995	249	353	138	0	0	92	5	357	0	0	0	8	1 202
1996	321	525	89	0	0	45	17	320	0	0	3	11	1 332
1997	215	570	139	0	0	33	9	279	0	0	0	11	1 257
1998	379	925	309	0	0	34	20	472	0	0	2	13	2 153
1999	248	727	259	0	0	66	16	550	0	0	2	2	1 868
2000	53	107	143	0	0	0	9	52	0	0	0	11	375
2001	498	1 004	788	0	0	2	14	475	0	0	0	24	2 805
2002	472	1 555	1 015	0	0	9	5	807	0	0	0	71	3 933
2003	248	1 716	694	0	0	24	5	823	0	0	2	58	3 568
2004	193	1 717	500	0	0	14	3	700	0	3	0	81	3 212
2005	345	2 164	773	0	0	33	13	810	0	49	3	111	4 300
2006	503	2 180	1 119	0	0	22	14	1 028	0	132	3	128	5 129
2007	566	2 203	1 700	0	0	31	8	1 041	0	197	0	118	5 864
2008	433	1 937	1 421	3	0	3	6	1 003	5	193	2	132	5 137
2009	520	1 857	2 595	0	99	14	9	1 066	5	360	2	230	6 757
2010	329	1 591	2 521	53	362	8	5	940	6	400	0	241	6 456
2011	675	2 456	3 233	0	94	33	5	1 009	0	621	0	376	8 501
2012	658	2 195	2 156	77	24	139	0	747	0	490	2	555	7 044
2013	539	1 968	1 893	152	6	122	0	936	3	608	0	901	7 128
2014	599	1 486	1 608	20	3	17	2	531	11	320	0	1 166	5 762
2015	638	1 658	1 782	52	77	128	11	467	13	302	0	1 465	6 593
2016	207	998	917	3	33	27	8	219	2	274	0	926	3 614
2017	382	1 062	986	166	38	58	5	168	6	168	0	1 218	4 256
2018	1 050	2 199	1 384	165	6	39	8	260	50	381	0	3 028	8 569
2019	2 142	3 026	1 852	135	3	72	19	207	78	404	0	3 731	11 670
2020	1 445	2 352	895	42	0	6	5	5	49	116	0	4 568	9 482
2021	1 211	4 040	522	367	0	3	3	17	56	66	0	8 542	14 827
Total:	17 406	46 566	32 542	1 235	745	1 543	974	16 552	284	5 084	41	27 839	150 800
%	11.5	30.9	21.6	0.8	0.5	1.0	0.6	11.0	0.2	3.4	0.0	18.5	100.0

Nota. Tomado de (Parra et al., 2023)

**Figura 22.**

*Conformación del parque vehicular del cantón Cuenca correspondientes al año 2021. Vehículos que usan diésel*

	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Buses	Microbuses	Pesados y carga	Total
1989 y anteriores	7	0	0	1	70	79
1990	0	0	0	0	47	47
1991	0	0	0	0	26	26
1992	0	0	0	0	36	36
1993	1	1	0	0	17	20
1994	0	0	0	0	32	32
1995	0	6	0	0	40	46
1996	0	0	0	0	19	19
1997	0	1	0	0	21	23
1998	1	4	3	0	60	69
1999	0	1	9	0	79	89
2000	0	0	1	0	13	14
2001	1	11	21	4	128	166
2002	1	44	49	14	236	345
2003	0	96	36	10	159	301
2004	6	130	46	7	145	334
2005	53	152	53	17	185	460
2006	82	109	95	27	176	489
2007	96	119	59	10	278	562
2008	62	202	49	30	312	655
2009	76	552	46	17	367	1057
2010	43	486	54	4	216	804
2011	13	724	82	19	408	1245
2012	7	496	54	13	357	927
2013	10	685	56	21	436	1208
2014	10	646	105	34	335	1130
2015	11	797	62	29	524	1423
2016	21	357	46	23	291	738
2017	21	451	59	6	105	642
2018	69	724	130	19	297	1238
2019	59	467	433	69	304	1331
2020	4	110	279	33	318	745
2021	0	145	14	10	434	603
Total:	654	7516	1841	417	6471	16 903
%	3.9	44.5	10.9	2.5	38.3	100.0

Nota. Tomado de (Parra et al., 2023)

## 5.8 Parque vehicular del cantón Cuenca

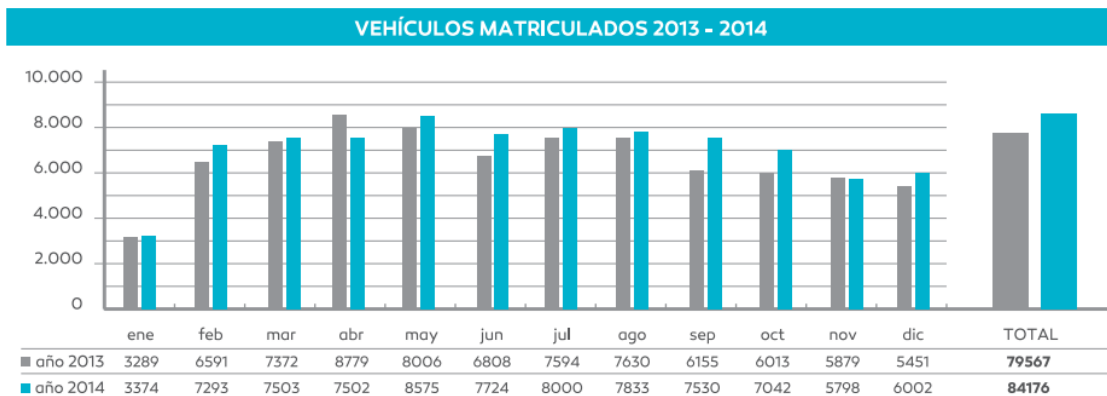
Mediante la indagación de varias fuentes de información perteneciente al cantón Cuenca se logró recopilar datos referentes al parque vehicular, con el objetivo de comparar cada uno de los registros y las coincidencias o discrepancias que presentan cada una, de lo cual se toma como

base los años correspondientes a las tres últimas publicaciones de los inventarios de emisiones contaminantes, siendo estos 2011, 2014 y 2021.

La base de datos se construyó con los informes de rendición de cuenta de la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV EP), en los cuales se registran la cantidad de vehículos matriculados en dichos años, presentados en las figuras 23 y 24.

**Figura 23.**

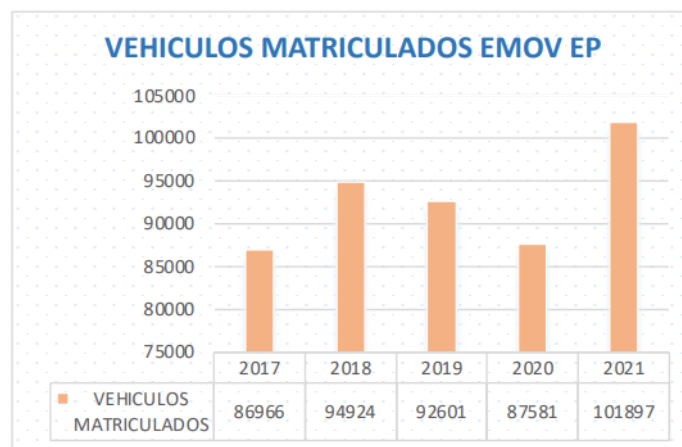
*Vehículos matriculados según la EMOV durante los años 2013-2014*



Nota. Tomado de (EMOV EP, 2014)

**Figura 24.**

*Vehículos matriculados según la EMOV durante los años 2017-2021*



Nota. Tomado de (EMOV EP, 2021)

Otra fuente de información acerca de vehículos matriculados en el cantón son los informes de la Calidad del Aire del cantón (CDA), en los cuales reflejan datos del número de vehículos que aprobaron las RTV del cantón, plasmados en la figura 25.

**Figura 25.**

*Vehículos matriculados según los informes de calidad del aire durante el año 2008-2023*

AÑO	VEHÍCULOS
2008	9261
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
2020	82 351
2021	90 715
2022	92 314
2023	103 303

Nota. Tomado de (Espinoza et al., 2024)

Finalmente se utilizó información del total de vehículos matriculados en la provincia del Azuay obtenida de (INEC, 2022; INEC, s. f.), debido a que como se mencionó anteriormente la provincia del Azuay registro un total de 801609 habitantes (INEC, 2023), de los cuales 596101 pertenecen al cantón Cuenca es decir el 74,4%, lo que significa que también el mayor índice de

contaminación se da en este cantón y por lo tanto involucrar dichos datos permitirán tener resultados apegados a la realidad.

#### 5.8.1 Análisis del parque automotor

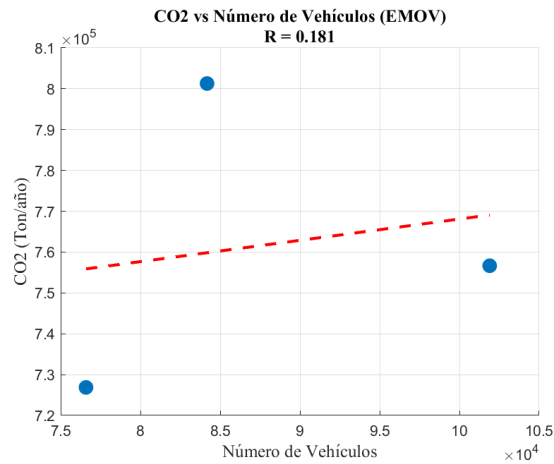
Analizar la evolución del parque automotor de la ciudad y la relación que tiene con las emisiones es uno de los puntos clave para determinar los aspectos en los cuales trabajar para así poder encontrar herramientas que ayuden a mejorar la gestión ambiental a partir de características propias de la ciudad.

En este caso se realizó el análisis con ayuda de MATLAB y mediante una matriz de correlación la cual determinará el efecto que tiene el número total de vehículos, información que ha sido registrada por las fuentes anteriormente mencionadas, frente a las emisiones anuales de los principales contaminantes atmosféricos asociados al parque automotor, información obtenida de los tres últimos inventarios de emisiones del cantón Cuenca.

El dióxido de carbono es uno de los gases más contaminantes que emiten los vehículos, este gas se relaciona directamente con la cantidad de trabajo del motor, y se forma a partir de una reacción química entre el combustible y el oxígeno, en el caso de la ciudad de Cuenca y según los datos registrados por la EMOV, se evidencia que las emisiones de dicho gas no aumentan de forma proporcional, en el año 2014 se alcanza un pico de emisiones cercano a las 800 mil toneladas, mientras que en el 2021 a pesar de que hubo un incremento significativo de vehículos existió una leve reducción en las emisiones de este gas, como se observa en la figura 26, además el análisis revela un coeficiente de correlación igual a 0.181, lo cual indica una correlación positiva pero muy débil entre las variables, es decir la relación no tiene un impacto relevante.

**Figura 26.**

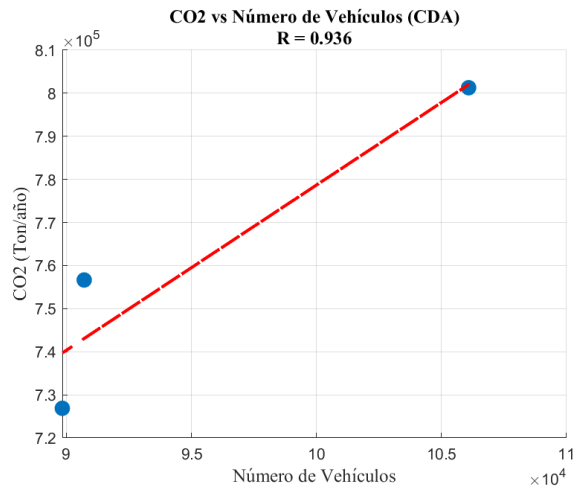
*Análisis de correlación entre el CO2 y el número de vehículos según la EMOV*



Mientras que, en los valores registrados por los informes de la CDA, se observa que se obtiene un valor de correlación de 0.936, lo cual indica una correlación positiva muy fuerte, es decir que existe una relación lineal entre el aumento en el número de vehículos registrados por dicha fuente y el incremento en las emisiones de este gas, tal como indica la figura 27, por lo que, a diferencia de los resultados obtenidos con los datos de la fuente anterior, estos sugieren que la fuente de la CDA debería tener mayor peso dentro de la metodología del inventario.

**Figura 27.**

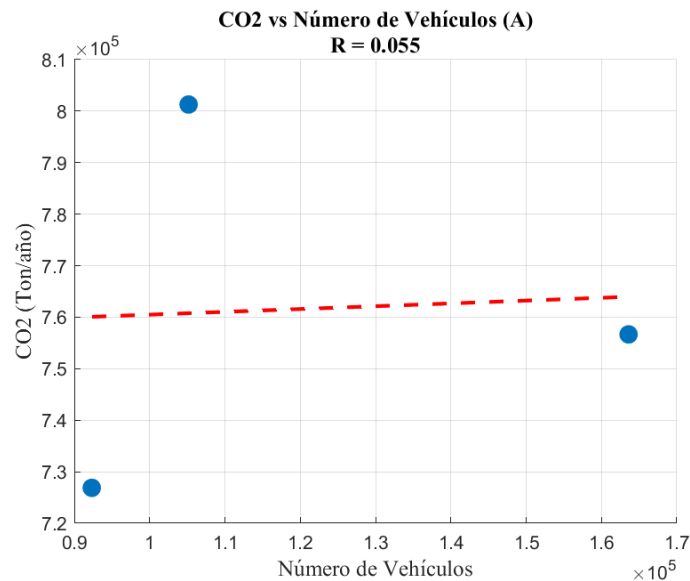
*Análisis de correlación entre el CO2 y el número de vehículos según la CDA*



Según los datos registrados de la provincia del Azuay, presentados en la figura 28, se obtiene un coeficiente de correlación igual a 0.055, lo cual indica una correlación nula, es decir no existe una relación lineal directa entre la cantidad de vehículos registrados y el volumen de emisiones por lo que existe una inconsistencia entre estas dos variables y al ser considerados no reflejarían el comportamiento real del parque automotor.

**Figura 28.**

*Análisis de correlación entre el CO2 y el número de vehículos según los datos de la provincia*

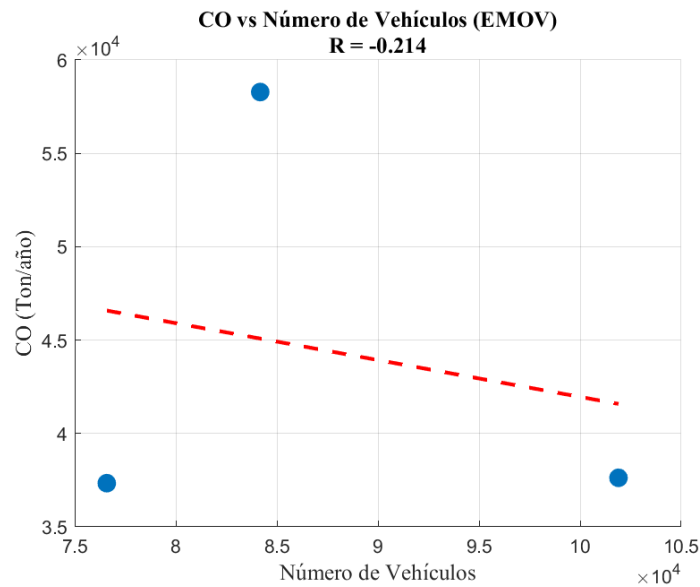


En el caso del monóxido de carbono se genera debido a la falta de oxígeno durante la combustión pues el combustible no logra oxidarse como debería, indica que mientras más bajo el valor menos contaminación emite, en la figura 29 se evidencia el comportamiento del número de vehículos registrados por la EMOV frente a la cantidad de emisión de este gas, se observa que en el año 2014 se registró el valor máximo de emisiones con un total de 58283 toneladas al año, mientras que para el año 2021 se evidenció una reducción significativa. Lo cual contrasta lo indicado en el coeficiente de correlación pues este indica una correlación negativa débil, lo que

significa que el incremento del número de vehículos no aumenta con las emisiones de CO y por lo tanto no es un buen predictor del comportamiento de las emisiones.

**Figura 29.**

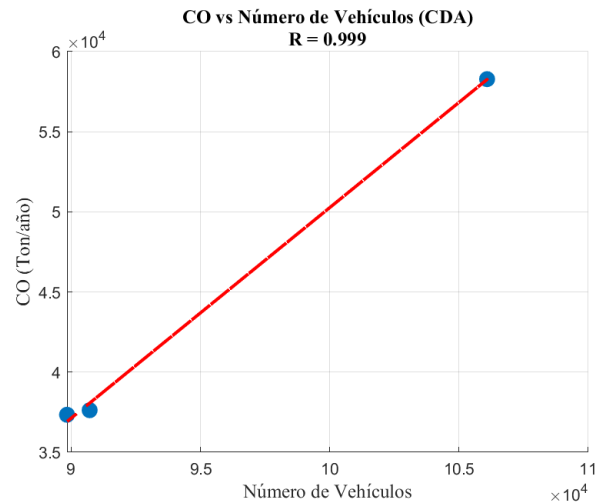
*Análisis de correlación entre el CO y el número de vehículos según la EMOV*



Los datos registrados en los informes de la CDA de la ciudad, se presentan en la figura 30, en la cual se visualiza los datos del número de vehículos existentes en la ciudad frente a las emisiones anuales de monóxido de carbono, en este caso se obtiene un coeficiente de correlación de 0.999, lo cual indica una correlación lineal perfecta y positiva, pues el aumento del parque vehicular involucra un incremento proporcional de las emisiones de monóxido, en comparación con los datos de la EMOV donde se demuestra una correlación negativa y débil, se puede considerar los datos de la CDA como más fiables y con mayor coherencia y precisión.

