

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: 1

EVALUACIÓN Y MITIGACIÓN DE EMISIONES DE CO₂ EN EL PARQUE AUTOMOTOR DE CALI

Evaluation and Mitigation of CO₂ Emissions in the Vehicle Fleet of Cali
Avaliação e Mitigação das Emissões de CO₂ na Frota de Veículos de Cali

Darío Camilo Viteri Lasso

viteridario11@javerianacali.edu.co

Pontificia Universidad Javeriana Cali
Colombia
Estudiante Ingeniería Industrial

Kathleen Salazar Serna

Kathleen.salazar@javerianacali.edu.co

Pontificia Universidad Javeriana Cali
Colombia
Candidata a Doctora en Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia
Profesora asistente. Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

Recepción: 10/08/2024

Aceptación: 30/11/2024

DOI:

Resumen

El incremento de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) derivado del transporte automotor es un fenómeno de gran preocupación a nivel mundial, con efectos adversos en la salud pública y el medio ambiente. Cali, una ciudad con una población de 2.280.522 habitantes y un parque automotor de 787.940 vehículos, presenta una tasa de motorización de 2,89 habitantes por vehículo. Esta alta densidad vehicular contribuye significativamente a la contaminación del aire, subrayando la necesidad de estudios detallados sobre sus impactos y la formulación de políticas de mitigación adecuadas. Por esta razón, se pretende calcular y analizar las emisiones de todo el parque automotor y determinar cuáles categorías de vehículos generan mayores emisiones, identificar las causas y las normas Euro aplicables a cada categoría vehicular. Además, se presentan tres escenarios para estimar el impacto en la reducción de emisiones en un periodo de 10 años si se implementaran tres posibles políticas y finalmente, se hacen recomendaciones.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: 1

Palabras clave

emisiones de CO₂, transporte automotor, políticas de mitigación, calidad del aire, salud pública, movilidad sostenible.

Abstract

The increase in carbon dioxide (CO₂) emissions from motor vehicle transportation is a phenomenon of great global concern, with adverse effects on public health and the environment. Cali, a city with a population of 2,280,522 inhabitants and a motor vehicle fleet of 787,940 vehicles, has a motorization rate of 2.89 inhabitants per vehicle. This high vehicle density significantly contributes to air pollution, underscoring the need for detailed studies on its impacts and the formulation of appropriate mitigation policies. For this reason, this study aims to calculate and analyze the emissions of the entire motor vehicle fleet and determine which vehicle categories generate the most emissions, identify the causes, and the Euro standards applicable to each vehicle category. Additionally, three scenarios are presented to estimate the emission reductions over a 10-year period if certain policies or recommendations are implemented.

Keywords

CO₂ emissions, motor vehicle transportation, mitigation policies, air quality, public health, sustainable mobility.

Abstrato

O aumento das emissões de dióxido de carbono (CO₂) derivadas do transporte automotivo é um fenômeno de grande preocupação mundial, com efeitos adversos na saúde pública e no meio ambiente. Cali, uma cidade com uma população de 2.280.522 habitantes e uma frota de 787.940 veículos, apresenta uma taxa de motorização de 2,89 habitantes por veículo. Essa alta densidade de veículos contribui significativamente para a poluição do ar, sublinhando a necessidade de estudos detalhados sobre seus impactos e a formulação de políticas de mitigação adequadas. Por essa razão, pretende-se calcular e analisar as emissões de toda a frota automotiva e determinar quais categorias de veículos geram maiores emissões, identificar as causas e as normas Euro aplicáveis a cada categoria veicular. Além disso, são apresentados três cenários para estimar a redução de emissões em um período de 10 anos se certas políticas ou recomendações forem implementadas.

Palavras-chave

emissões de CO₂, transporte automotivo, políticas de mitigação, qualidade do ar, saúde pública, mobilidade sustentável.

INTRODUCCIÓN

A nivel global, numerosos estudios han documentado la relación entre las emisiones de CO₂ y los efectos negativos en la salud pública y el medio ambiente. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: 1

contaminación del aire es responsable de millones de muertes prematuras cada año, principalmente debido a enfermedades respiratorias y cardiovasculares. En Colombia, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) reporta aproximadamente 8.000 muertes anuales por enfermedades respiratorias asociadas a la polución del aire, destacando la gravedad del problema en el contexto local. La literatura nacional también revela que el transporte es una de las principales fuentes de emisiones de CO₂. Datos del Ministerio de Transporte (2022) indican que el 42% del consumo de combustibles fósiles y el 39% de las emisiones de CO₂ en Colombia provienen del sector transporte. En el ámbito local, estudios previos en Cali han señalado la necesidad de abordar el impacto de la alta tasa de motorización y sus consecuencias ambientales y sanitarias.

