UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERIAS

INGENIERIA CIVIL

Título del Proyecto:

Investigación sobre el Impacto Ambiental del Parque Automotor en Villeta, Cundinamarca

Línea de Investigación del Trabajo: Desarrollo Urbano Regional

Presentado por:

Calderón Rodríguez José Luis C.C. 1077975085 Cod.1823542

Robayo Perilla Saín Stevens C.C. 1077976833 Cód. 1711127

Tutor/a del proyecto:

Viviana Garnica Quiroga – Directora

Bogotá

Año 2025

RESUMEN

El presente trabajo analiza el impacto ambiental del parque automotor en el municipio de Villeta, Cundinamarca, a partir de la caracterización del flujo vehicular en cuatro corredores estratégicos y la estimación de emisiones contaminantes. Con base en aforos y modelos de cálculo, se estimó que diariamente se emiten alrededor de 580 toneladas de dióxido de carbono (CO_2), 6,2 toneladas de óxidos de nitrógeno (NOx) y 0,4 toneladas de material particulado (PM10), siendo los vehículos pesados y las motocicletas los principales emisores. Asimismo, se identificó la franja horaria comprendida entre las 18:30 y 18:45 como la de mayor demanda vehicular, alcanzando un flujo estimado de 780 vehículos por hora. Los resultados obtenidos permiten dimensionar el efecto de la movilidad sobre la calidad del aire y la salud pública en municipios intermedios como Villeta, evidenciando la necesidad de estrategias locales de mitigación, tales como la modernización del parque automotor, el fortalecimiento del transporte público sostenible, la instalación de estaciones de monitoreo de calidad del aire y campañas de educación ambiental. La investigación concluye que la gestión del tránsito vehicular en territorios con vocación turística y comercial debe abordarse desde un enfoque integral que articule planificación urbana, movilidad sostenible y protección ambiental.

Palabras clave: movilidad sostenible, emisiones vehiculares, calidad del aire, parque automotor, Villeta.

Contenido

INTRODUCCIÓN 8

Formulación del Problema. 10

1. Justificación del Estudio. 11

2. Objetivos de la Investigación. 13

Objetivo General 13

Objetivos específicos 13

3. Marco Referencial 13

3.1. Antecedentes del Campo de Estudio / Estado del Arte 13

La formulación del problema de investigación permite derivar tres categorías de análisis fundamentales que orientarán el marco teórico del estudio: 15

3.2. Marco conceptual 19

Emisiones vehiculares 19

Calidad del aire 20

Sistema vial y movilidad 21

3.3. Marco Geográfico y Territorial 22

4. Marco Metodológico. 26

Tipo de Investigación 26

Enfoque 26

Población y Muestra 27

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 27

Procedimiento 28

Análisis de Datos 29

Consideraciones Éticas 30

Limitaciones: 30

5. Resultados Esperados. 31

5.1. Caracterización del Parque Automotor 31

5.2. Aforo Vehicular 35

1. Principales Vías de Acceso: 35

2. Tráfico Generado por Empresas de Transporte: 37

3. Tráfico de Carga Pesada: 38

4. Visualización del Volumen de Tráfico: 38

5.3. Análisis de las vías de Villeta y resultados del Aforo por vías. 39
5.4. Cálculo de la hora de máxima demanda en Villeta 47
Cálculo matemático 48
5.5. Áreas urbanas y barrios atravesados 48
5.6. Contaminación Vehicular 49
Emisiones por Tipo de Vehículo: 50
Impacto en la Calidad del Aire: 50
Cumplimiento de Normativas Ambientales: 50
5.7. Recomendaciones y Estrategias 50
Mejoramiento de la Movilidad: 51
Mitigación de la Contaminación: 51
Control Ambiental y Monitoreo: 51
5.8. Aplicación de la fórmula en resultados del parque Automotor y Aforo de Villeta Cundinamarca 52
Fórmulas Matemáticas 52
Cálculo de emisiones por tipo de vehículo 52
La cantidad de contaminante emitida por un tipo de vehículo se calcula con la fórmula: 52
Factores de emisión por tipo de vehículo 52
Cálculo de Emisiones 53
CO_2 (Dióxido de Carbono) 53
NOx (Óxidos de Nitrógeno) 53
PM10 (Material Particulado) 53
Resultados Totales 54
6. Conclusión y Recomendaciones 58
7. Referencias Bibliográficas. 64
(OMS), O. M. (2018). Contaminación del aire y salud. Obtenido de https://www.who.int 64