**Figura 30.**

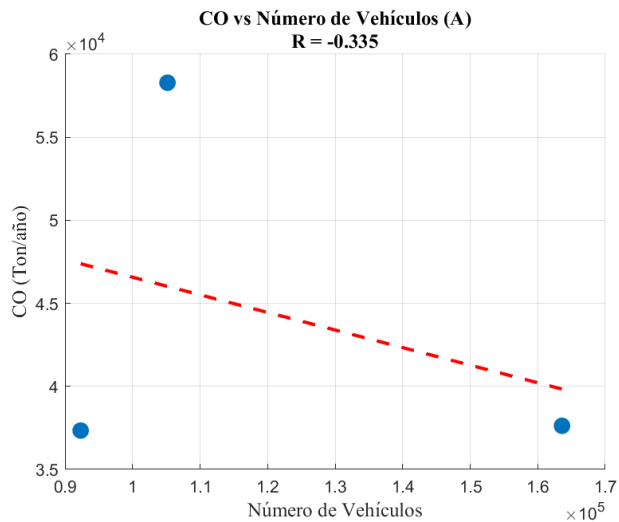
*Análisis de correlación entre el CO y el número de vehículos según la CDA*



Con los datos registrados de los vehículos dentro de la provincia del Azuay, se obtuvo los resultados presentados en la figura 31, en la cual se observa un coeficiente de correlación de -0.335, lo que indica una correlación negativa débil, es decir que a medida que el número de vehículos aumenta, las emisiones totales de CO tienden a disminuir, por lo que no refleja una relación proporcional esperada entre el número de vehículos y emisiones de dicho gas.

**Figura 31.**

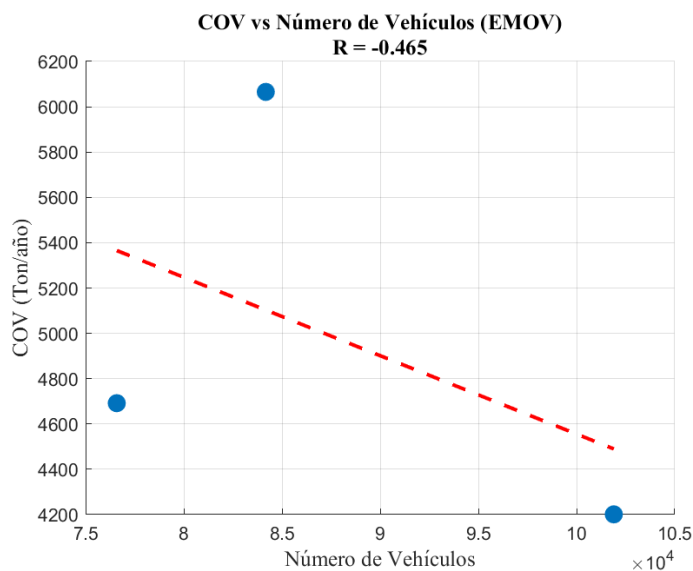
*Análisis de correlación entre el CO y el número de vehículos según los datos de la provincia*



Los compuestos orgánicos volátiles indican la presencia de hidrocarburos que no se quemaron completamente, los cuales son formados cuando existe problemas de encendido o inyección, en el caso de la ciudad de Cuenca y según registros de la EMOV, los cuales se observan en la figura 32, indican que con el paso del tiempo los vehículos tienden a emitir menos COV esto evidenciado con el valor del coeficiente de correlación de  $-0,465$  lo cual indica que a medida que el número de vehículos aumentan, las emisiones de dicho gas disminuyen de forma clara.

**Figura 32.**

*Análisis de correlación entre el COV y el número de vehículos según la EMOV*

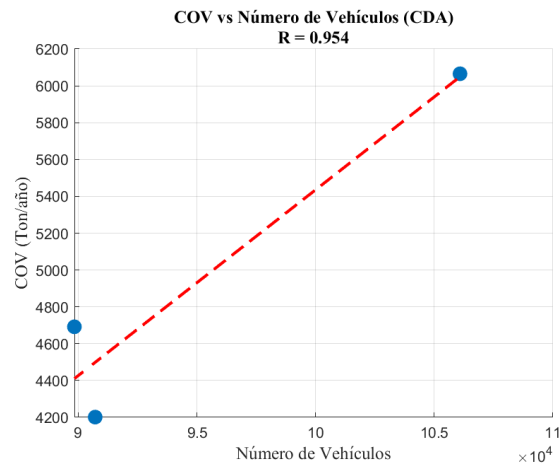


Para el caso de los datos registrados en los informes de CDA de la ciudad, se obtuvo los siguientes resultados demostrados en la figura 33, la cual indica la relación entre el número de vehículos y la emisión anual de compuestos orgánicos volátiles, en esta se obtiene un valor de correlación de  $0.954$ , lo que indica una correlación positiva muy fuerte entre las dos variables, reflejando una relación casi lineal y demostrando que a mayor número de vehículos mayores serán las emisiones de COV, y a la vez se evidencia una diferencia significativa con los datos de la

EMOV, la cual indicaba una aparente disminución de COV con el crecimiento vehicular, por lo que los datos de este informe serán prioridad.

**Figura 33.**

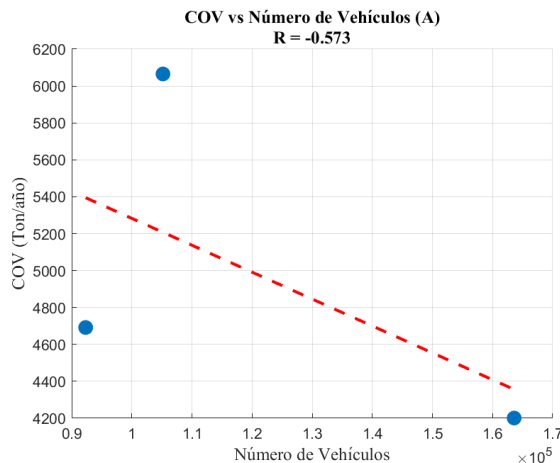
*Análisis de correlación entre el COV y el número de vehículos según la CDA*



En el análisis con los datos de la provincia del Azuay, según la figura 34, se evidencia que a medida que aumenta el número de vehículos registrados por esta fuente, las emisiones de COV tienden a disminuir, esto justifica el coeficiente de correlación de  $-0.573$ , lo cual indica una correlación negativa moderada y no podría reflejar la verdadera interacción del parque automotor.

**Figura 34.**

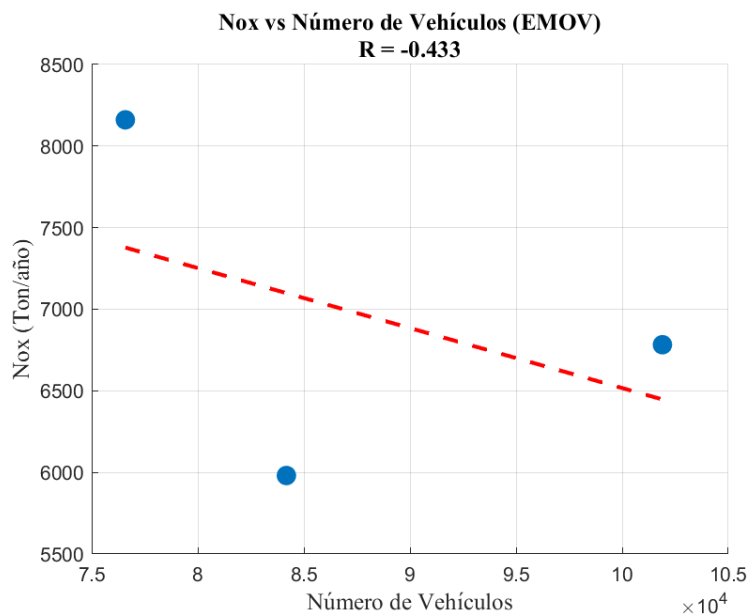
*Análisis de correlación entre el COV y el número de vehículos según los datos de la provincia*



Los óxidos de nitrógeno son productos de altas temperaturas y presiones, características propias de un motor a diésel, en la figura 35 se evidencia el comportamiento del número de vehículos registrados por la EMOV frente a la cantidad de emisión de este gas, en esta figura se observa que existe una correlación de -0.433 lo cual indica una correlación negativa moderada, es decir que a mayor número de vehículos las emisiones tienden a disminuir, lo que sugiere que el uso de esta fuente puede inducir errores si no se considera el contexto tecnológico y operativo del parque automotor analizado.

**Figura 35.**

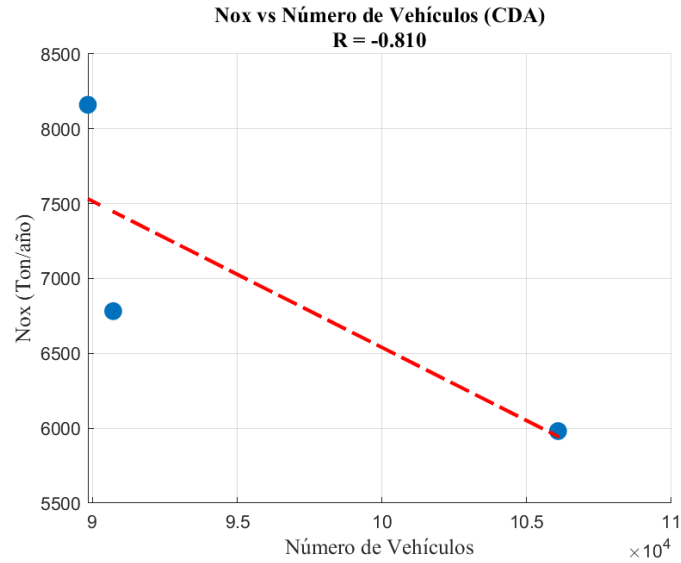
*Análisis de correlación entre el NOx y el número de vehículos según la EMOV*



Por otro lado, según los datos de los informes de CDA, la figura 36, presenta la relación entre las dos variables, obteniendo como resultado un coeficiente de correlación de -0.810 lo cual indica una correlación negativa, es decir que a mayor número de vehículos las emisiones disminuyen drásticamente, evidenciando así que la calidad y características técnicas del parque automotor influyen más que el número de vehículos.

**Figura 36.**

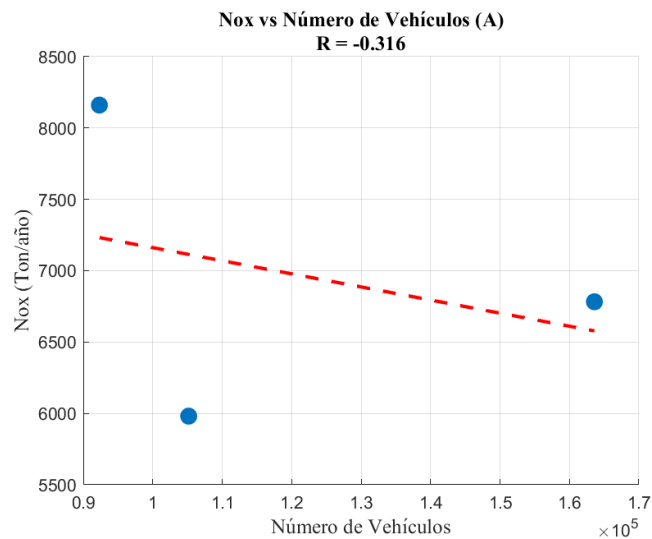
*Análisis de correlación entre el NOx y el número de vehículos según la CDA*



Con los datos del total de vehículos de la provincia se obtuvieron los resultados reflejados en la figura 37, la cual evidencia una correlación de -0.316, indicando una correlación negativa débil, es decir que mientras el número de vehículos aumentan la emisión de este gas disminuye, pero en este caso ligeramente.

**Figura 37.**

*Análisis de correlación entre el NOx y el número de vehículos según los datos de la provincia*



### 5.8.2 Análisis contaminantes por cada vehículo

Una de las formas de equilibrar la carga contaminante con respecto al número total de vehículos, es analizar la tasa específica de emisión por vehículo, la cual hace referencia a la cantidad promedio de contaminante emitido por cada unidad del parque automotor en circulación durante cierto año.

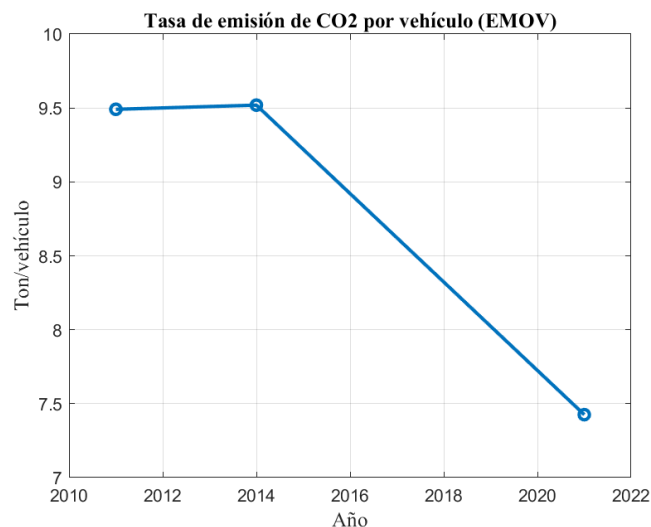
Mediante este análisis se identifica con mayor precisión la evolución de la eficiencia ambiental del parque automotor, además se puede evaluar cuanto contamina en promedio, cada vehículo, lo cual serviría para detectar años críticos e identificar el impacto de políticas públicas.

Por ello las siguientes figuras describen la situación del cantón con respecto a los datos obtenidos a partir de las fuentes de información ya mencionadas.

En la figura 38, se muestra la tasa de emisión mediante el uso de los datos reportados por la EMOV EP, en la cual la tasa indica una leve estabilidad entre el 2011 y el 2014, alrededor de 9,5 ton/veh, mientras que para el 2021 se evidencia una caída notable la cual llega a 7,4 ton/veh.

**Figura 38.**

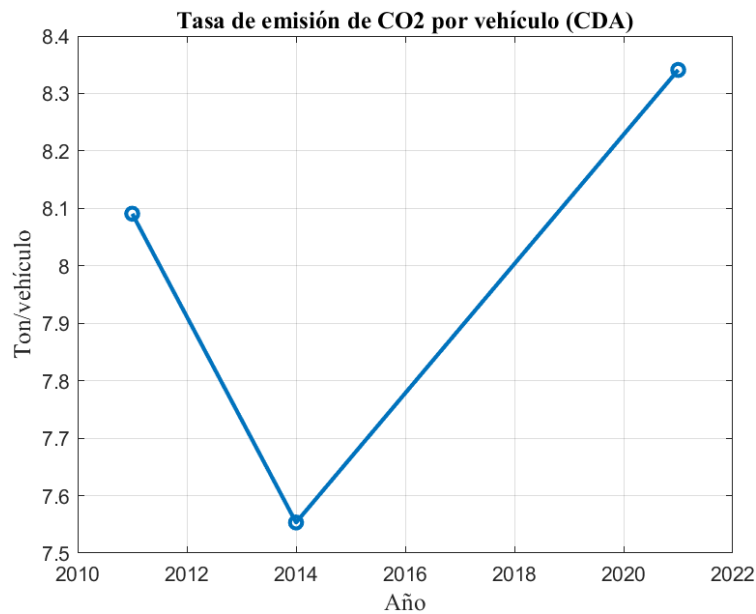
*Tasa de emisión de CO<sub>2</sub> de los vehículos registrados por la EMOV*



Mientras que, para los datos mencionados en el informe de la CDA, la tasa de emisión muestra inicialmente un descenso desde el año 2011 hacia el 2014 en el cual se indica 7,56 ton/veh, seguido de un incremento para el 2021 de alrededor de 8,35 ton/veh, lo cual se evidencia en la figura 39.

**Figura 39.**

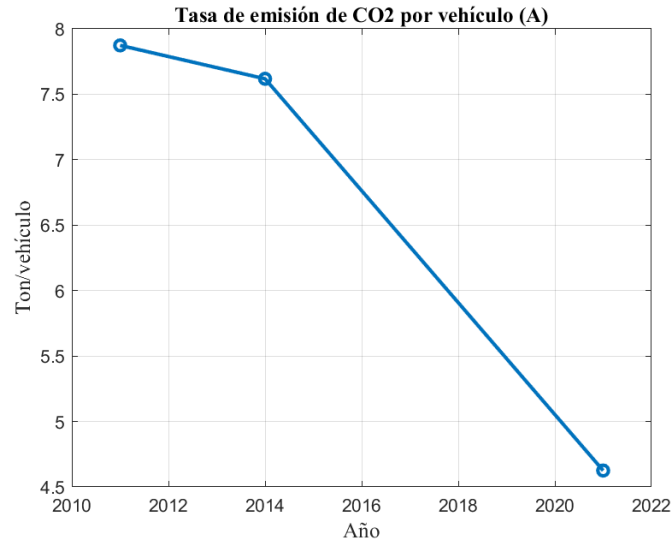
*Tasa de emisión de CO2 de los vehículos registrados por la CDA*



Finalmente se considera el análisis con los datos de la provincia, los resultados se indican en la figura 40, para lo cual se evidencia una disminución leve entre el 2011 y el 2014 llegando a una tasa de 7,6 ton/veh, en cambio en el transcurso entre el año 2014 y el 2021 se obtiene una marcada disminución resultando en 4.73 ton/veh.