La investigación liderada por la Universidad Javeriana sobre la movilidad y las emisiones del parque automotor en Cali es de gran relevancia y pertinencia. La motivación principal radica en la necesidad de obtener datos precisos y actualizados que permitan evaluar las dinámicas de movilidad y sus efectos en la calidad del aire. Este estudio busca llenar un vacío en la literatura existente al proporcionar un análisis detallado y contextualizado de la situación en Cali.

MÉTODO

Esta investigación, de tipo cuantitativo y alcance descriptivo, se llevó a cabo en la ciudad de Cali con el objetivo de analizar y reducir las emisiones de CO₂ generadas por el parque automotor. La metodología se centró en la recopilación y análisis de datos vehiculares categorizados por tipo de vehículo (carga, liviano, motocicleta, etc.), cilindraje y antigüedad. La información se obtuvo a partir de registros oficiales y bases de datos vehiculares registrados en el RUNT.

Inicialmente, se utilizó una base de datos que contenía información categorizada de los vehículos. Se procedió a analizar la cantidad de vehículos y su participación en el parque automotor de Cali, identificando las categorías más relevantes según el tipo de vehículo, antigüedad y cilindraje. Se calculó el promedio de cilindraje para cada tipo de vehículo y se dividió la flota en dos grupos: el 50% más antiguo y el 50% más nuevo, basándonos en los rangos de edades más representativos. Estas variables se seleccionaron debido a su influencia directa en los factores de emisiones de CO₂, dado que la antigüedad de los vehículos determina la aplicación de las normas euro y el nivel de contaminantes generados.

Se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos, revistas y fuentes académicas nacionales e internacionales para identificar modelos de vehículos que se ajustaran a las características específicas de cilindraje y antigüedad y determinar las cantidades de CO₂ emitidas por cada tipo de vehículo, expresadas en gramos por kilómetro (g/km). Posteriormente, se consultaron las distancias promedio recorridas anualmente según el tipo de vehículo, lo cual fue crucial para estimar las emisiones totales de CO₂.

Finalmente, se calcularon las emisiones totales de CO₂ para cada categoría de vehículo. Se determinó la cantidad de vehículos por categoría y antigüedad, y se multiplicaron las emisiones por kilómetro (g/km) de cada tipo de vehículo por la distancia promedio recorrida anualmente. Las emisiones totales se calcularon multiplicando el número de vehículos por las emisiones anuales estimadas para cada tipo de vehículo.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: 1

Este proceso se aplicó dos veces para cada categoría, diferenciando entre los vehículos más antiguos y los más nuevos.

Estos procedimientos permitieron obtener una visión detallada de las emisiones de CO2 del parque automotor de Cali, identificando áreas críticas para la implementación de regulaciones y estrategias de mitigación. Esto permitió realizar un análisis más detallado y presentar recomendaciones y estrategias para disminuir las emisiones en el distrito.

RESULTADOS

Los datos y la información obtenida de diversas fuentes y bases de datos permitieron calcular las emisiones de CO2 para cuatro categorías del parque automotor: vehículos de carga, vehículos livianos, buses y motocicletas. Las variables consideradas para este cálculo incluyen la normativa euro, la antigüedad, el número de emisiones generadas, las unidades activas en el parque automotor y el recorrido anual en kilómetros para cada categoría. Los promedios anuales de recorrido considerados fueron: 20.000 kilómetros para vehículos livianos, 8.500 kilómetros para motocicletas, 65.316 kilómetros para vehículos de carga y 57.361 kilómetros para buses.

A partir de estos datos, se obtuvieron los siguientes resultados:

Norma Euro	Categoría	Antigüedad	Emisiones CO2	Unidades	Emisiones de CO2 (ton/km)	Emisiones anuales de CO2 ton/km	Porcentaje Total emisiones CO2 anuales
Pre euro	Carga	Más de 30 años	741,6	6.082	4,51	294.602	9,93%
Euro IV	Carga	Menos de 30 años	522,1	2.990	1,56	101.963	3,44%
Euro III	Livianos	Más de 20 años	204,8	167.436	34,29	685.818	23,11%
Euro V	Livianos	Menos de 20 años	155,08	357.370	55,42	1.108.419	37,36%
Pre euro	Buses	Más de 30 años	894,8	4.261	3,81	218.703	7,37%
Euro IV	Buses	Menos de 30 años	1163,9	4.705	5,48	314.117	10,59%
Euro IV	Motocicletas	Más de 15 años	150	82.944	12,44	105.754	3,56%
Euro VI	Motocicletas	Menos de 15 años	100	161.896	16,19	137.612	4,64%
Total				787.684	133,70	2.966.987	

Tabla 1
Toneladas anuales de CO2 en el parque automotor de Cali 2024
Fuente: Elaboración propia

Después de realizar los cálculos presentados en la tabla, se identificaron los porcentajes más significativos en relación con las categorías y su antigüedad. Los vehículos livianos, aunque no son los que más emisiones generan por motor, representan la mayor parte del parque automotor, lo que contribuye significativamente a las emisiones totales. En tercer lugar, se destacan los buses con menos de 30 años. Curiosamente, a pesar de que la flota de buses de más de 30 años y menos de 30 años es similar en número, los buses menos antiguos generan más emisiones debido a su mayor tamaño y capacidad, que ha aumentado de 28 a más de 42 pasajeros en los últimos 30 años.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: 1

Las demás categorías presentan porcentajes más similares, aunque todos son importantes. Se decidieron tres escenarios para reducir las emisiones de CO₂ mediante políticas, regulaciones y estrategias.