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 y 2 23
Figura 3 39

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 4 Vía, Villeta - Sasaima....41
Ilustración 5 Foto - Vía, Villeta - Sasaima....42
Ilustración 6 Vía, Villeta - Guaduas....43
Ilustración 7 Foto - Vía, Villeta - Guaduas....44
Ilustración 8 Vía, Villeta – La Vega....45
Ilustración 9 Vía, Villeta – Utica....46
Ilustración 10 Foto - Vía, Villeta – Utica....47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipo de Vehículo 32
Tabla 2 Edad del Parque Automotor.....34
Tabla 3 Factores de emisión por tipo de vehículo.....52
Tabla 4 Indicadores Propuestos.....62

INTRODUCCIÓN

El municipio de Villeta, localizado en la provincia del Gualivá, occidente de Cundinamarca, ha sido históricamente un punto estratégico de conexión vial entre el altiplano cundiboyacense y el Magdalena Medio. Su ubicación geográfica, a tan solo 91 km de Bogotá, lo convierte en un corredor obligado para el tránsito de carga interdepartamental, el turismo y el transporte de bienes y servicios. Estas dinámicas han generado, de manera progresiva, un incremento sustancial del parque automotor local e intermunicipal, con efectos directos sobre la movilidad, la calidad del aire y la sostenibilidad territorial.

En las últimas dos décadas, el crecimiento vehicular en municipios intermedios colombianos ha seguido una tendencia acelerada. De acuerdo con datos del Registro Único Nacional de Tránsito – RUNT (2023), Colombia superó los 17 millones de vehículos matriculados, de los cuales más del 50% corresponde a motocicletas. Cundinamarca, junto con Antioquia y Valle del Cauca, concentra una parte significativa de este crecimiento, destacándose municipios turísticos como Villeta, donde la motorización ha avanzado de manera desproporcionada frente a la capacidad de las vías y la infraestructura urbana. Este fenómeno se expresa no solo en el aumento de automóviles particulares, sino también en el tránsito constante de vehículos de carga pesada y buses intermunicipales que utilizan el casco urbano como corredor de paso.

El impacto de este crecimiento se manifiesta en la emisión de contaminantes atmosféricos, entre los que destacan el dióxido de carbono (CO_2), principal gas de efecto invernadero; los óxidos de nitrógeno (NOx), asociados a enfermedades respiratorias; y el material particulado (PM10 y PM2.5), reconocido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) como uno de los contaminantes más nocivos para la salud humana. En territorios de topografía cerrada como Villeta, donde el casco urbano se encuentra en un valle interandino, las condiciones de ventilación atmosférica son limitadas, lo que agrava la acumulación de contaminantes y aumenta los riesgos ambientales y de salud pública.

A nivel internacional, la relación entre parque automotor y calidad del aire ha sido ampliamente documentada. Ciudades como Londres, Beijing o Santiago de Chile han implementado políticas de movilidad sostenible, tales como zonas de bajas emisiones, renovación tecnológica de flotas y promoción del transporte público masivo, con el fin de reducir las emisiones vehiculares (ICCT, 2023; Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 2022). Estos casos reflejan la importancia de contar con diagnósticos técnicos que permitan dimensionar la magnitud del problema y orientar políticas de mitigación. Sin embargo, en el caso colombiano, la mayoría de estudios se concentran en ciudades principales como Bogotá y Medellín, mientras que municipios intermedios como Villeta carecen de investigaciones detalladas que caractericen los impactos ambientales derivados de la movilidad.