**Figura 40.**

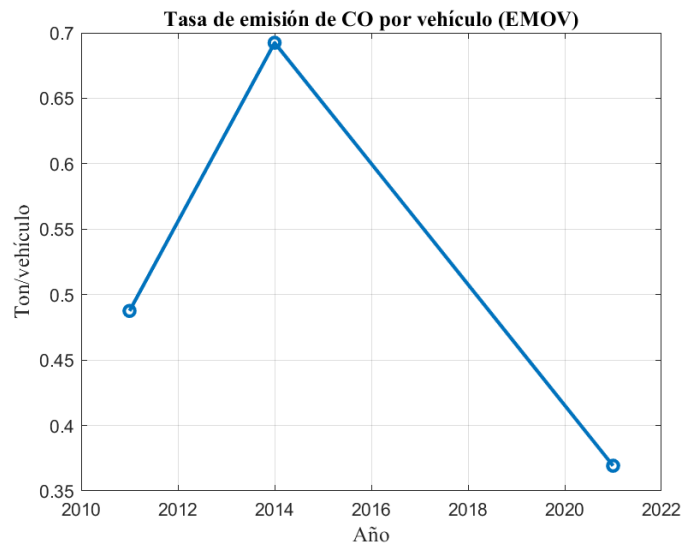
*Tasa de emisión de CO2 de los vehículos registrados en la provincia*



En el caso del monóxido de carbono, según los datos de la EMOV EP, en la figura 41 se observa un incremento entre el 2011 y el 2014 reportando un total de 0,694 ton/veh, mientras que para el año 2021 esta tasa disminuye considerablemente llegando a reportar un total de 0,367 ton/veh.

**Figura 41.**

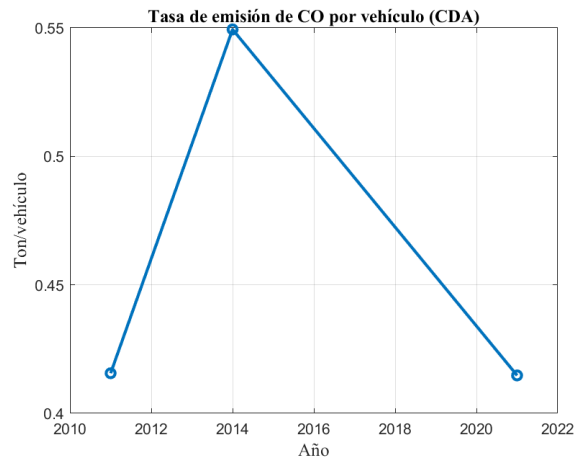
*Tasa de emisión de CO de los vehículos registrados por la EMOV*



De manera similar, sucede con los datos de los informes de la calidad del aire, para lo cual se evidencia en la figura 42, presentando un incremento para el año 2014 de 0,548 ton/veh, seguido de una reducción para el año 2021 reportando un total de 0,429 ton/veh.

**Figura 42.**

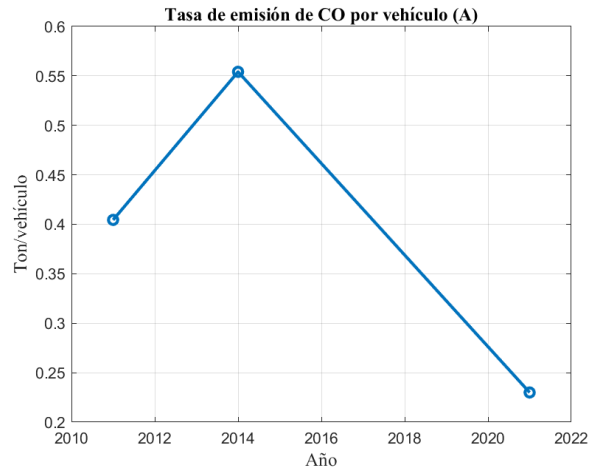
*Tasa de emisión de CO de los vehículos registrados por la CDA*



Por último, con los datos generales de la provincia, se evidencia según la figura 43, un pico de crecimiento para el año 2014 en el que se reporta un total de 0,555 ton/veh, y para el 2021 se evidencia una notable caída hasta las 0,234 ton/veh.

**Figura 43.**

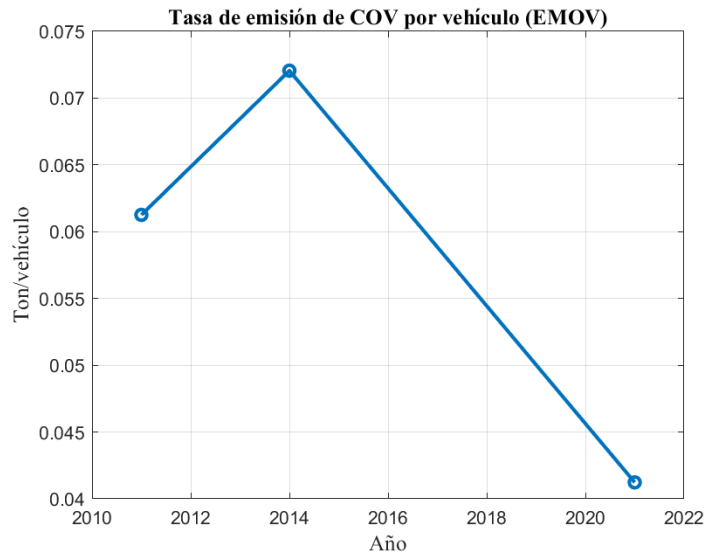
*Tasa de emisión de CO de los vehículos registrados en la provincia*



Para el caso de los compuestos orgánicos volátiles, los comportamientos son similares, considerando la información de la EMOV EP, se evidencia en la figura 44 que la tasa de emisión del 2011 al 2014 incrementa llegando a 0,072 ton/veh, y disminuye hasta el 2021 reportando un total de 0,043 ton/veh.

**Figura 44.**

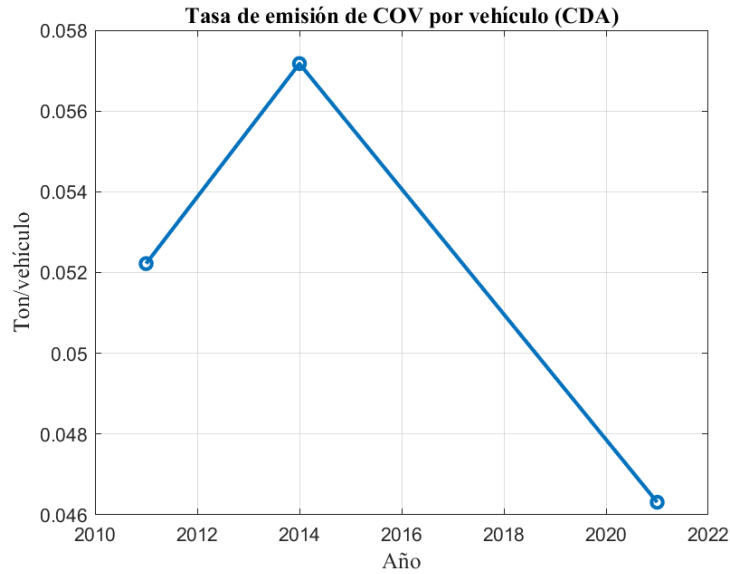
*Tasa de emisión de COV de los vehículos registrados por la EMOV*



Para la información de los reportes de la CDA, se evidencia un comportamiento similar al anterior, como se presenta en la figura 45, en el cual se observa un incremento desde el año 2011 al 2014 llegando a 0,057 ton/veh, y para el 2021 disminuyen hasta las 0,047 ton/veh.

**Figura 45.**

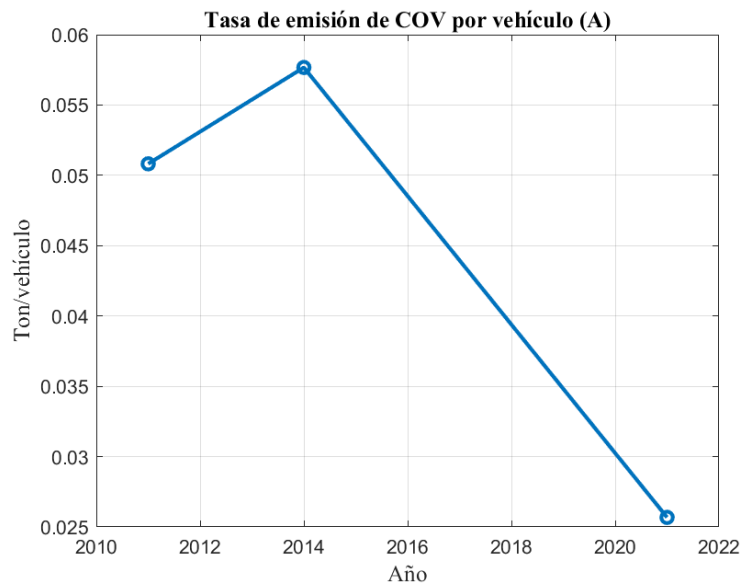
*Tasa de emisión de COV de los vehículos registrados por la CDA*



Finalmente, con la información provincial, en la figura 46, se evidencia una tasa creciente entre el 2011 y el 2014 reportando un total de 0,059 ton/veh, seguido de una disminución considerable para el año 2021 resultando en 0,026 ton/veh.

**Figura 46.**

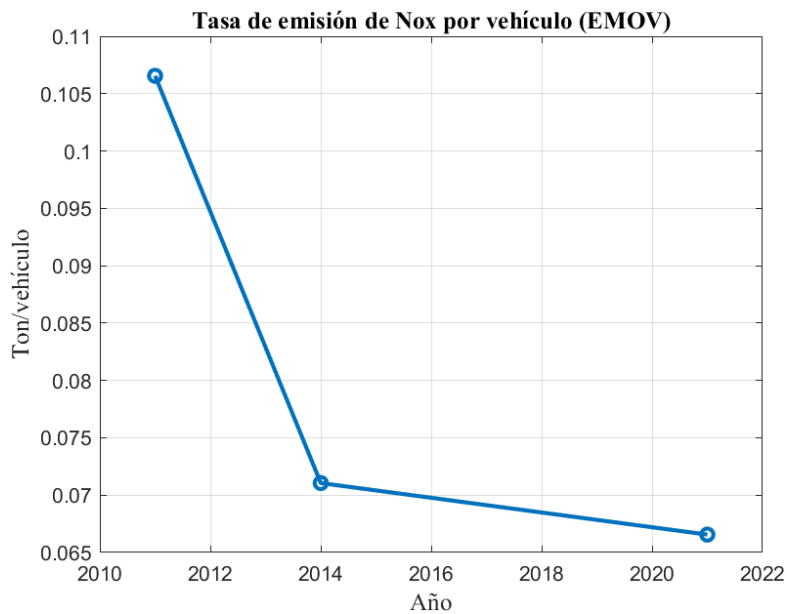
*Tasa de emisión de COV de los vehículos registrados en la provincia*



En el caso de los óxidos de nitrógeno la tendencia cambia, en la figura 47, se evidencia el análisis con los datos reportados por la EMOV EP, en donde se visualiza una reducción constante desde el año 2011 en el cual se reportan 0,107 ton/veh, hasta el año 2021 en el cual disminuye hasta 0,066 ton/veh.

**Figura 47.**

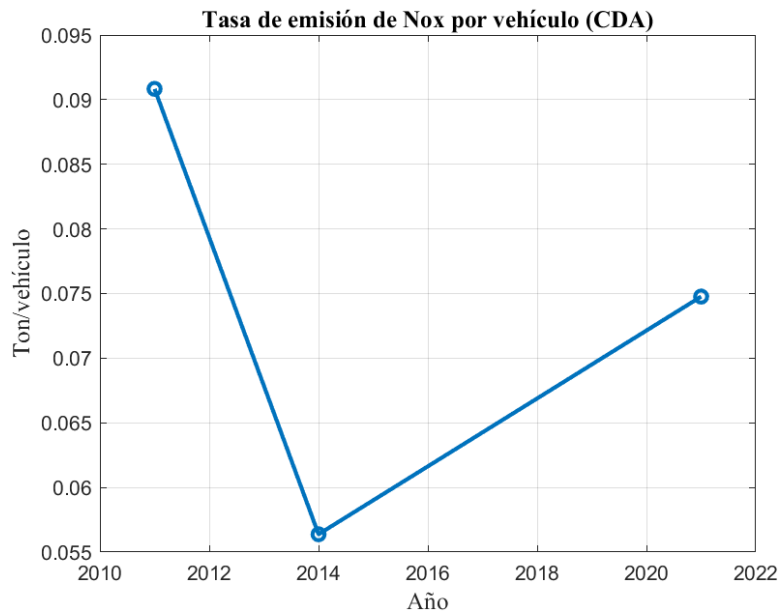
*Tasa de emisión de NOx de los vehículos registrados por la EMOV*



Mientras que, según los datos de los informes de la CDA, entre los años 2011 y 2014 la tasa se reduce hasta 0,057 ton/veh, para los años siguientes hasta el 2021 la misma aumenta ligeramente hasta llegar a 0,075 ton/veh, como se visualiza en la figura 48.

**Figura 48.**

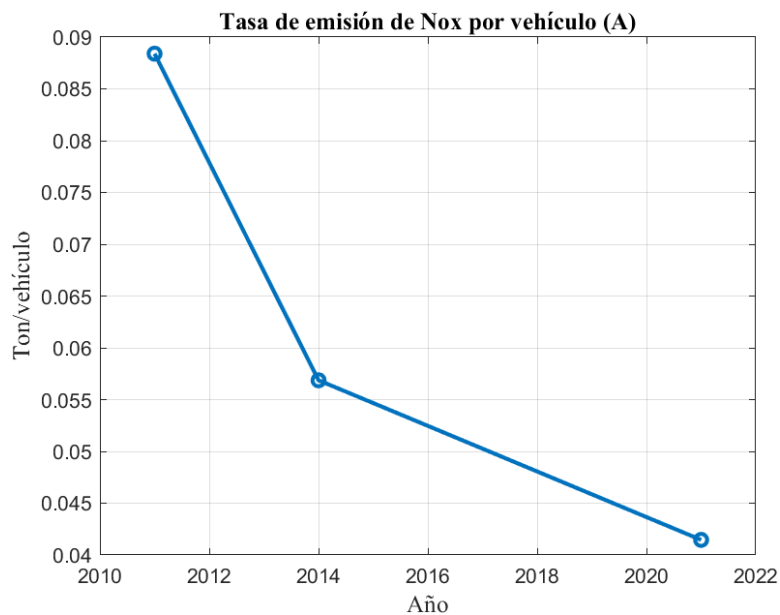
*Tasa de emisión de NOx de los vehículos registrados por la CDA*



Finalmente, considerando los datos de la provincia, los cuales se presentan en la figura 49, indican que la tendencia desciende pasando de 0,089 ton/veh en 2011 a 0,042 ton/ve en 2021.

**Figura 49.**

*Tasa de emisión de NOx de los vehículos registrados en la provincia*



Como se evidencia en las figuras anteriores, las tendencias tienen inconsistencias en el año 2014, las mismas presentan comportamientos no esperado, sugiriendo que dicho año puede estar afectado por alteraciones o la falta de disponibilidad de datos, sumándole a ello cambios en metodologías u otros eventos que hacen que la tendencia se vea afectada y no se comporte de manera esperada.

#### 5.9 Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

El presente capítulo está enfocado en un análisis comparativo entre el inventario de emisiones atmosféricas centrado en fuentes móviles desarrollado para el cantón Cuenca frente al correspondiente a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

Esto con el objetivo de identificar, diferencias en cuanto a metodología, impacto de variables tanto geográficas como de tránsito, y los resultados obtenidos en relación con los contaminantes atmosféricos generados por fuentes vehiculares, para mediante los resultados considerar opciones metodológicas que sirvan de base para la optimización del inventario actual y futuros del cantón Cuenca.

La elección de la ZMVM, se da gracias a la disponibilidad de inventarios públicos detallados, la trayectoria en la implementación de modelos de estimación y su similitud con las variables consideradas en los inventarios del cantón Cuenca, además de la relevancia que se imponen las autoridades frente a la búsqueda de soluciones para la problemática ambiental.

El análisis considera variables como la composición de la flota vehicular registrada para la zona, los factores de emisión y la evolución temporal de los contaminantes emitidos.

### 5.9.1 Reseña del inventario de emisiones

El inventario de emisiones de la ZMVM representa una de las herramientas técnicas más completas y actualizadas en América Latina para el análisis y gestión de la contaminación atmosférica, con una amplia trayectoria en la elaboración de los mismos los cuales han sido elaborados desde el año 1996 hasta el último correspondiente al año 2020.

Estos inventarios han sido elaborados por la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) en colaboración con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) de México, los cuales consideran una cobertura geográfica que abarca las 16 alcaldías de la Ciudad de México, 59 municipios conurbanos del Estado de México y el municipio de Tizayuca, Hidalgo, resultando en una superficie de más de 7 mil 800 km<sup>2</sup>, y para el año 2020 una población de más de 21 millones de habitantes (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2021).

Con estos antecedentes se han seleccionado tres inventarios correspondientes a los años 2012, 2014 y 2020, los mismos que permitirán analizar y comparar con los inventarios del cantón Cuenca.