Escenario 1: Se planteó como estrategia reemplazar la flota de vehículos más antigua para cada una de las categorías en un periodo de 10 años, es decir, que cada año se reemplace un 10% de la flota por vehículos más nuevos. La reducción de emisiones sería de 29,57 megatoneladas a 28,35 megatoneladas al cabo de 10 años, lo que representa una disminución del 4,13% respecto a las emisiones durante este periodo si no se aplica ninguna política de mejora.

Escenario 2: Se propuso una política más exigente que aplica a la mayoría de los vehículos del parque automotor, reemplazando los vehículos por aquellos que cumplan al menos la norma euro 5 y generen menos emisiones de CO₂. De igual manera, en un periodo de 10 años, se reemplazaría progresivamente un 10% de la flota cada año. De esta forma, se lograría una mayor reducción de emisiones, de 29,57 megatoneladas a 27,38 megatoneladas, representando una disminución del 7,4% en las emisiones de CO₂ para el distrito.

Escenario 3: En esta propuesta, se decidió analizar los vehículos livianos, ya que tienen un mayor aporte de emisiones en el parque automotor. Se planteó reemplazar entre el 10% y el 15% de esta flota por vehículos con motorización híbrida, lo que generaría menos emisiones. Se realizaron los cálculos considerando una transición durante los próximos 10 años, resultando en una reducción del 1,77%, pasando de 29,57 megatoneladas a 29,04 megatoneladas al cabo de 10 años.

Categoría	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
	Reemplazo flota más antigua por categoría		Reemplazo por a norma Euro 5		Reemplazar 10-15% livianos por híbridos	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Livianos	17,88	16,97	17,88	16,97	17,88	17,36
Motocicletas	2,43	2,23	2,43	2,40	2,43	2,43
Carga	3,95	3,48	3,95	3,31	3,95	3,95
Buses	5,31	5,67	5,31	4,71	5,31	5,31
Total	29,57	28,35	29,57	27,38	29,57	29,04
Variación	4,13%		7,40%		1,77%	

Tabla 2
Megatoneladas anuales de CO₂ en el parque automotor de Cali por escenarios
Fuente: Elaboración propia

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: 1

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Los resultados de esta investigación subrayan la relevancia y urgencia de implementar políticas efectivas para la reducción de emisiones de CO₂ en el parque automotor de Cali. La elevada tasa de motorización y la significativa contribución del transporte automotor a la contaminación del aire destacan la necesidad de adoptar medidas inmediatas y sostenibles. Los tres escenarios presentados ofrecen enfoques variados y graduales para abordar este problema, cada uno con diferentes grados de reducción de emisiones y viabilidad práctica.

La investigación demuestra la importancia de adoptar políticas y estrategias integrales para la reducción de emisiones de CO₂ en el parque automotor de Cali. La combinación de medidas graduales y exigentes, junto con la promoción de tecnologías limpias, puede contribuir significativamente a la mejora de la calidad del aire y la salud pública.

Además de los escenarios evaluados, se sugieren otras medidas complementarias que pueden potenciar los esfuerzos de mitigación:

Mejoras en el Transporte Público: Incrementar la eficiencia y cobertura del transporte público para reducir la dependencia de vehículos privados, disminuyendo así las emisiones de CO₂ y descongestionando las vías urbanas.

Implementar estas normativas y regulaciones, junto con las estrategias propuestas en los escenarios, ayudará a reducir significativamente las emisiones de CO₂ del parque automotor de Cali, mejorando la calidad del aire y la salud pública.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2023). Factores de emisión reales para vehículos pesados. Biblioteca Aire.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2023). Factores de emisión. Biblioteca Aire.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2024). Proyecciones de población. DANE.

European Commission. (2024). Welcome to the European Commission. European Commission.

European Environment Agency. (2024). European Environment Agency. EEA.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: 1

Forero, M. (2023). Análisis del impacto ambiental del transporte en Bogotá. Biblioteca Digital Universidad Externado de Colombia.

Observatorio Movis. (2023). Kilómetros recorridos por los vehículos del Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) MIO. Cali.gov.co.

Pineda García, B. C., & Martínez Carpio, P. (2023). Análisis de la movilidad y su impacto en la calidad del aire en la ciudad de Quito. Repositorio Institucional de la UPS.

Semana. (2023). Revelan hasta qué kilometraje se debería comprar una moto usada: Que no lo tumben. Semana.

World Health Organization (WHO). (2024). Air Pollution. WHO.