La ausencia de información local representa un reto para la formulación de políticas públicas municipales y regionales. Villeta, con un parque automotor compuesto en más de un 60% por motocicletas y con una alta circulación de vehículos de carga pesada, enfrenta una presión ambiental creciente que se refleja en la congestión vial, el deterioro de la infraestructura y la reducción de la calidad del aire. Estas condiciones, sumadas al crecimiento urbano no planificado y al auge del turismo, incrementan la vulnerabilidad de la población frente a enfermedades asociadas con la contaminación atmosférica.

En este marco, la presente investigación se orienta a caracterizar el parque automotor del municipio de Villeta y analizar su impacto ambiental sobre la calidad del aire, mediante la aplicación de aforos vehiculares en corredores estratégicos, la clasificación de los vehículos según tipo, antigüedad y combustible, y la estimación de emisiones contaminantes con base en metodologías validadas a nivel internacional (EPA, 2022; IDEAM, 2021). El estudio busca generar evidencia técnica que contribuya a la toma de decisiones en planificación territorial, gestión ambiental y movilidad sostenible, ofreciendo insumos para la actualización de instrumentos locales de ordenamiento y para el diseño de estrategias que reduzcan los impactos negativos de la motorización creciente en este municipio.

Formulación del Problema.

¿Cómo impacta el tráfico vehicular motorizado en cuanto a emisiones contaminantes a un municipio en Desarrollo como Villeta Cundinamarca?

Las emisiones vehiculares constituyen una de las principales fuentes de contaminación del aire en Villeta, al igual que en muchas otras ciudades. (IDEAM, 2021) Estas emisiones incluyen una mezcla compleja de gases y partículas, como monóxido de carbono (CO), dióxidos de nitrógeno (NOx), material particulado (PM2.5 y PM10), y compuestos orgánicos volátiles (COV), (EPA, 2022), todos los cuales pueden tener efectos nocivos significativos para la salud humana y el medio ambiente. Además de las emisiones directas del tubo de escape, los vehículos contribuyen a la contaminación del aire a través de la evaporación de combustibles durante su almacenamiento, distribución y uso, así como el desgaste de frenos y neumáticos, que libera partículas finas al aire, (OMS, 2021).

Varios factores influyen en la magnitud de la contaminación vehicular en Villeta. El tipo de combustible utilizado, la edad del vehículo, la condición del motor y las condiciones del tráfico son determinantes cruciales. Por ejemplo, los vehículos diésel tienden a emitir mayores cantidades de material particulado que los de gasolina, y los vehículos más antiguos generalmente tienen tasas de emisión más altas, (ICCT, 2023). Las condiciones de tráfico congestionado, que implican frecuentes arranques y paradas, también exacerban las emisiones. Además, la topografía y la meteorología locales pueden afectar la dispersión de estos contaminantes en la atmósfera. Para cuantificar la contribución de las emisiones vehiculares a la contaminación del aire, es esencial realizar estudios que incluyan inventarios de emisiones, modelación de la dispersión de contaminantes. Abordar este problema requiere la implementación de medidas integrales, como la mejora de la calidad del combustible, la promoción de tecnologías vehiculares más limpias, la gestión eficiente del tráfico y el fomento del transporte público y no motorizado.

El alto número de automóviles en circulación conlleva graves consecuencias ambientales, como la contaminación atmosférica que es causada principalmente por el monóxido de carbono (CO) que emiten los vehículos, un gas que, al mezclarse con la hemoglobina en la

sangre, puede dificultar la respiración y reducir la capacidad de oxigenación de las células. La exposición a altos niveles de monóxido de carbono puede generar síntomas como vértigo, temblores y dolores de cabeza, y en casos graves, puede llevar a la muerte.

Otro factor que contribuye a la contaminación es la antigüedad del parque automotor, ya que los vehículos con más de diez años suelen requerir más energía y emiten mayores niveles de contaminantes. Además, sustancias como el aceite, el anticongelante, y los líquidos de frenos y embrague, al derramarse sobre la calzada y ser arrastrados por la lluvia, contaminan las fuentes hídricas.