Para ello es necesario obtener los resultados de las emisiones por fuentes móviles de cada uno de los inventarios mencionados, los cuales han sido recopilados y se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2.**

*Resultados de los inventarios de emisiones de la ZMVM de acuerdo a los años 2012, 2014 y 2020*

<b>Año</b>	<b>Flota Vehicular</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>	<b>COV</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2.5</sub></b>
2012	5012750	209717	1578442	199824	24424880	421	3966	2946
2014	5259553	108685	668882	72041	27510211	279	6504	3660
2020	6244596	112472	928462	111978	35271067,5	862	12355	6224

Nota. Tomado de (SMACDMX, 2012; SMACDMX, 2014; SMACDMX, 2021)

### 5.9.2 Análisis de correlación entre flota vehicular y emisiones

Mediante un análisis estadístico de correlación entre el número de vehículos y los niveles de emisión de contaminantes reportados en los inventarios de la ZMVM correspondientes a los años mencionados, se busca profundizar la comprensión de los factores que inciden en la generación de contaminantes provenientes de fuentes móviles.

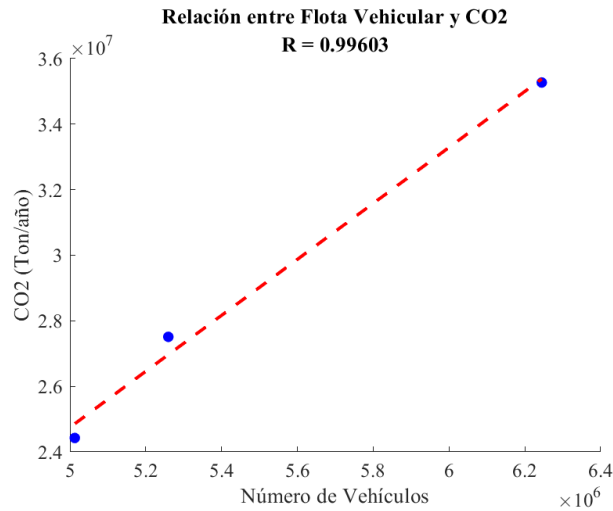
Dicho análisis permite establecer relaciones cuantitativas entre las variables anteriormente mencionadas, considerando contaminantes relevantes como el CO, NO<sub>x</sub>, COV, PM, CO<sub>2</sub>, permitiendo a través de los resultados identificar que contaminantes presentan una mayor dependencia frente al incremento del parque automotor, además de ser un insumo para contrastar la evolución de las emisiones a lo largo del tiempo y evaluar si los cambios dependen únicamente del incremento del parque automotor o si otras variables también son influyentes, y a la vez poder identificar mejores alternativas que puedan ser adaptadas al contexto del cantón.

Por lo tanto, los resultados de dicho análisis se verán plasmados, a continuación, en gráficas de dispersión y coeficientes de correlación.

En la figura 50, se indica la relación lineal positiva entre el número de vehículos registrados y las emisiones de CO<sub>2</sub>, esto evidenciado mediante el coeficiente de correlación 0.996, el cual demuestra que a medida que aumenta la cantidad de vehículos vendidos, las emisiones de este contaminante aumentan proporcionalmente.

**Figura 50.**

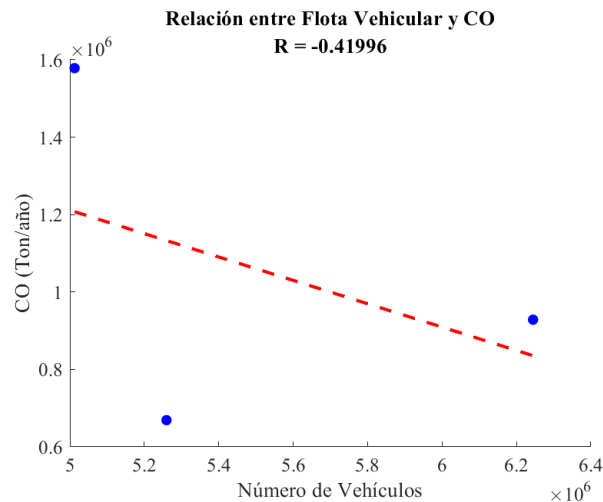
*Análisis de correlación entre el número de vehículos y el CO<sub>2</sub> según la ZMVM*



Para el caso del CO, la tendencia demuestra una relación negativa moderada, tal como se visualiza en la figura 51, con un coeficiente de correlación -0.4199, lo cual sugiere que a medida que aumenta el número de vehículos, las emisiones de CO tienden a disminuir, sin embargo, el valor de R señala que la relación no es lo suficientemente fuerte para considerarla una tendencia clara.

**Figura 51.**

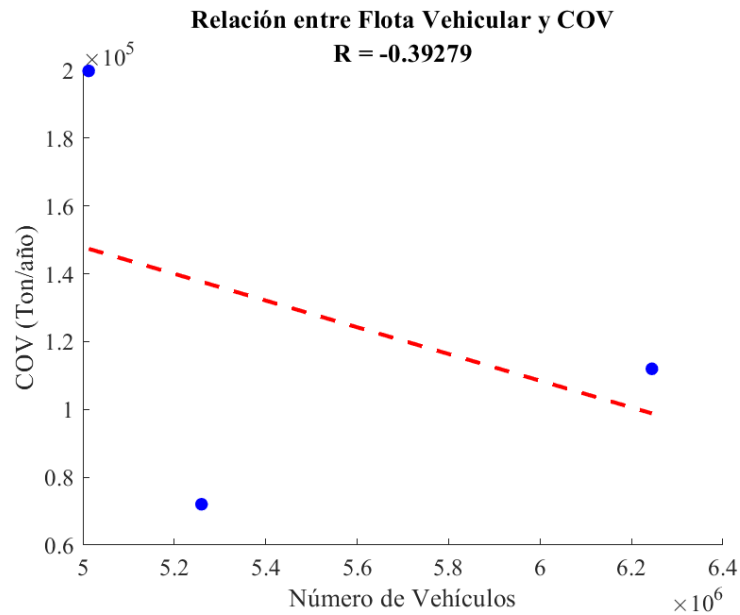
*Análisis de correlación entre el número de vehículos y el CO según la ZMVM*



Por otro lado, la figura 52, refleja una relación negativa entre el número de vehículos registrados y las emisiones de COV, el coeficiente de correlación  $-0.3927$  indica que existe una correlación negativa moderada, indicando que a medida que aumenta el número de vehículos, las emisiones tienden a disminuir de manera moderada, sin embargo, gracias al valor de R no se puede considerar estrictamente lineal.

**Figura 52.**

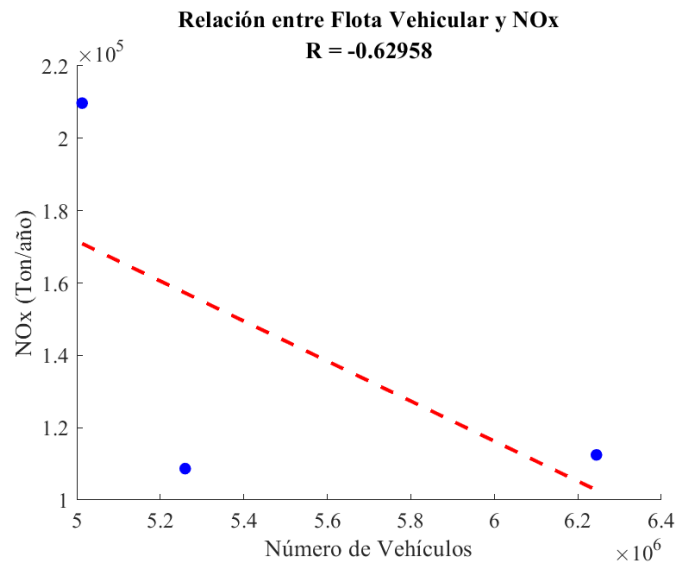
*Análisis de correlación entre el número de vehículos y el COV según la ZMVM*



En la figura 53, se muestra la relación negativa moderada entre el número de vehículos registrados y las emisiones de NOx, con un coeficiente de correlación  $-0.62958$ , lo que indica una correlación moderadamente fuerte, de la cual se concluye que a medida que aumenta el número de vehículos, las emisiones de este contaminante tienden a disminuir.

**Figura 53.**

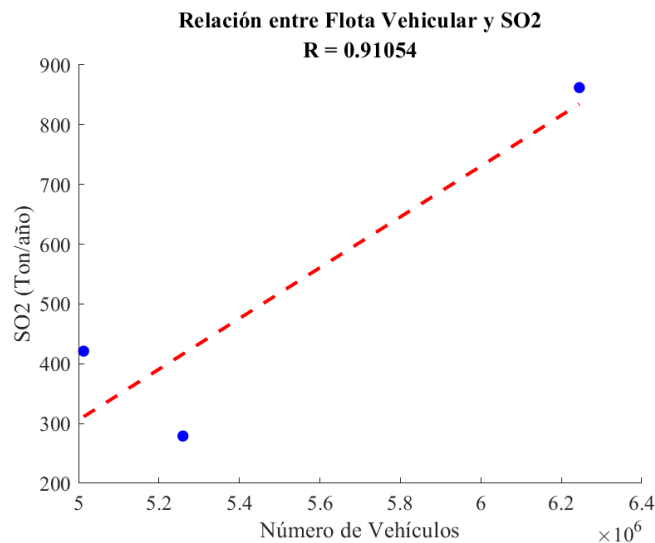
*Análisis de correlación entre el número de vehículos y el NOx según la ZMVM*



Para el caso de número de vehículos registrados y las emisiones de SO<sub>2</sub>, la figura 54, evidencia una relación positiva fuerte, con un coeficiente de relación 0.91054, este valor sugiere que a medida que aumenta el número de vehículos, las emisiones de este contaminante aumentan de manera estable y predecible.

**Figura 54.**

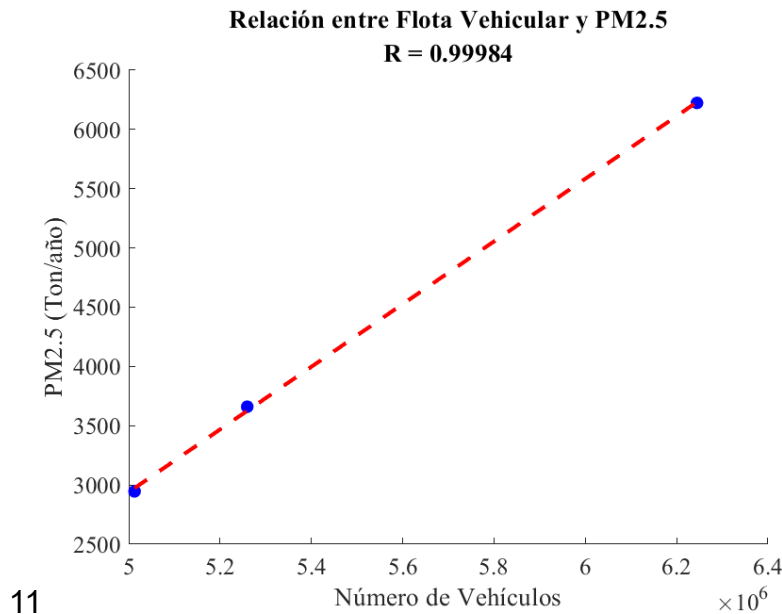
*Análisis de correlación entre el número de vehículos y el SO<sub>2</sub> según la ZMVM*



De igual manera, en el caso del número de vehículos registrados y las emisiones de PM2.5, la figura 55 evidencia que, existe una relación lineal extremadamente fuerte, con un coeficiente de correlación 0.99984, lo que demuestra una correlación casi perfecta, indicando que el aumento de vehículos está claramente asociado con el aumento de las emisiones del dicho contaminante.

**Figura 55.**

*Análisis de correlación entre el número de vehículos y el PM 2.5 según la ZMVM*

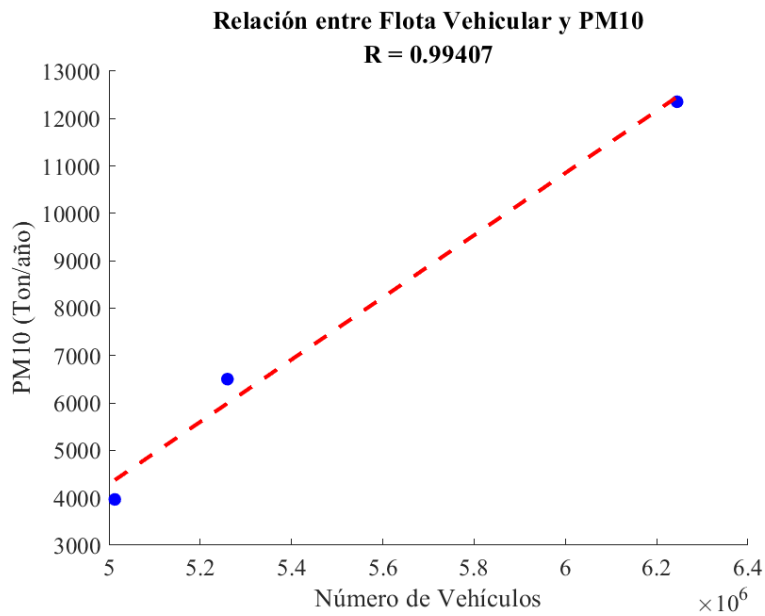


11

La figura 56, muestra una relación positiva fuerte entre el número de vehículos registrados y las emisiones de PM10, con un coeficiente de correlación 0.99407, el cual demuestra una correlación positiva alta, evidenciando que a medida que aumenta el número de vehículos las emisiones de dicho contaminante también ascienden.

**Figura 56.**

*Análisis de correlación entre el número de vehículos y el PM10 según la ZMVM*

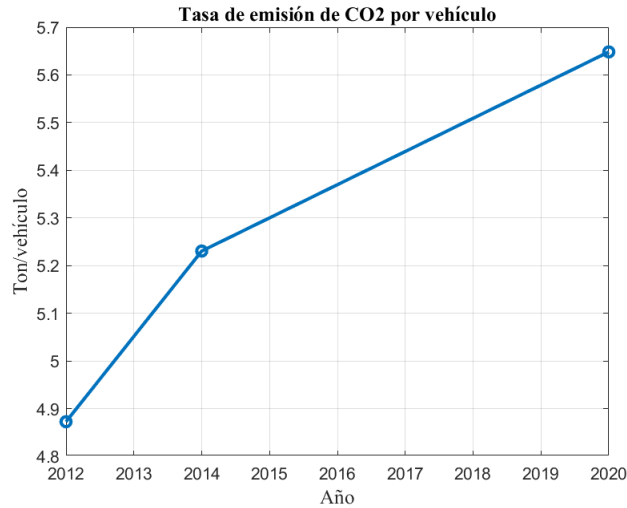


### 5.9.3 Análisis contaminantes por cada vehículo

En la figura 57, se indica la evolución de la tasa de emisión de CO<sub>2</sub> correspondiente a los vehículos de la ZMVM, correspondientes a los años 2012 hasta el 2020, en donde se observa una tendencia creciente en las emisiones, pasando de aproximadamente 4.8 ton/veh en el año inicial a 5.6 ton/veh en 2020.

**Figura 57.**

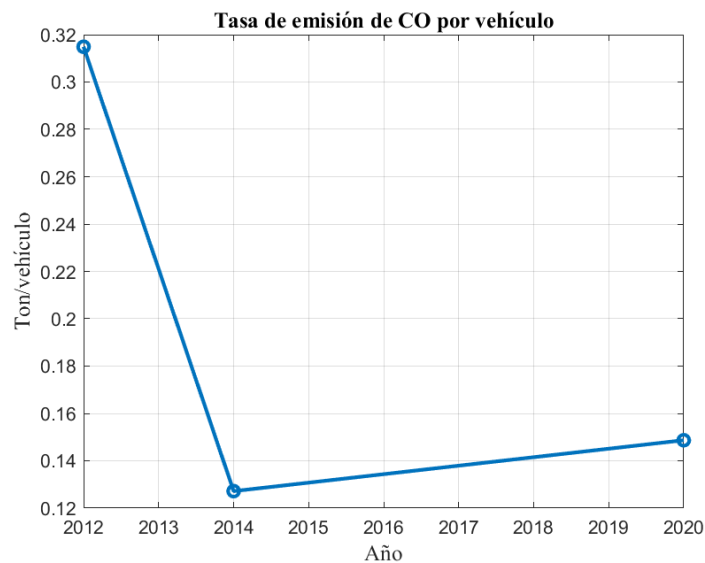
*Tasa de emisión de CO<sub>2</sub> de los vehículos registrados en la ZMVM*



Por otro lado, la figura 58, evidencia el crecimiento de la tasa de emisión de CO por vehículo, entre los años mencionados, la cual demuestra un patrón de reducción significativa entre los años 2012 y 2014 pasando de 0.318 a 0.128 ton/veh y para el año 2020 existe un leve incremento hasta aproximadamente 0.15 ton/veh.