Por otro lado, la contaminación acústica hace referencia a los niveles de ruido generados por el tráfico. En vías con alta circulación vehicular, se pueden alcanzar niveles de hasta 100 decibelios, lo cual no es saludable para las personas. Expertos indican que la exposición continua a estos niveles de ruido puede causar nerviosismo, insomnio, estrés e incluso problemas auditivos cuando el sonido supera los 140 decibelios.

A nivel mundial, la contaminación vehicular es una de las principales fuentes de gases de efecto invernadero (GEI), representando un 20,4% de estas emisiones, de las cuales el 16,2% proviene directamente del sector automotor, (IPCC, 2021). En regiones como el Valle de México y otras grandes ciudades del mundo, los vehículos son responsables de hasta el 60% de las partículas suspendidas gruesas que contaminan el aire. Esto ha llevado a graves crisis de contaminación ambiental, con problemas de congestión vehicular y pérdida de horas en el tráfico.

1. Justificación del Estudio.

A raíz de los recientes eventos posiblemente relacionados con el calentamiento global, como los incendios ocurridos en diversas regiones del país en enero de 2024, se evidencia la importancia vital del medio ambiente para la existencia humana. Durante la COP28 de diciembre de 2023, se enfatizó la necesidad de alejarse de los combustibles fósiles (Unidas,

2023). De acuerdo con una nota de prensa de las Naciones Unidas, el secretario general Antonio Gutiérrez afirmó que, para cumplir con el objetivo clave del Acuerdo de París de 2015 de limitar el calentamiento global a 1,5°C, es indispensable eliminar progresivamente todos los combustibles fósiles (Unidas, Declaraciones de Antonio Guterres en la COP28, 2023), un enfoque que ya es respaldado por una coalición cada vez más amplia de países.

El estudio sobre la contaminación vehicular en Villeta Cundinamarca, resulta fundamental debido al impacto creciente que los automóviles tienen sobre el medio ambiente y la calidad de vida de los habitantes. Si bien Villeta es un municipio con una actividad económica relevante, en gran medida impulsada por el turismo, su ubicación estratégica y las vías de acceso que conectan con importantes corredores viales han incrementado el tránsito de vehículos, lo que se traduce en un aumento significativo de los niveles de contaminación atmosférica.

La contaminación vehicular, particularmente en el casco urbano, no solo afecta la salud de los habitantes mediante la emisión de gases contaminantes y partículas nocivas, sino que también pone en riesgo los recursos naturales, como las fuentes hídricas, que pueden ser contaminadas por sustancias vertidas en la calzada.

Este estudio se justifica en la necesidad urgente de identificar, cuantificar y mitigar los efectos de la contaminación vehicular en Villeta, contribuyendo con datos precisos para la toma de decisiones y el diseño de políticas locales que promuevan un desarrollo urbano sostenible. La información obtenida permitirá no solo sensibilizar a la población sobre los riesgos a los que están expuestos, sino también proponer soluciones que reduzcan el impacto ambiental, favoreciendo un equilibrio entre el crecimiento económico, el turismo y la preservación del entorno natural del municipio.

2. Objetivos de la Investigación.

Objetivo General

Estudiar la relación entre el parque automotor y la calidad del aire en Villeta, Cundinamarca, a partir del análisis de variables vehiculares, topográficas y normativas, con el propósito de formular recomendaciones técnicas que contribuyan a mejorar la sostenibilidad ambiental del municipio.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el flujo vehicular del casco urbano del Municipio de Villeta Cundinamarca.

2. Estimar el impacto ambiental en la calidad del aire que genera en parque automotor del casco urbano del municipio de Villeta.

3. Analizar la relación entre las vías principales del municipio y las zonas urbanas afectadas por altos niveles de tráfico, para identificar áreas con mayor riesgo ambiental.

3. Marco Referencial

3.1. Antecedentes del Campo de Estudio

El municipio de Villeta, ubicado en el occidente de Cundinamarca, ha venido enfrentando una transformación sostenida en sus dinámicas urbanas, económicas y de movilidad, producto del crecimiento poblacional, el aumento del turismo y la consolidación de su rol como punto estratégico dentro de la red vial nacional. Esta evolución, aunque positiva en

términos de conectividad y desarrollo local, ha traído consigo impactos ambientales que aún no han sido suficientemente caracterizados ni atendidos mediante estudios técnicos específicos.

Entre las principales preocupaciones ambientales se encuentra el incremento progresivo del parque automotor y su relación con la calidad del aire en el casco urbano del municipio. El tránsito constante de vehículos particulares, motocicletas, transporte público y de carga ha generado una presión creciente sobre la infraestructura vial y, especialmente, sobre las condiciones ambientales de Villeta. Este fenómeno, aún poco documentado a nivel local, plantea la necesidad urgente de estudios que permitan dimensionar y analizar el impacto ambiental de la movilidad vehicular desde una perspectiva técnica y territorial.

La relación entre el parque automotor y la contaminación atmosférica ha sido ampliamente abordada en contextos urbanos de gran escala a nivel internacional. Ciudades como Londres, Santiago de Chile o Ciudad de México han implementado estrategias integrales de monitoreo ambiental, regulación vehicular y promoción de tecnologías limpias, en respuesta al deterioro de la calidad del aire provocado por las emisiones vehiculares. Investigaciones como las de Zhang et al. (2020) o el Instituto Internacional de Transporte Limpio (ICCT) han demostrado que las fuentes móviles representan una proporción significativa de contaminantes como el material particulado (PM2.5), los óxidos de nitrógeno (NOx) y el dióxido de carbono (CO_2).

En el caso colombiano, estudios liderados por el IDEAM (2021) y el Ministerio de Ambiente han evidenciado que el sector transporte genera más del 13% de las emisiones totales de CO_2 a nivel nacional, y es una de las principales fuentes de contaminación del aire en ciudades como Bogotá y Medellín. No obstante, existe una brecha significativa en el conocimiento sobre el impacto de la movilidad vehicular en municipios intermedios, como Villeta, que por su ubicación estratégica y vocación turística enfrentan una presión ambiental creciente, sin contar con herramientas técnicas locales de diagnóstico ni políticas específicas de mitigación.

En municipios similares del centro del país, como Facatativá o Zipaquirá, se han desarrollado investigaciones que vinculan el envejecimiento del parque automotor con altos niveles de emisiones contaminantes. Estos estudios han permitido identificar patrones de circulación, estimar factores de emisión por tipo de vehículo, y proponer estrategias de movilidad sostenible adaptadas al contexto territorial. Sin embargo, tales enfoques aún no han sido aplicados de manera sistemática en Villeta, a pesar de que su configuración vial, su topografía cerrada y su rol como corredor turístico y comercial la convierten en un caso de estudio relevante.

El presente proyecto se enmarca dentro de una línea de investigación técnico–ambiental con énfasis en ingeniería civil, y se orienta hacia la identificación, caracterización y análisis del impacto ambiental generado por el parque automotor en el municipio de Villeta. Lejos de replicar modelos diseñados para grandes ciudades, esta investigación busca adaptar herramientas de diagnóstico a la escala local, utilizando metodologías accesibles y enfoques combinados que integren el análisis vehicular, el diseño vial y la gestión ambiental.

La investigación se plantea como un estudio de tipo teórico–práctico, con un componente descriptivo y correlacional, que permitirá estimar las emisiones contaminantes asociadas al tránsito vehicular, analizar su distribución espacial en el territorio villetano, y proponer recomendaciones orientadas al mejoramiento de la movilidad y la calidad ambiental. A través de instrumentos como aforos vehiculares, caracterización del parque automotor y aplicación de factores de emisión, se espera construir una base técnica que sirva como insumo para la planificación urbana y la formulación de políticas públicas locales.

Este trabajo no solo tiene un valor académico, sino también una dimensión social y ambiental significativa, en tanto busca aportar al bienestar de la población villetana y a la sostenibilidad del municipio frente a los desafíos del cambio climático y la presión sobre sus recursos naturales.