**Figura 58.**

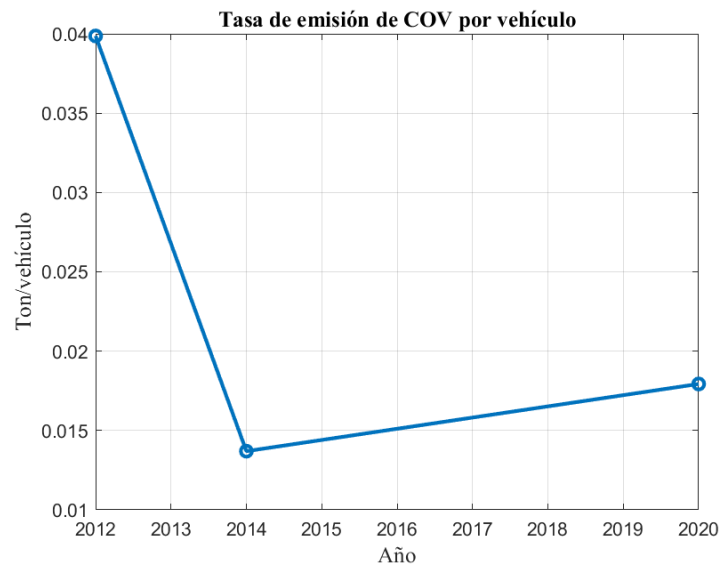
*Tasa de emisión de CO de los vehículos registrados en la ZMVM*



De igual manera, la figura 59, indica la evolución de la tasa de emisión de COV por vehículo, la cual evidencia reducción significativa entre los años 2012 y 2014 en donde la tasa de emisión baja de 0.04 ton/veh a 0.01 ton/veh, mientras que para el año 2020 las emisiones tienen un ligero aumento a 0.017 ton/ veh.

**Figura 59.**

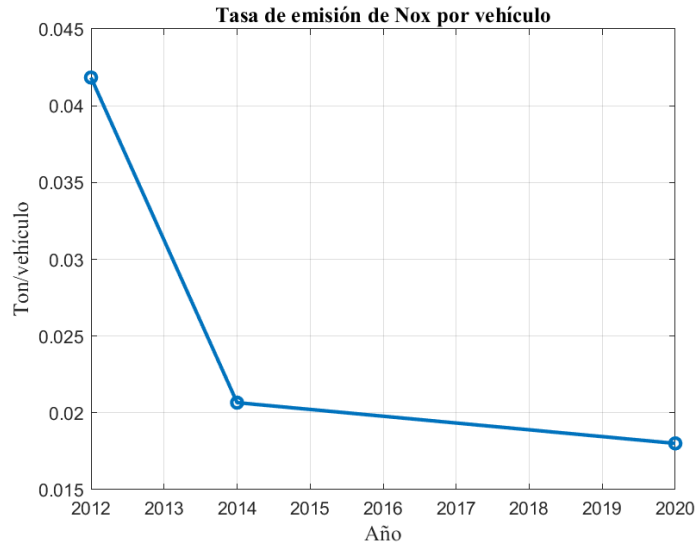
*Tasa de emisión de COV de los vehículos registrados en la ZMVM*



Finalmente, la figura 60, indica la evolución de la tasa de emisión de NOx por vehículo, en la cual se evidencia una reducción significativa de la tasa de emisión, que disminuye de 0.042 ton/veh en 2012 a 0.018 ton/veh en 2020.

**Figura 60.**

*Tasa de emisión de NOx de los vehículos registrados en la ZMVM*



### 5.10 Comparación entre el inventario de Cuenca y el de la ZMVM

A manera de resumen, en la tabla 3, se indica una comparativa entre el inventario de emisiones del cantón Cuenca y de la ZMVM, en la misma se da prioridad a las características técnicas de cada inventario y las zonas geográficas en donde fueron desarrolladas, lo que permitirá evidenciar diferencias clave entre los mencionados.

**Tabla 3.**

*Comparación entre el Inventario de la ciudad de Cuenca frente al de la ZMVM*

Característica	Inventario de Cuenca	Inventario de la ZMVM
Ubicación	Cantón Cuenca, provincia del Azuay	Zona Metropolitana del Valle de México (CDMX incluyendo a municipios conurbanos)
Extensión	Urbana y periurbana del cantón	Área metropolitana que incluye CDMX y municipios conurbanos

Característica	Inventario de Cuenca	Inventario de la ZMVM
Altitud promedio	Aprox. 2550 msnm	Aprox. 2240 msnm
Institución responsable	EMOV EP Municipio de Cuenca	Gobierno de CDMX Secretaria del medio ambiente INECC
Metodología	Basada en los lineamientos del IPCC, COPERT y MOBILE 6	EMEP/EEA y MOBILE con adaptaciones
Contaminantes Evaluados	CO, NOx, SO2, PM, CO2, COV	CO, NOx, SO2, PM, CO2, COV, NH3, entre otros
Parque Automotor	Variedad en el parque automotor con menor densidad	Uno de los más grandes de América Latina
Cobertura	Fuentes móviles Fuentes fijas Fuentes naturales Fuentes de área	Fuentes móviles Fuentes fijas Fuentes de área Fuentes biogénicas

#### 5.10.1 Coeficiente de Pearson

Con el fin de conocer la relación entre el incremento de la flota vehicular y la cantidad de emisiones, se realizó el análisis de correlación para los contaminantes más influyentes provenientes del tráfico vehicular, la tabla 4, presenta la recopilación de los coeficientes de relación de Pearson (R) mostrados anteriormente, obtenidos a partir de los inventarios de emisiones vehiculares del cantón Cuenca y de la ZMVM, los cuales permiten evaluar el grado de asociación lineal entre los factores mencionados pertenecientes a cada zona.

**Tabla 4**

*Resultados del coeficiente de Pearson correspondientes a los datos de Cuenca y de la ZMVM*

<b>Contaminante</b>	<b>R Cuenca EMOV</b>	<b>R ZMVM</b>
CO2	0,181	0,99603
CO	-0,214	-0,41996
COV	-0,465	-0,39279
NOx	-0,433	-0,62958

Nota. La tabla indica los resultados provenientes del análisis de correlación entre el crecimiento de la flota vehicular y la cantidad de emisiones registradas por los inventarios de la ciudad de Cuenca y de la ZMVM

Al comparar los resultados de los valores de R, se concluye que para el caso de CO<sub>2</sub>, en la ZMVM es un indicador de una relación muy fuerte entre las variables mientras que para el caso de Cuenca es débil, lo cual podría deducirse en una mayor eficiencia energética o control más efectivo en la ZMVM.

Por otro lado, los gases de CO, COV presentan una correlación negativa-moderada, lo que indica una tendencia de disminución de los mismos mientras el parque automotor aumenta.

Finalmente, el resultado de R para el NO<sub>x</sub>, en los dos casos demuestra una relación negativa, pero para Cuenca la misma es moderada, mientras que para ZMVM es fuerte, lo que indica que en esta zona este gas disminuye notablemente en relación con el incremento del parque automotor y para Cuenca la relación es la misma, pero con menor impacto.

#### 5.10.2 Tasa de contaminantes

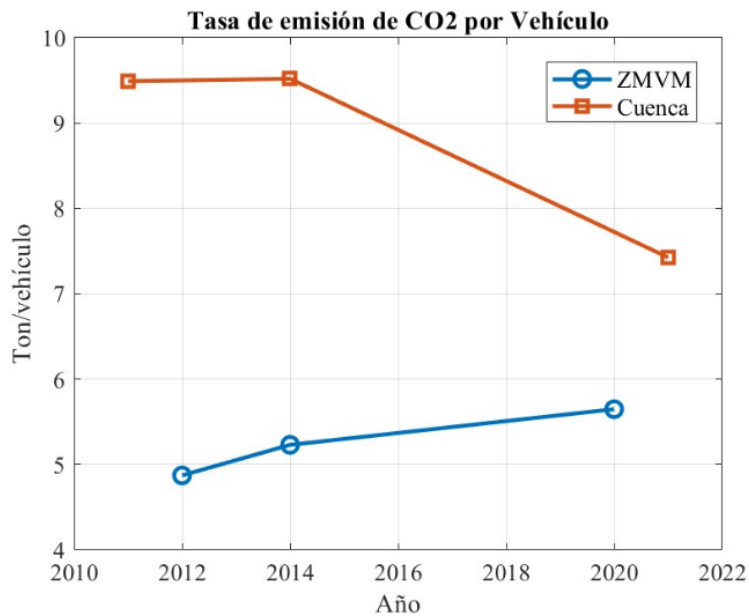
A continuación, se presenta varias figuras comparativas entre las tasas de emisión de contaminantes obtenidas en los inventarios mencionados anteriormente, las mismas que se encuentran expresadas en función de la flota vehicular, los cuales permitirán visualizar y contrastar la realidad de cada zona con respecto a cada uno de los principales contaminantes.

Además, con la comparativa de las mismas se podrá determinar las principales diferencias en cuanto a la intensidad de emisión, los resultados que se han obtenido mediante el buen manejo de las políticas públicas, la eficiencia del parque automotor y a la vez considerar opciones de mejora en la gestión ambiental adaptadas a la realidad local.

La figura 61, muestra la tasa de emisión de CO<sub>2</sub> por cada vehículo en dichas zonas mencionadas, evidenciando que en el cantón Cuenca la emisión de contaminante es considerablemente mayor a la de la ZMVM en los tres años evaluados para cada caso, para el caso de Cuenca se parte con una tasa cercana a 9.5 ton/veh disminuyendo hasta 7.5 ton/veh, mientras que la ZMVM presenta una tendencia ascendente empezando con 4.9 hasta 5.5 ton/veh, demostrando que aunque en Cuenca existe una tendencia descendente los valores no llegan a ser similares ni se aproximan.

**Figura 61.**

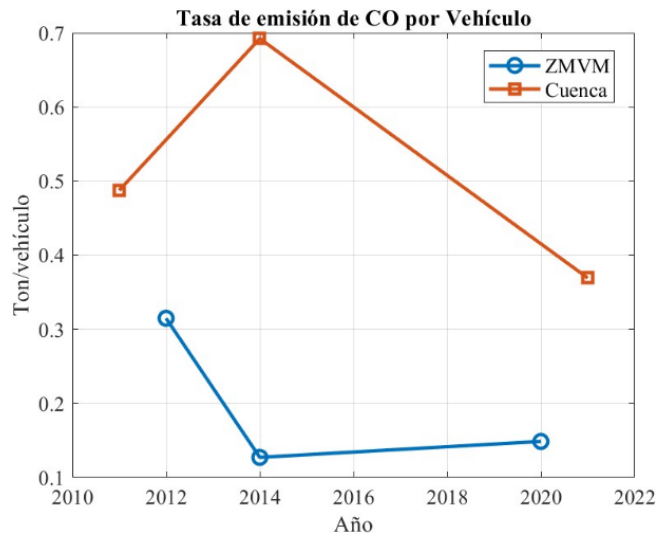
*Comparación entre tasas de emisión de CO<sub>2</sub> de los inventarios de Cuenca frente a los de la ZMVM*



Por otro lado, la figura 62, relaciona el parque vehicular con el CO, determinando que Cuenca mantiene tasas superiores a las de la ZMVM, para el año 2014 se alcanza un pico de aproximadamente 0.68 ton/veh mientras que en el 2020 se registra una caída alrededor de 0.38 ton/veh, por otro lado, la ZMVM, presenta valores bajos y con una tendencia descendente pasando de 0.31 a 0.15 ton/veh, con una disminución notable entre los años 2012-2014.

**Figura 62.**

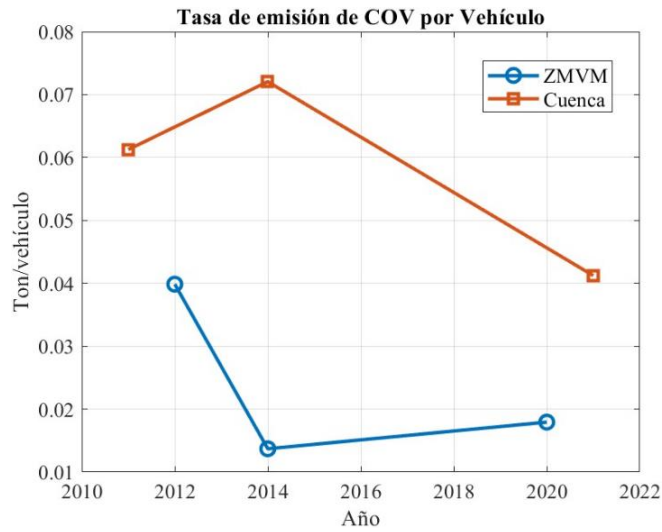
*Comparación entre tasas de emisión de CO de los inventarios de Cuenca frente a los de la ZMVM*



De igual manera la figura 63, muestra la emisión de COV, en la que se evidencia que Cuenca tiene niveles más altos, con un máximo en 2014 de 0.0175 ton/veh, y posterior a ello una reducción hasta 0.043 ton/veh, mientras que, en el caso de la ZMVM, se muestra un descenso sostenido, partiendo de 0.039 a 0.014 ton/veh en 2014 y la cual tendría un leve incremento hasta 0.019 para el 2020.

**Figura 63.**

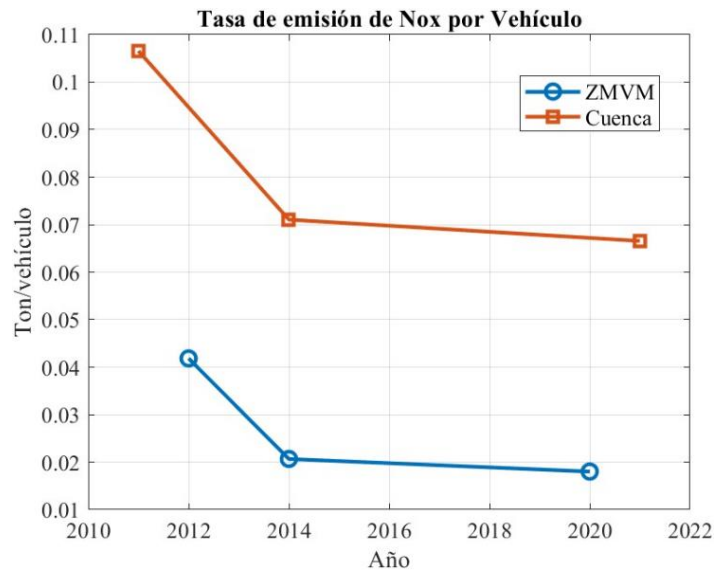
*Comparación entre tasas de emisión de COV de los inventarios de Cuenca frente a los de la ZMVM*



Finalmente, la figura 64, presenta las emisiones de NO<sub>x</sub> en la cual se visualiza que en Cuenca las emisiones disminuyen de 0.108 hasta llegar a 0.066 ton/veh, mientras que para el caso de la ZMVM pasa de 0.042 a 0.019 ton/veh, aun cuando las tendencias son similares el cantón Cuenca registrada tres veces más contaminación que en la ZMVM.

**Figura 64.**

*Comparación entre tasas de emisión de NO<sub>x</sub> de los inventarios de Cuenca frente a los de la ZMVM*



## 6 RESULTADOS

La estimación de emisiones de fuentes móviles en el cantón Cuenca ha estado limitado por la aplicación de modelos internacionales como COPERT y MOBILE6-México, los cuáles son diseñados originalmente para contextos europeos y norteamericanos, por lo cual dichos factores considerados en estos modelos no se asemejan a la realidad del cantón, por lo que esta situación ha generado resultados con altos niveles de incertidumbre (C y D) como se ha presentado anteriormente y los mismos que han determinado como resultado que el parque automotor existente en la ciudad es el principal autor de las emisiones totales de gases contaminantes.

El modelo COPERT, el cual es una metodología para estimar emisiones contaminantes en un contexto europeo, estima emisiones a partir de datos sobre parque vehicular, características técnicas, patrones de conducción y factores de emisión específicos. Es muy utilizado gracias a su flexibilidad y capacidad de adaptación a diferentes contextos, sin embargo, presenta inconvenientes en lugares en donde puede haber falta de datos precisos y actualizados.

El modelo MOBILE-6, creado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), calcula emisiones considerando factores como tipo de vehículo, año de fabricación, tipo de combustible y condiciones de manejo, en cambio la variante MOBILE6-México es una adaptación para este país latinoamericano, pero no refleja la realidad de todos los demás países, pues la limitación de este modelo en general es que no permite manipular las variables con facilidad.

Es por ello que este capítulo plantea una propuesta metodológica mejorada que se ajuste a las condiciones locales analizadas en los capítulos anteriores y que se enfoque en aprovechar todos los recursos disponibles en el cantón, con el fin de obtener un inventario más confiable, útil y aplicable para la implementación de mejoras en la gestión ambiental.

## 6.1 Limitaciones metodológicas detectadas en los inventarios actuales

Los tres inventarios de emisiones realizados hasta la actualidad en el cantón han utilizado factores de emisión y metodologías orientadas a realidades externas, sin ninguna calibración precisa frente a la realidad local, a continuación, se exponen las limitantes que han tenido dichos inventarios con el fin de determinar las deficiencias en dichas variables.

Como una de las principales limitantes se encuentra la diferencia del parque automotor del cantón Cuenca, los modelos de estimación de emisiones utilizados suelen evaluar flotas vehiculares modernas, con mayor avance tecnológico y homogéneas, características propias de países desarrollados en donde la renovación vehicular es más frecuente gracias a políticas de control, en comparación con el parque automotor de ciudades latinoamericanas como Cuenca, que se caracterizan por una mayor antigüedad promedio de vehículos, lo que representa grupos con tecnologías defectuosas o sistemas que controlan las emisiones menos eficientes. Además, el parque vehicular de la ciudad posee vehículos con variedad de marcas, modelos, años de fabricación y niveles de mantenimiento, acompañado de información no homogénea, esta diversidad vehicular y los datos inconsistentes, no solo complica la clasificación y caracterización precisa de la flota vehicular, sino que también genera una mayor variabilidad en los factores de emisión de cada vehículo.

Además de la diferencia del parque automotor, otro factor que dificulta la reducción de incertidumbre en la aplicación de los métodos mencionados lo cuales no están adaptados a la realidad de la región, son las condiciones meteorológicas y geográficas de la ciudad, estas características juegan una función fundamental en el desempeño de los vehículos y a la vez en la generación de gases contaminantes, lo cual influye en la precisión de factores de emisión utilizados en los modelos estandarizados. En el caso del cantón Cuenca, se encuentra a 2550 m.s.n.m lo cual

involucra una menor presión atmosférica de 75.85 KPa y a la vez una concentración de oxígeno restringida. El tener poca cantidad de oxígeno en el aire provoca que motores de combustión interna puedan disminuir la calidad de la combustión haciendo que sea incompleta, generando como resultado el aumento de emisiones contaminantes como las partículas de monóxido de carbono, hidrocarburos no combustionados y material particulado.

Por otro lado, la topografía, distinguida por la presencia de pendientes pronunciadas, valles y zonas elevadas, obliga a los vehículos a trabajar bajo condiciones de carga y esfuerzo adicionales, el tener que ascender y descender continuamente requieren mayores demandas de potencia y cambios frecuentes de velocidad y régimen de giros del motor, lo que incrementa el nivel del consumo de combustible y acompañado de ello las emisiones contaminantes.

La calidad de combustible también es considerada una limitante más, la composición y la calidad de los combustibles que son actualmente comercializados en Ecuador presentan notables diferencias en comparación a los existentes en dichos países de origen de los modelos de estimación. A pesar de que con el tiempo han ido mejorando, aún se encuentran retrasadas frente a exigencias internacionales como las normas Euro 5 y Euro 6, las cuales garantizan la reducción de la contaminación. Dentro de este contexto los aspectos a analizar en los combustibles, son la cantidad de azufre que contienen y el octanaje, en Europa los límites de azufre para el diésel y la gasolina son inferiores a 10 ppm, mientras que en Ecuador la normas sugieren niveles muchos más elevados. Como se mencionó el octanaje también es un factor crítico, los fabricantes internacionales recomiendan un mínimo de 93 octanos para un óptimo funcionamiento y disminución de emisiones contaminantes, pero en el caso de las gasolinas comercializadas en el país tiene un octanaje inferior al recomendado. Si bien la diferencia entre el octanaje de la gasolina súper y la recomendada no es grande, la de gasolinas mayormente utilizadas como eco país y extra

si lo es, lo cual puede provocar daños en los motores afectando la eficiencia de la combustión y por consecuencia incrementar la emisión de contaminantes.

Finalmente se debe tener en cuenta los patrones de conducción, factores como hábitos de conducción y tráfico vehicular representan un factor clave que influye en la emisión de gases contaminantes. Los hábitos de conducción en ciudades latinoamericanas difieren mucho de aquellos para los cuales están calibrados los modelos internacionales, lo que provoca una gran variación en los resultados, dichos factores que influyen en el modo de manejo de las personas en términos de aceleración, desaceleración, velocidad promedio y uso de marchas. Además, la congestión vehicular también es un problema recurrente, ya sea por la infraestructura vial, la señalización, presencia de semáforos o configuración de vías, especialmente en horas pico y en zonas urbanas de la ciudad. Este tráfico, juntamente con paradas frecuentes y tiempo amplios de funcionamiento en ralentí de los vehículos generan condiciones para que se genere una combustión deficiente y a la vez incrementando la emisión de gases contaminantes.

## 6.2 Metodología propuesta

Mediante el análisis expuesto anteriormente en donde se detalla cada una de las deficiencias del inventario de emisiones surge la necesidad de aplicar un método de estimaciones que se adapte de mejor manera a las condiciones locales del cantón. Dichas condiciones deben priorizar la actividad vehicular, factores de emisión y flota vehicular

Razón por la cual, mediante un previo estudio Ortiz (2021) menciona que el modelo IVE es el más apropiado para estimar emisiones bajo las condiciones locales del cantón, esto debido a que dicho modelo permite una categorización del parque automotor más flexible, además

demuestra mediante una matriz de ponderación (figura 65) del modelo mencionado que los resultados obtenidos son íntegros, pero se deberían mejorar.

**Figura 65.**

*Matriz de ponderaciones para el modelo IVE*

Insumos	Formula	Corrección	Peso (%)	Calificación (1-5)	Ponderación
Temperatura		x	4,76%	5	0,24
Humedad Relativa		x	4,76%	5	0,24
Altura sobre el clase del Mar		x	4,76%	5	0,24
Número de partidas		x	4,76%	4	0,19
Velocidad Promedio		x	4,76%	4	0,19
Kilometraje Recorrido	x		33,3%	4	1,33
Contenido de azufre		x	4,76%	3	0,14
Potencia Específica		x	4,76%	3	0,14
Categorización Vehicular	x		33,3%	4	1,33
Total			100%		4,0

**Nota.** Tomado de (Ortiz, 2021)

A continuación, se describe a detalle la aplicación de este modelo en el contexto local.

Dicho modelo calcula las emisiones de contaminantes atmosféricos locales, gases de calentamiento global y compuestos tóxicos, tal como se indica en la tabla 5, utilizando como insumos principales la composición del parque automotor, su actividad y las condiciones locales (ISSRC, 2008), permitiendo estimar de manera adaptada a la realidad de cada ciudad, el mismo incorpora variables como la actividad vehicular y su composición, calidad del combustible y condiciones ambientales, mejorando la precisión de resultados y facilitando la evaluación de estrategias de disminución de emisiones en el tiempo (Urgiles, 2017).

**Tabla 5.***Contaminantes atmosféricos que estima el modelo IVE*

Tipo	Contaminantes	Nomenclatura	
Contaminantes	Monóxido de Carbono	CO2	
Criterio	Compuestos Orgánicos Volátiles	VOC	
	Compuestos Volátiles por evaporación	VOC evap	
	Óxidos de Nitrógeno	NO <sub>x</sub>	
	Óxido de Azufre	SO <sub>x</sub>	
	Material Particulado	PM	
Tóxicos	Plomo	Pb	
	Butadieno	C4H6	
	Acetaldehído	C2H4O	
	Formaldehído	CH2O	
	Benceno	C6H6	
	Amoníaco	NH3	
Calentamiento	Dióxido de Carbono	CO2	
	Global	Dióxido de Nitrógeno	N2O
		Metano	CH4

### 6.2.1 Caracterización del parque vehicular

Para mejorar los resultados de estimación se deben de tomar en cuenta la variedad en la flota vehicular, por ello el modelo mencionado plantea la clasificación basada en los criterios descritos en la tabla 6.

**Tabla 6.***Clasificación de la flota vehicular según el modelo IVE*

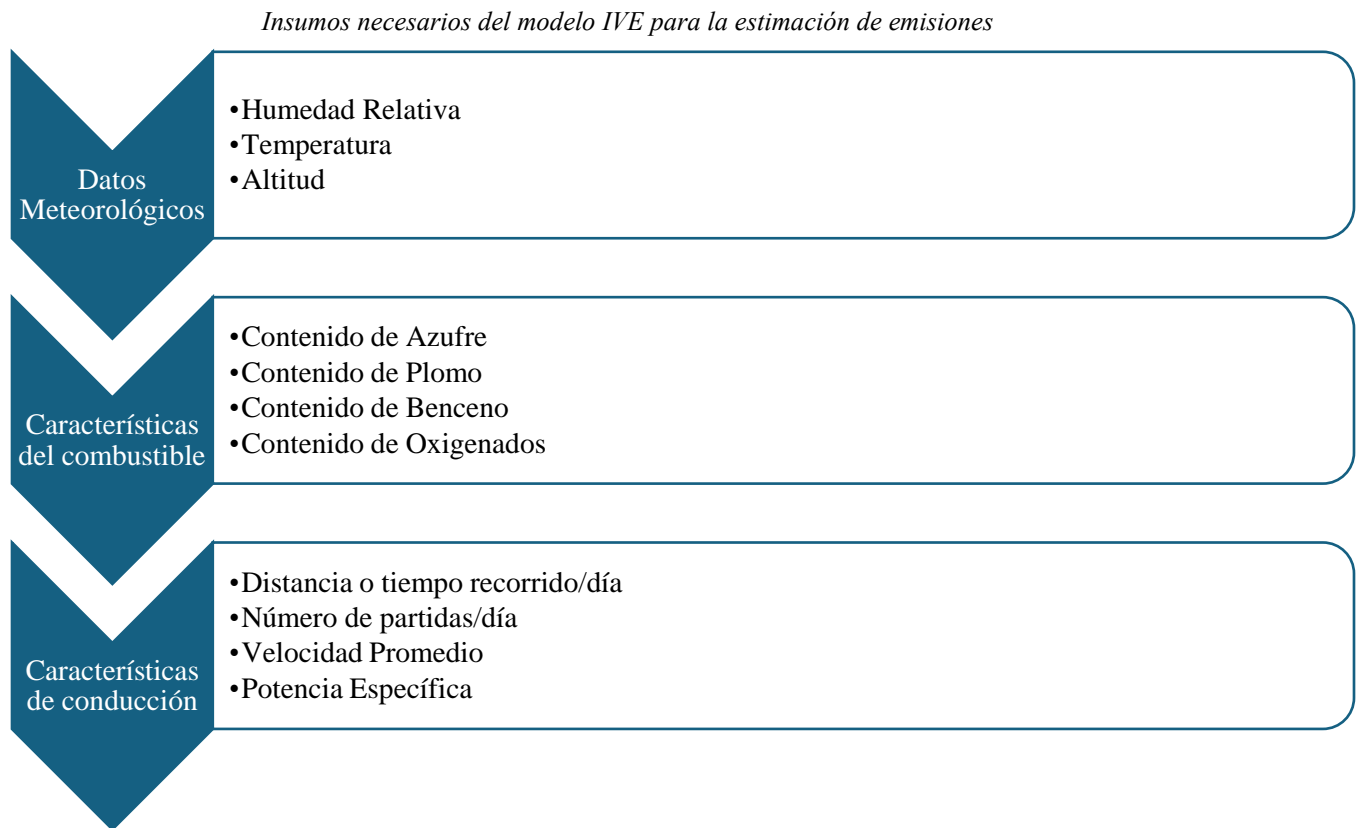
Criterio	Características
Tipo de combustible	Gasolina
	Gas Natural
	Propano
	Etanol
	Diésel
Peso	GNC/GLP
	Liviano (vehículos con motor <1,5 lt)
	Mediano (vehículos con motor 1,5 a 3 lt)
Sistema de alimentación	Pesado (vehículos con motor >3 lt)
	Carburador
	Inyección Monopunto
	Inyección Multipunto
	Inyección Pre cámara
Sistema de tratamiento de gases	Inyección Diésel
	Ninguno
	Ninguno/EGR
	Catalizador de 2 vías
	Catalizador de 2 vías/EGR
Edad por kilometraje acumulativo	Catalizador de 3 vías
	Catalizador de 3 vías/EGR
	<79K km
	80-161 K km
	>161K km

*Nota. Tomado de (Ortiz, 2021)*

## 6.2.2 Insumos para la estimación de emisiones mediante IVE

Además de considerar el parque vehicular como una variable de relevancia dicho modelo nombra los insumos necesarios para que el cálculo se complemente y se desarrolle de manera adecuada y con la mayor precisión requerida, los cuales se indican en la figura 66.

**Figura 66.**



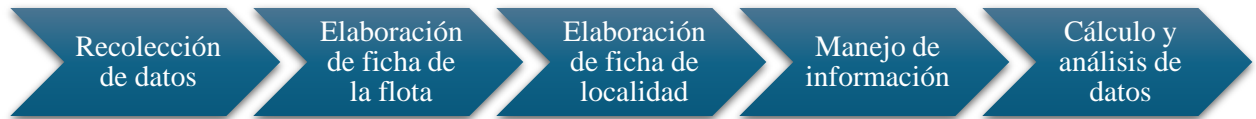
*Nota. Tomado de (Ortiz, 2021)*

## 6.2.3 Estructura para la estimación mediante el modelo IVE

La figura 67, indica la metodología general para la obtención de un inventario de emisiones basado en el modelo de estimación de emisiones IVE, basada en cinco etapas principales.

**Figura 67.**

*Estructura para calcular las emisiones contaminantes según el modelo IVE*



La recopilación de datos, es la etapa inicial mediante esta se juntan todos los insumos necesarios mencionados anteriormente en la figura 3 y en la tabla 4, con la finalidad de obtener una base sólida para generar entradas consistentes y realistas

En la parte de la elaboración de la ficha de flota, se organiza la información recolectada sobre los vehículos en una estructura estandarizada, incluyendo:

- Clasificación del parque automotor.
- Tecnología y control de emisiones.
- Frecuencia de uso.
- Tipo de conducción predominante.
- Segmentación por año modelo y normativa de emisiones.

Por otro lado, la elaboración de la ficha de localidad, representa las condiciones ambientales y operativas de la ciudad mediante:

- Condiciones Meteorológicas: Temperatura promedio y humedad relativa
- Altitud.
- Condiciones operativas: Patrón de conducción, pendientes, número de arranques diarios.
- Ciclo de conducción local: Velocidades promedio, número de paradas por kilómetro, tiempo de operación.

La parte de manejo de información se integran y depuran los datos recolectados para su posterior carga en el software, con el objetivo de asegurar que la información esté estructurada de forma adecuada para que en el software pueda ser procesada sin errores.

Finalmente se realiza el cálculo y el análisis de datos, a través de la ejecución del modelo mediante el cual se obtendrán:

- Emisiones por contaminante.
- Resultados por tipo de vehículo.
- Distribución en emisiones en frío, caliente y evaporativas.
- Tasas de emisión por distancia o tiempo.

#### 6.2.4 Incertidumbre en el modelo IVE

Debido a que en todo proceso de estimación de emisiones atmosféricas la valoración de incertidumbre representa un componente crítico el cual condiciona la confiabilidad y aplicabilidad de los resultados, se necesita analizar de manera sistemática que factores generan dicha incertidumbre.

Por ello mediante el análisis anterior se consiguió determinar que el modelo de estimación que mejor empareja con la metodología propuesta es el planteado por (Quiñones, 2012).

### 6.3 Comparación entre la metodología propuesta y la actual

Después de realizar el análisis del modelo propuesto se procede a comparar las principales características de dicho modelo con el utilizado en el último inventario de emisiones del cantón, tal como lo demuestra la tabla 7.

**Tabla 7.**

*Comparación entre los modelos COPERT e IVE*

Insumo	Característica	COPERT	IVE
Parámetros Meteorológicos	Temperatura	Temperatura Mínima/Máxima	Temperatura/Hora
	Humedad Relativa	Humedad Relativa/Mes	Humedad Relativa/hora
	Altura	No considera	Altitud de la zona
Características del Combustible	Poder Calorífico	Valor del combustible local	No considera
	Densidad	Valor del combustible local	No considera
	Contenido de Azufre	Valor del combustible local	Súper Bajo (15ppm) Bajo (50ppm) Moderado (300ppm) Alto (600ppm)
	Consumo	Combustible vendido	Consumo calculado en función de la potencia específica

Insumo	Característica	COPERT	IVE
Actividad Vehicular	Patrones de conducción	Urbana	Residencial
		Rural	Arterial
		Autopista	Autopista
	Kilometraje recorrido	Kilometraje recorrido anual/por categoría vehicular y patrón de conducción	Kilometraje recorrido horario o diario/categoría vehicular y patrón de conducción
	Velocidad Promedio	Velocidad promedio/ por categoría vehicular y patrón de conducción	Velocidad promedio/ por categoría vehicular y patrón de conducción
	Número de arranques	No considera	Número de arranques/ por categoría vehicular y patrón de conducción
Caracterización de la flota vehicular	Configuración de la flota	Vehículos bajo normas Europeas	Vehículos bajo estándares Europeos, estadounidenses entre otros
	Legislación y tecnología de tratamiento de gases	Tecnologías correspondientes a la legislación europea	Gran diversidad de tecnologías, incluido tecnologías correspondientes a la legislación europea y estadounidense

	Sistema de alimentación	No aplica	Permite configurar la flota de acuerdo a diversos sistemas de alimentación
Estimación	FC	De acuerdo a la velocidad promedio	De acuerdo a la potencia específica

*Nota. Tomado de (Ortiz, 2021)*

#### 6.4 Factores de emisión

El uso de los factores de emisión basados en condiciones locales genera un resultado de estimación real de las emisiones vehiculares, debido a que estos parámetros reflejan la cantidad de contaminantes emitidos por unidad de actividad vehicular.

En función del cantón Cuenca, las características propias como altitud, tipo de parque automotor, condiciones del tráfico, mantenimiento de vehículos y calidad de combustible son factores que influyen directamente en los niveles reales de emisión. Por ello, a continuación, se abordan los resultados de investigaciones realizadas en la localidad que han generado factores de emisión o metodologías adaptadas a las condiciones de reales de la localidad, las cuales permiten una caracterización más realista del impacto ambiental y a la vez tomar mejores decisiones para la mejora de esta problemática.

(Arias & Ludeña, 2018) en su trabajo estudian el comportamiento de los vehículos tipo M1, mediante una metodología basada en un diseño experimental factorial, permitiendo evaluar la influencia de variables como la ruta, la hora del día y el día de la semana sobre los niveles de consumo de combustible y emisiones contaminantes.