La formulación del problema de investigación permite derivar tres categorías de análisis fundamentales que orientarán el marco teórico del estudio:

Emisiones vehiculares: entendidas como el conjunto de contaminantes generados por las fuentes móviles en función del tipo de vehículo, el tipo de combustible, el mantenimiento y la frecuencia de uso.

Calidad del aire: abordada como un indicador ambiental clave, con implicaciones directas en la salud pública, la habitabilidad urbana y la percepción del entorno.

Sistema vial y movilidad: entendido como la red física y funcional que estructura la circulación vehicular en Villeta, y que condiciona el comportamiento del tránsito, la congestión y las zonas de mayor carga ambiental.

Estas categorías serán desarrolladas desde una revisión crítica de la literatura científica, informes técnicos del IDEAM, el Ministerio de Transporte, y estudios regionales comparables, permitiendo establecer un marco conceptual sólido que sustente el diseño metodológico del proyecto.

El estudio proyectado se diferencia de otros antecedentes no solo por su escala territorial, sino por su intención de generar conocimiento técnico específico para un municipio con características particulares. En Villeta, la confluencia entre crecimiento urbano, turismo intensivo y tránsito de carga pesada ha derivado en una transformación silenciosa del entorno ambiental, cuya magnitud aún no ha sido evaluada de manera sistemática.

Al enfocarse en este contexto, el proyecto busca aportar evidencia local útil para la toma de decisiones, contribuir al diseño de estrategias de movilidad sostenible y fortalecer las capacidades institucionales para enfrentar los retos de la contaminación atmosférica. En este sentido, la investigación se sirve para, los instrumentos de ordenamiento territorial y las políticas ambientales del municipio.

3.2. Estado del arte

En la última década, la relación entre movilidad motorizada y calidad del aire ha sido ampliamente documentada por organismos internacionales, agencias técnicas y literatura académica. La evidencia converge en tres planos: (i) los efectos en salud de contaminantes asociados al tránsito; (ii) los métodos y factores para estimar emisiones de fuentes móviles; y (iii) la orientación regulatoria y de política pública que prioriza zonas urbanas más limpias, estándares vehiculares más estrictos y la transición tecnológica hacia vehículos de cero y bajas emisiones.

Salud y estándares ambientales. La Organización Mundial de la Salud actualizó en 2021 sus Guías Globales de Calidad del Aire, endureciendo los valores de referencia para PM2.5 y NO_2 dada la evidencia robusta de efectos en mortalidad y morbilidad respiratoria y cardiovascular. Esta actualización redujo el valor guía anual de PM2.5 de 10 $\mu g/m^3$ a 5 $\mu g/m^3$ y subrayó la necesidad de intervenciones locales sobre fuentes móviles, particularmente en entornos urbanos con ventilación atmosférica limitada, como ocurre en valles interandinos.

Tendencias regulatorias internacionales. Los marcos normativos se están alineando gradualmente con dichas guías. En 2024, la Unión Europea acordó fortalecer los estándares de calidad del aire al 2030, bajando límites anuales obligatorios (p. ej., PM2.5 de 25 a 10 $\mu g/m^3$; NO_2 de 40 a 20 $\mu g/m^3$), lo que presiona a las ciudades a gestionar las emisiones del transporte con mayor ambición. Estas metas hacen más exigente la gestión de flotas, el control del diésel y la planificación de zonas de bajas emisiones.
Reuters

Contexto y normativa en Colombia. El país adoptó en 2017 la Resolución 2254, que define el marco de calidad del aire y obligaciones de gestión para autoridades territoriales; desde 2023 rige la implementación de Euro VI para motores diésel nuevos (fabricados, ensamblados o importados), elevando el estándar tecnológico de la flota pesada y

reduciendo emisiones de NOx y material particulado por vehículo-km. Estas dos piezas normativas anclan los planes locales de aire limpio y la actualización del parque automotor. Ministerio de Ambiente

Inventarios y métodos de estimación. La práctica internacional recomienda modelos y guías consolidadas para estimar emisiones de road transport. En Estados Unidos, la EPA mantiene MOVES como simulador de referencia para criterios, GEI y tóxicos a múltiples escalas (nacional, local, proyecto). En Europa, la guía EMEP/EEA (COPERT) actualiza factores por tecnología y contaminante e incorpora con mayor detalle emisiones no-exhaust (desgaste de frenos, llantas y vía), hoy reconocidas como una fracción creciente del PM2.5 urbano. El uso consistente de estos enfoques permite comparar resultados y sustentar decisiones de política.