En dicho estudio se establecieron seis rutas divididas en dos secciones cada una, abarcando sectores urbanos con mayor concentración vehicular, mediante las cuales se realizaron treinta y

seis corridas experimentales considerando diferentes combinaciones de horario y días con distintos niveles de congestión. Las variables consideradas como de respuesta incluyeron gases como el CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, y además del consumo de combustible, por otro lado, variables como la presión atmosférica, temperatura y humedad fueron consideradas como variables de ruido, una vez obtenido dichas variables fueron analizadas mediante el software MINITAB, permitiendo identificar las condiciones que generan mayor impacto ambiental y energético

En el capítulo 30 se estudia cómo el estilo de conducción en este caso el normal y el agresivo, influye en las emisiones contaminantes provenientes por un vehículo de combustión interna, la metodología que utiliza este estudio está basada en la adquisición y análisis de datos de señales PID mediante el puerto OBD II de un vehículo, empleando técnicas de aprendizaje automático para categorizar el estilo de conducción, finalmente se realiza un estudio comparativo de las emisiones contaminantes y el consumo de combustible en ambas condiciones de conducción, a través del uso de un analizador de gases, sensores y pruebas en condiciones reales, permitiendo correlacionar el estilo de conducción con la variación de emisiones y el consumo, para determinar la influencia de la conducción sobre estos parámetros (Rocha et al., 2022).

(Rivera-Campoverde et al., 2024) desarrollan un método práctico para estimar las emisiones contaminantes de vehículos ligeros (sedán, SUV, pick up) bajo condiciones de conducción real, la metodología planteada combina la adquisición de datos en condiciones reales con el uso de redes neuronales, este proceso se lleva a cabo inicialmente con la recolección de datos de emisiones en rutas reales mediante el uso de GPS y de OBD, luego de ello procede a seleccionar la variable más relevante para la estimación (velocidad, pendiente, características del vehículo) y con ella se entrena una red neuronal para posteriormente validarla con datos de una

segunda ruta, finalmente se utiliza la red entrenada para estimar emisiones en grandes conjuntos de datos de conducción en condiciones reales.

En conclusión, el considerar la integración de factores de emisión obtenidos o ajustados mediante metodologías desarrolladas bajo contextos locales compone un factor crítico para mejorar la estimación de emisiones y a la vez los resultados del inventario de emisiones vehiculares, permitiendo reflejar mayor transparencia en las condiciones de manejo reales del parque automotor en el cantón, considerando variables influyentes como la altitud, topografía, calidad del combustible y características del tráfico, por ello se recomienda que las futuras estimaciones de emisiones incorporen las metodologías previamente analizadas, ya que estas proporcionan una base robusta para fortalecer la precisión de los cálculos y a la vez mejora las decisiones respecto a la mejora de la gestión ambiental.

#### 6.5 Actividad vehicular

La actividad vehicular es un factor determinante en la estimación de emisiones provenientes de fuentes móviles, permite cuantificar el uso real del tráfico vehicular de acuerdo con el kilometraje recorrido, los patrones de conducción y los tiempos de operación, sin embargo, su adecuada caracterización requiere métodos que consideran las variables locales, por eso utilizar una alternativa desarrollada bajo condiciones de la ciudad hará que el cálculo de estimaciones sea más preciso y confiable.

Por ello, (Angamarca & Ávila, 2023) proponen una alternativa de modelo de estimación de emisiones el cual se basa en las características constructivas de los autos de categoría M1, inicialmente se realiza la recolección de datos realizando pruebas Real Driving Emissions (RDE) en dos rutas urbanas del cantón, durante las cuales utilizó un PEMS para medir las emisiones y un

sensor GPS y sistema OBD para registrar datos de velocidad, aceleración, rpm, carga del motor y posición geográfica, para luego de ello procesar los datos segmentado en intervalos de 1 segundo e identificar los cambios de marcha usando un algoritmo K-means, finalmente se aplicó Random Forest para seleccionar variables relevantes y entrenar los modelos de ANN de manera independiente para cada contaminante pudiendo así validar en una segunda ruta los resultados.

Después de haber analizado la metodología utilizada en dicho trabajo, y dado a su enfoque práctico, costo-efectivo y validado en condiciones reales, el método propuesto representa una alternativa recomendable para fortalecer los inventarios de emisiones vehiculares en ciudades que necesiten considerar sus factores locales con el objetivo de optimizar la exactitud de los resultados, a través de la adaptación de las particularidades del parque automotor y los patrones de movilidad locales.

## 7 CONCLUSIONES

Mediante la revisión bibliográfica se evidenció que los modelos actualmente utilizados para estimar las emisiones contaminantes en Cuenca, presentan limitaciones metodológicas debido a que no se consideran variables locales, como las mencionadas y estudiadas.

El análisis de los inventarios de emisiones de Cuenca de los años 2011, 2014 y 2021 permitieron detectar inconsistencias en la evolución de contaminantes, especialmente en el año 2014 en el cual se evidencia una generación de picos lo cual demuestra una deficiencia en los datos.

Para el año 2021 los resultados demostrados evidencian las consecuencias de una pandemia mundial (COVID-19), la cual limitó la movilización y el tráfico vehicular, lo que a su vez reduciría las emisiones contaminantes.

Además, se identificaron correlaciones débiles y negativas entre el número de vehículos y algunos contaminantes en el estudio realizado con datos de la EMOV y de la provincia del Azuay, mientras que los registros del informe de calidad de aire mostraron correlaciones coherentes con relación al registro de datos del parque automotor.

Gracias a la comparación con los inventarios de la ZMVM, se evidenció que esta ciudad con mayor población y densidad vehicular, ha logrado reducir sus tasas de emisión, demostrando que la ciudad de Cuenca, existe un mayor índice de contaminación resultado de una sobreestimación o deficiencia en las variables indispensables para el cálculo de inventario de emisiones.

A partir del análisis de variables aplicables en el entorno local, la propuesta de optimización se basa en el uso de IVE como herramienta principal para la estimación de emisiones vehiculares,

debido a que esta creada para adaptarse fácilmente a las condiciones locales, dicho modelo deberá incorporar variables recomendadas en estudios realizados para el cantón.

Finalmente, este trabajo evidencia la importancia de contextualizar metodologías de estimación de emisiones en ciudades como Cuenca, además de ser una base para investigaciones futuras orientadas a fortalecer la gestión ambiental.

## **8 RECOMENDACIONES**

Se sugiere crear un sistema de monitoreo ambiental y vehicular en el cual se recopile datos en tiempo real sobre la circulación, consumo de combustible, emisiones por tipo de vehículo, mediante la incorporación de herramientas tecnológicas.

Se debe priorizar el uso de fuentes con mayor correlación técnica, o realizar un trabajo conjunto entre las instituciones encargadas del registro de datos, para que estos sean más precisos, a través de un protocolo técnico único de registro y procesamiento de información.

Examinar y considerar el uso de metodologías planteadas en estudios realizados para la localidad.

Adoptar el uso del modelo IVE en las próximas estimaciones para el inventario de emisiones por fuentes móviles, gracias a la calibración de factores que está permite, mediante el uso de un registro de datos sistemática y detallada de forma periódica.

Además, se debe considerar el reajuste constante del inventario de emisiones, el cual permitirá reflejar varios cambios en el parque automotor, infraestructura vial y el comportamiento de movilidad.

Finalmente se sugiere diseñar e implementar políticas de renovación del parque automotor, además de fortalecer el régimen de la revisión técnica vehicular mediante el control efectivo de emisiones bajo las normativas planteadas.

## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Angamarca Silverio, W. N., & Ávila Puzma, J. F. (2023). Modelo de estimación de emisiones basado en características constructivas de vehículos M1, caso Cuenca-Ecuador [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25766>

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 [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15325>

Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE). (2021). Anuario estadístico del sector automotor 2021. <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2022/03/Anuario-Aeade-2021.pdf>

Binder, A. (2014). Factores de emisión vehicular.

Cabrera, M. (2011). Inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca 2011 [Mensaje introductorio]. Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV EP).

Empresa Pública Municipal de Movilidad (EMOV EP). (2014). Informe rendición de cuentas 2014 [Informe]. <https://www.emov.gob.ec/sites/default/files/INFORME%20RENDICION%20DE%20CUENTAS%202014.pdf>

Empresa Pública Municipal de Movilidad (EMOV EP). (2021). Rendición de cuentas EMOV EP 2021 [Informe]. <https://www.emov.gob.ec/wp-content/uploads/2022/04/RENDICION%20DE%20CUENTAS%20EMOV%202021.pdf>

EP Petroecuador. (2022, 7 de marzo). EP Petroecuador produce combustibles con estándares de calidad de acuerdo a las normas técnicas ecuatorianas INEN. EP Petroecuador. Recuperado de <https://www.eppetroecuador.ec/?p=12434>

Espinoza Molina, C., Caguana, C., Heredia Rivadeneira, E., & Parra, R. (2024). Informe de la Calidad del Aire Cuenca 2023. Empresa Pública de Movilidad, Tránsito y Transporte (EMOV EP); Alcaldía de Cuenca. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/381431548\\_Informe\\_de\\_la\\_Calidad\\_Aire\\_Cuenca\\_2023](https://www.researchgate.net/publication/381431548_Informe_de_la_Calidad_Aire_Cuenca_2023)

Freire Lascano, Á. F. (2021). Análisis comparativo entre COPERT e IVE sobre la producción de emisiones automovilísticas emitidas en el Ecuador durante el periodo 2012-2017 [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/view/institution/Industriales/>

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2022, septiembre). Anuario de estadísticas de transporte 2021 (ESTRA 2021). INEC. Recuperado de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/ESTRA\\_2021/2021\\_BOLETIN\\_ESTRA.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/ESTRA_2021/2021_BOLETIN_ESTRA.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). 2022 CPV Nacional – Densidad poblacional [Archivo Excel]. [https://www.censoecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2023/10/2022\\_CPV\\_NACIONAL\\_DENSIDAD\\_POBLACIONAL.xlsx](https://www.censoecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2023/10/2022_CPV_NACIONAL_DENSIDAD_POBLACIONAL.xlsx)

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (s. f.). Vehículos matriculados – serie histórica 2008-2014. INEC. Recuperado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/vehiculos-matriculados-serie-historica-2008-2014/>

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). Resultados provinciales: Azuay. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/azuay.pdf>

International Sustainable Systems Research Center (ISSRC). (2008). Manual del usuario del modelo IVE. [http://www.issrc.org/ive/downloads/manuals/UsersManual\(sp\).pdf](http://www.issrc.org/ive/downloads/manuals/UsersManual(sp).pdf)

Martí, S. E. (s.f.). Contaminación atmosférica [Archivo PDF]. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. <https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Atmosfera/contatmosf.pdf>

Méndez Severino, Á. A. (2018). Estimación de las emisiones contaminantes por fuentes móviles a nivel local en el Distrito de Barranquilla [Tesis de maestría, Universidad del Norte]. <http://hdl.handle.net/10584/9934>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (s.f.). El tráfico vehicular en Cuenca es la fuente de emisión más contaminante del aire. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. <https://www.ambiente.gob.ec/el-trafico-vehicular-en-cuenca-es-la-fuente-de-emision-mas-contaminante-del-aire/>

Moscoso Vanegas, D. L., Vázquez Freire, V. E., & Astudillo Alemán, A. L. (2015). Modelamiento de la calidad del aire en la ciudad de Cuenca-Ecuador. *Iteckne*, 12(2), 188–197. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-17982015000200010&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-17982015000200010&lng=en&tlng=es)

Ortiz Jaramillo, D. L. (2021). Desarrollo de una propuesta metodológica en base a las características del parque automotor y las condiciones de la ciudad de Cuenca para la estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles terrestres [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20562>

Parra, R. (2014). Resumen del inventario de emisiones atmosféricas del Cantón Cuenca, año 2011. Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV EP). [https://www.researchgate.net/publication/273138979\\_Resumen\\_del\\_Inventario\\_de\\_emisiones\\_atmosfericas\\_del\\_Canton\\_Cuenca\\_ano\\_2011\\_Cuenca\\_-\\_Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/273138979_Resumen_del_Inventario_de_emisiones_atmosfericas_del_Canton_Cuenca_ano_2011_Cuenca_-_Ecuador)

Parra, R. (2016). Inventario de emisiones atmosféricas del Cantón Cuenca 2014. Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV EP). [https://www.researchgate.net/publication/311789933\\_Inventario\\_de\\_Emisiones\\_Atmosfericas\\_d\\_el\\_Canton\\_Cuenca\\_2014](https://www.researchgate.net/publication/311789933_Inventario_de_Emisiones_Atmosfericas_d_el_Canton_Cuenca_2014)

Parra, R., Molina, C., Caguana, C., & Heredia, E. (2023). Inventario de emisiones atmosféricas del Cantón Cuenca 2021. [https://www.researchgate.net/publication/373830159\\_Inventario\\_de\\_Emisiones\\_Atmosfericas\\_d\\_el\\_Canton\\_Cuenca\\_2021](https://www.researchgate.net/publication/373830159_Inventario_de_Emisiones_Atmosfericas_d_el_Canton_Cuenca_2021)

Quiñones Cantor, L. (2012). Evaluación de los inventarios de emisiones de fuentes móviles de Bogotá mediante datos de la red de calidad de aire [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Evaluación de los inventarios de emisiones de fuentes móviles de Bogotá mediante datos de la red de calidad de aire

Rivera Campoverde, Néstor Diego (2024). Modelo microscópico de estimación de emisiones contaminantes de fuentes móviles basado en aprendizaje automático [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.82730>.

Rivera-Campoverde, N. D., Arenas-Ramírez, B., Muñoz Sanz, J. L., & Jiménez, E. (2024). GPS data and machine learning tools, a practical and cost-effective combination for estimating light vehicle emissions. *Sensors*, 24(7), 2304. <https://doi.org/10.3390/s24072304>

Rocha, Á., López-López, P. C., & Salgado-Guerrero, J. P. (Eds.). (2022). Communication, smart technologies and innovation for society: Proceedings of CITIS 2021 (Vol. 252). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-4126-8>

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (2012). Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) 2012 [Informe]. <https://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisioneszmvm2012/inventario-emisioneszmvm2012.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (2014). Inventario de emisiones de la Ciudad de México 2014 [Informe]. <https://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-cdmx2014-2/IE-CDMX-2014.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (2021). Inventario de emisiones de la Ciudad de México 2020. <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-cdmx-2020/inventario-emisiones-cdmx-2020.pdf>

Tipanluisa, Luis E, Remache, Abel P, Ayabaca, Cesar R, & Reina, Salvatore W. (2017). Polluting Emissions of a Spark Engine Operating at Two Heights with Two Qualities Fuels. *Información tecnológica*, 28(1), 03-12. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000100002>

U.S. Environmental Protection Agency. (s.f.). MOBILE6 vehicle emission modeling software. AQBook. <http://www.aqbook.org/read/?page=83&language=Spanish>

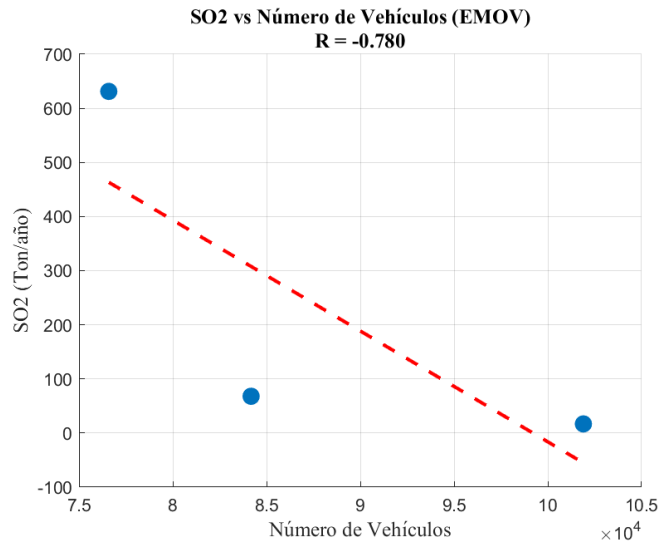
Urgiles Clavijo, J. S. (2017). Propuesta metodológica para la obtención del inventario de emisiones de fuentes móviles terrestres en la ciudad de Cuenca [Trabajo de graduación, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7205/1/13152.pdf>

Valencia Arroyave, D., Muñoz-Duque, M. A., Ramírez Muñoz, A., Builes Jaramillo, L. A., & Hoyos-Restrepo, C. A. (2015). Modelo para la estimación de emisiones vehiculares como herramienta para la gestión ambiental institucional. *Producción + Limpia*, 10(1), 22–39. <https://doi.org/10.22507/pml.v10n1a2>