América Latina: brechas y prioridades. En la región, el transporte explica una porción alta de las emisiones energéticas y es la principal fuente de GEI por quema de combustibles en varios países. Un diagnóstico reciente del BID advierte que, sin medidas adicionales, las emisiones del transporte podrían crecer hacia 2050, impulsadas por carga y expansión urbana; se recomiendan corredores limpios, renovación acelerada de flota, electrificación del transporte público y mejores datos locales (inventarios y aforos). Estas prioridades son pertinentes para municipios intermedios con tránsito de paso y vocación turística. Publicaciones IADB

Transición tecnológica y ZEV. A nivel global, el Consejo Internacional para el Transporte Limpio (ICCT) muestra un avance sostenido de vehículos de cero emisiones (ZEV) y escenarios en los que la eliminación de ventas de ICE en livianos antes de 2035 y avances en pesados hacia 2040 son coherentes con trayectorias <1.7–1.5 °C. Este giro tecnológico respalda políticas de renovación de flota, electrificación de buses y logística urbana de bajas emisiones en ciudades de todos los tamaños.

Evidencia y capacidades nacionales. Colombia viene fortaleciendo su base de información con el Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones Atmosféricas liderado por el IDEAM/MinAmbiente, insumo clave para calibrar factores, priorizar sectores y articular

acciones subnacionales. Este esfuerzo facilita que municipios sin monitoreo continuo utilicen metodologías estandarizadas, combinando aforos de tránsito con factores internacionalmente validados ajustados al contexto local.

Implicaciones para Villeta. En síntesis, el estado del arte sugiere que (i) la gestión de flota diésel y motocicletas es determinante para abatir NOx y PM; (ii) la adopción de Euro VI y la renovación tecnológica deben complementarse con medidas operativas (rutas de carga, horarios, control de ralentí, Zonas Urbanas de Bajas Emisiones adaptadas a la escala municipal); (iii) los inventarios replicables necesitan aforos diferenciando días típicos/atípicos y franjas pico, e incluir emisiones no-exhaust; y (iv) la convergencia con guías OMS orienta metas locales más estrictas, incluso en municipios intermedios con cañones urbanos y ventilación limitada. Estas líneas guían el diseño metodológico del presente estudio y la interpretación de resultados para Villeta, priorizando intervenciones costo-efectivas y medibles.

3.3. Marco conceptual

Comprender el impacto ambiental que el parque automotor puede generar en un municipio como Villeta exige ir más allá de una simple acumulación de cifras. Implica integrar conocimientos técnicos y teóricos que permitan analizar con profundidad cómo interactúan la circulación vehicular, la infraestructura vial y las condiciones ambientales del entorno urbano. Por ello, este marco conceptual se estructura a partir de tres categorías fundamentales: emisiones vehiculares, calidad del aire y sistema vial y movilidad.

Emisiones vehiculares

Las emisiones vehiculares son uno de los principales factores de deterioro de la calidad del aire en las áreas urbanas, particularmente cuando el parque automotor está compuesto en su mayoría por vehículos con tecnologías antiguas, mal mantenimiento o uso intensivo de combustibles fósiles (EPA, 2022). Estas emisiones corresponden a contaminantes atmosféricos generados durante la combustión del motor, así como por evaporación de combustibles y desgaste de componentes como llantas y frenos.