## 10 ANEXOS

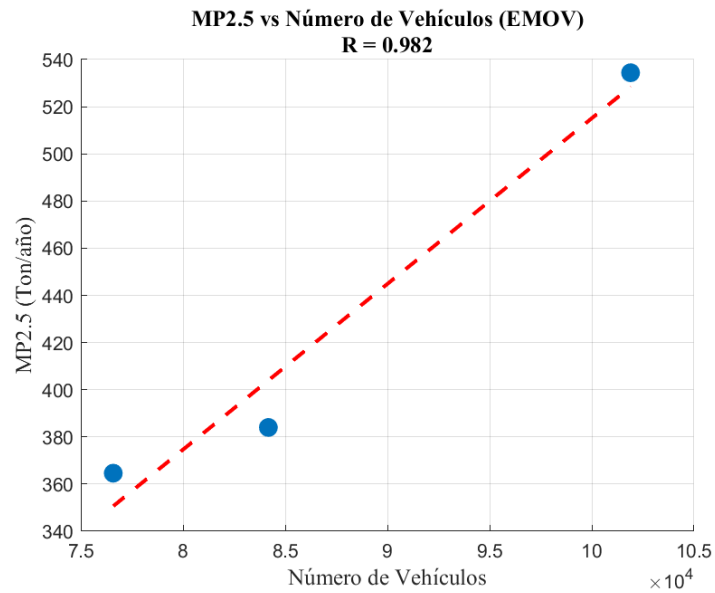
**Figura A - 1.**

*Análisis de correlación entre el SO<sub>2</sub> y el número de vehículos según la EMOV*



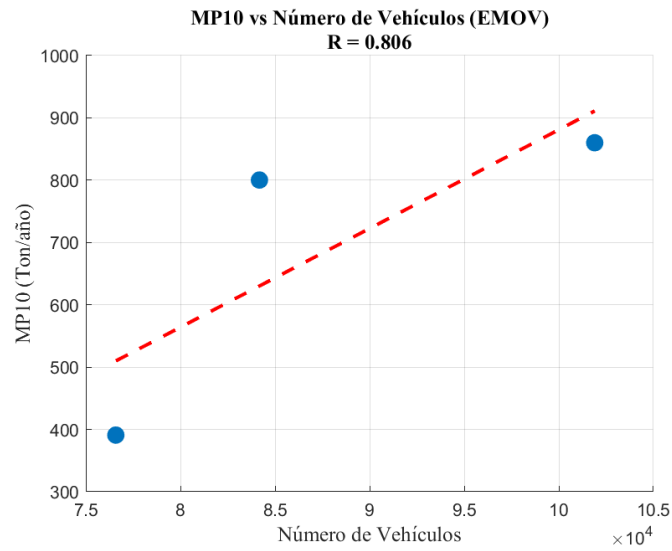
**Figura A - 2.**

*Análisis de correlación entre el MP2.5 y el número de vehículos según la EMOV*



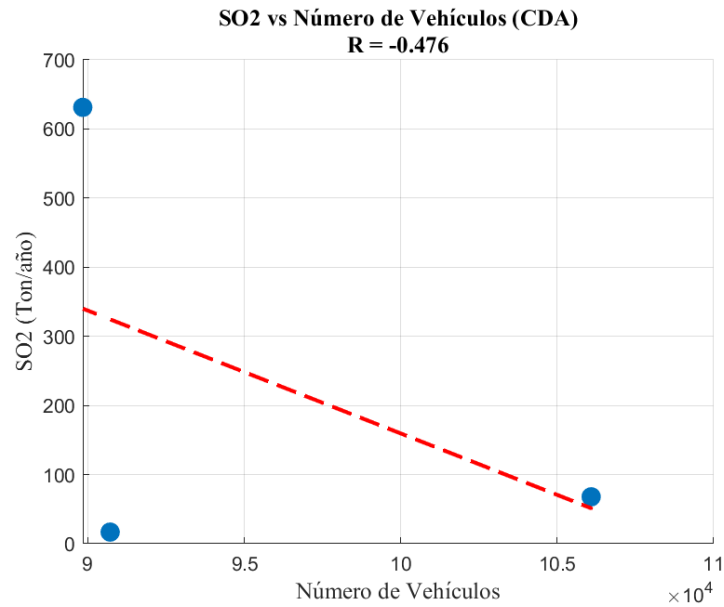
**Figura A - 3.**

*Análisis de correlación entre el MP10 y el número de vehículos según la EMOV*



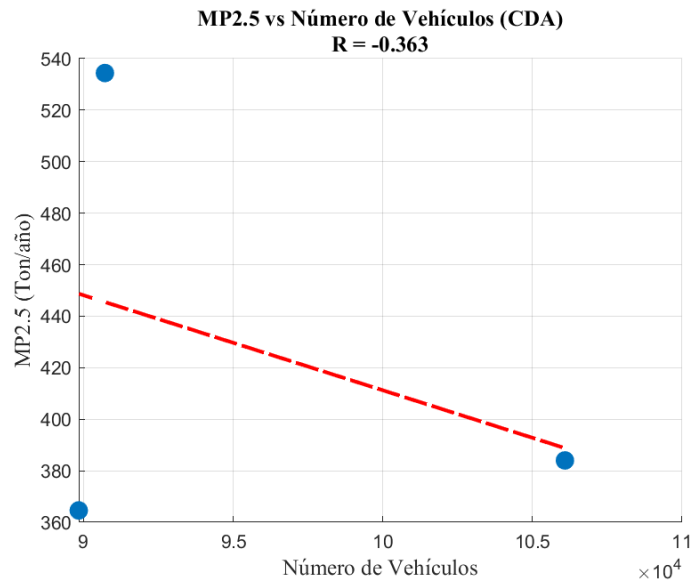
**Figura A - 4.**

*Análisis de correlación entre el SO<sub>2</sub> y el número de vehículos según la CDA*



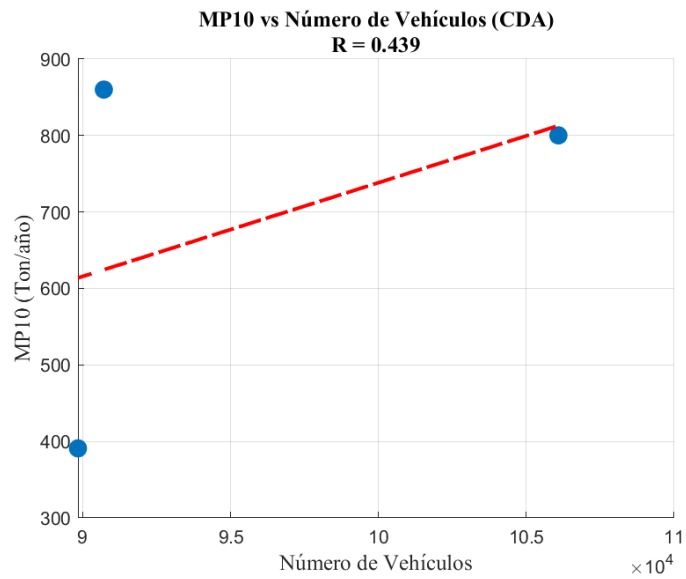
**Figura A - 5.**

*Análisis de correlación entre el MP2.5 y el número de vehículos según la CDA*



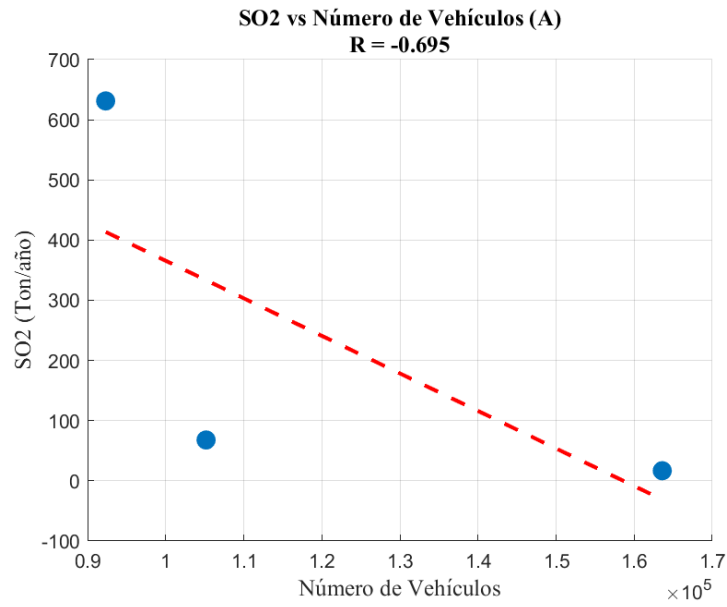
**Figura A - 6**

*Análisis de correlación entre el MP10 y el número de vehículos según la CDA*



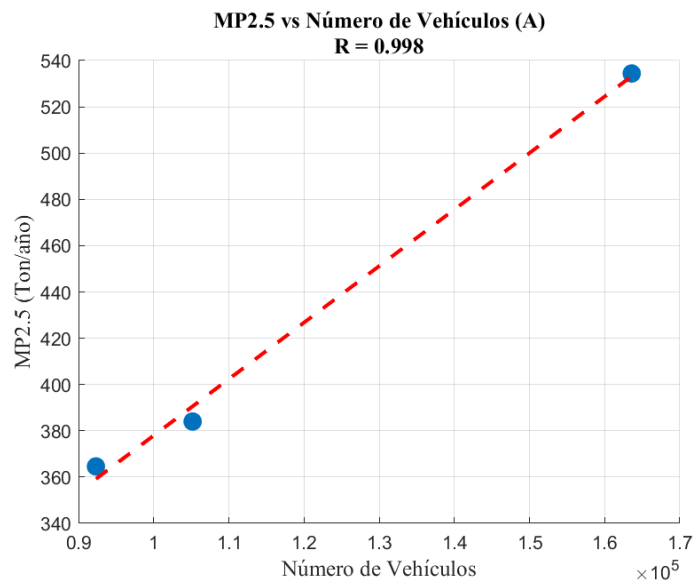
**Figura A - 7.**

*Análisis de correlación entre el SO<sub>2</sub> y el número de vehículos según los datos de la provincia*



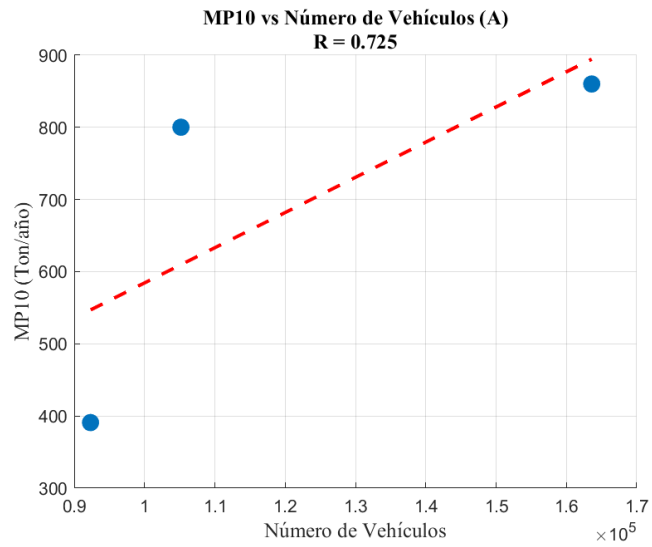
**Figura A - 8.**

*Análisis de correlación entre el MP2.5 y el número de vehículos según los datos de la provincia*



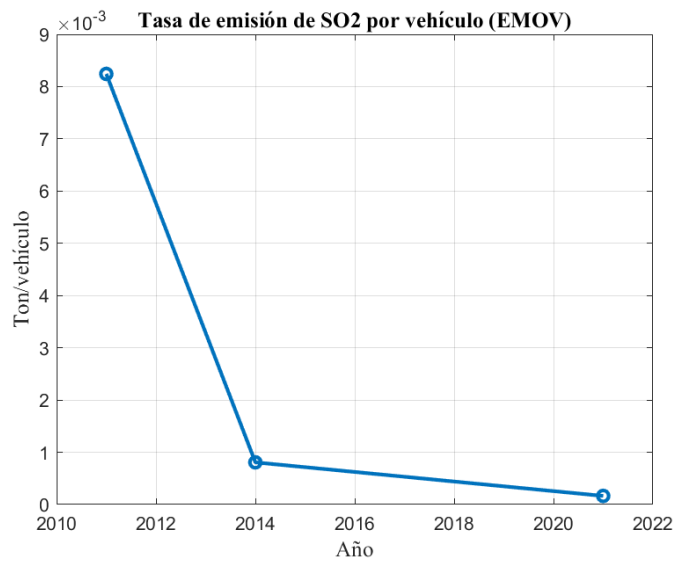
**Figura A - 9.**

*Análisis de correlación entre el MP10 y el número de vehículos según los datos de la provincia*



**Figura A - 10.**

*Tasa de emisión de SO<sub>2</sub> de los vehículos registrados por la EMOV*



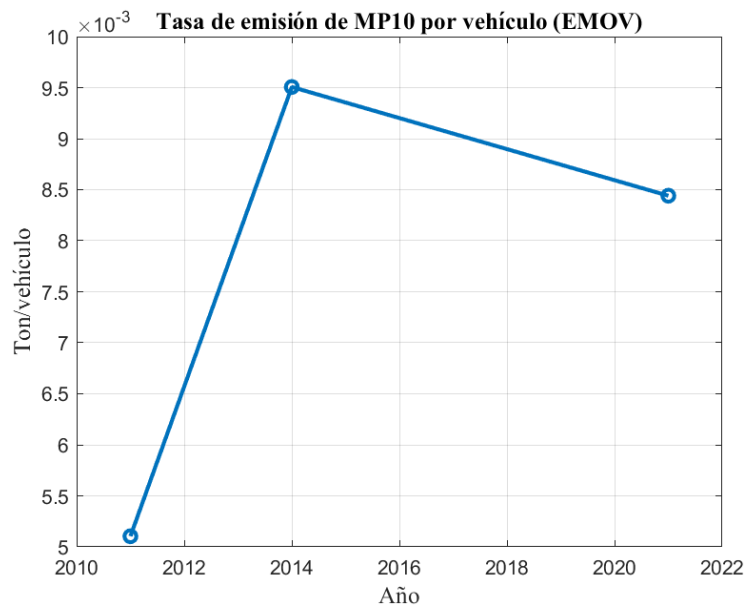
**Figura A - 11**

*Tasa de emisión de MP2.5 de los vehículos registrados por la EMOV*



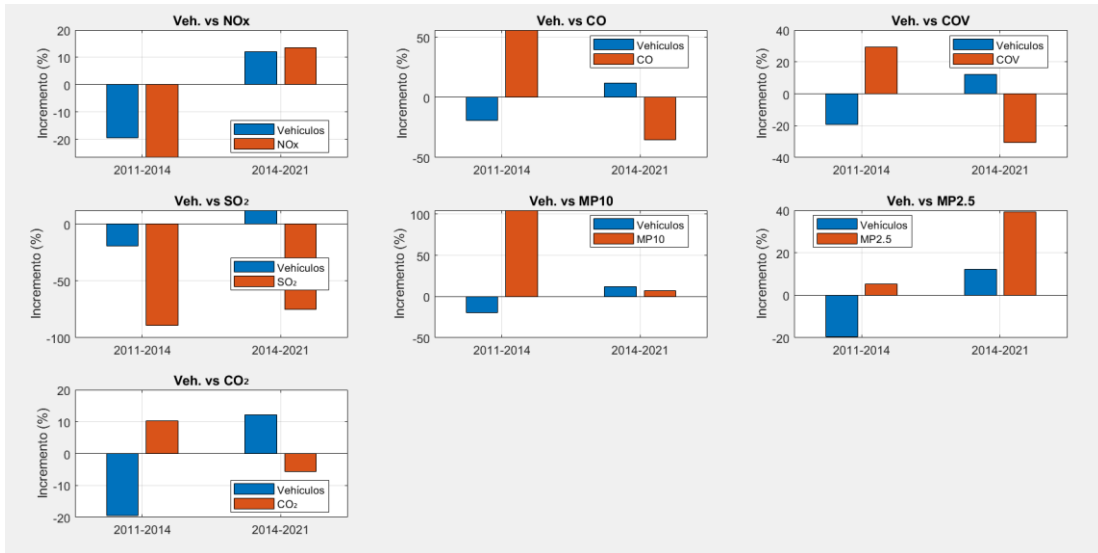
**Figura A - 12.**

*Tasa de emisión de MP10 de los vehículos registrados por la EMOV*



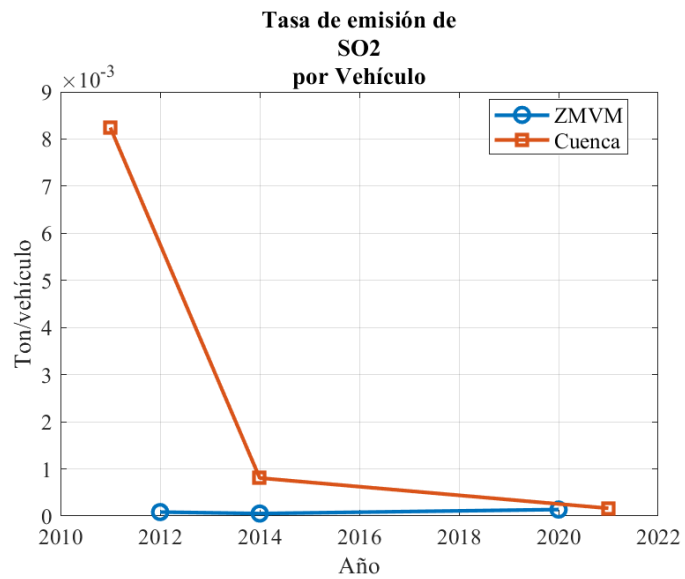
**Figura A - 13.**

*Incremento porcentual de emisiones entre años según los inventarios de emisiones de Cuenca*



**Figura A - 14.**

*Comparación entre tasas de emisión de SO<sub>2</sub> de los inventarios de Cuenca frente a los de la ZMVM*



**Figura A - 15.**

*Comparación entre tasas de emisión de MP2.5 de los inventarios de Cuenca frente a los de la ZMVM*