Entre los contaminantes más relevantes emitidos por fuentes móviles terrestres se encuentran:

- Dióxido de carbono (CO_2): principal gas de efecto invernadero, producto de la quema de combustibles fósiles.
- Óxidos de nitrógeno (NOx): contribuyen a la formación de ozono troposférico y tienen efectos nocivos sobre el sistema respiratorio.
- Monóxido de carbono (CO): gas tóxico que interfiere con la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre.
- Material particulado (PM10 y PM2.5): pequeñas partículas sólidas o líquidas que pueden penetrar en el sistema respiratorio y causar enfermedades crónicas.

Según el IDEAM (2021), el transporte terrestre es responsable del 40 % de las emisiones totales de PM10 y cerca del 13 % de las emisiones de CO_2 en Colombia, lo que evidencia su papel central en el deterioro ambiental. En municipios como Villeta, donde predomina el tránsito intermunicipal de carga, el uso de motocicletas y la circulación de vehículos antiguos, es esperable que las emisiones sean proporcionalmente altas respecto a su tamaño urbano.

La cuantificación de estas emisiones se puede realizar mediante la fórmula estándar:

$E = V \times D \times FE$,

donde E es la emisión del contaminante, V el número de vehículos, D la distancia recorrida promedio, y FE el factor de emisión correspondiente (ICCT, 2023).

Este modelo será clave para estimar la carga contaminante del parque automotor de Villeta como parte del componente cuantitativo del proyecto.

Calidad del aire

La calidad del aire se refiere al nivel de concentración de contaminantes en la atmósfera y a sus efectos sobre la salud humana y el medio ambiente. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), existe una relación directa entre la exposición a contaminantes del aire y enfermedades respiratorias, cardiovasculares y neurológicas, especialmente en poblaciones vulnerables como niños y adultos mayores.

En Colombia, la Resolución 2254 de 2017 establece los valores máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente, como el CO, PM10, NO_2 y ozono (O_3). Estas normas ofrecen un marco de referencia para analizar si las emisiones locales superan los límites establecidos y, por tanto, constituyen un riesgo para la salud pública y el equilibrio ecológico.

Villeta, debido a su ubicación en un valle interandino, presenta condiciones geográficas que dificultan la dispersión de contaminantes. La topografía cerrada, unida al aumento del tránsito vehicular, puede favorecer la acumulación de partículas y gases nocivos en sectores urbanos con alta densidad de tráfico. Por lo tanto, la calidad del aire en Villeta no solo depende del volumen de vehículos, sino también de factores climáticos, topográficos y de ordenamiento territorial (IDEAM, 2020).

La medición directa de la calidad del aire requiere equipos especializados que actualmente no están disponibles en el municipio. Por ello, el proyecto opta por una estrategia indirecta basada en la estimación de emisiones y su comparación con estándares nacionales, como base para alertar sobre posibles riesgos ambientales.

Sistema vial y movilidad

El sistema vial comprende la infraestructura física y funcional que permite la circulación de vehículos dentro y fuera del municipio. La movilidad, por su parte, hace referencia a las dinámicas de desplazamiento de personas y bienes a través de ese sistema, incluyendo variables como intensidad del tráfico, tipo de vehículo, horario, condición de las vías, entre otros.

En Villeta, el sistema vial está conformado por ejes estratégicos que conectan con municipios como La Vega, Guaduas, Útica y Sasaima, lo que convierte al municipio en un nodo clave dentro del corredor Bogotá–Magdalena Medio. Esta condición implica un tránsito constante de vehículos de carga pesada, transporte intermunicipal y automóviles particulares, especialmente durante los fines de semana y temporadas altas de turismo.

La planeación vial en territorios como Villeta debe considerar no solo la capacidad de las vías, sino también su relación con la exposición ambiental de las zonas residenciales. El crecimiento urbano desordenado ha llevado a que barrios como San Miguel o El Progreso estén directamente expuestos al flujo vehicular de alto volumen, sin buffers ambientales ni regulaciones estrictas de tránsito (DNP, 2022).

Además, la baja cobertura del transporte público y la alta motorización individual agravan la congestión y las emisiones. Esto refleja la necesidad de integrar la gestión de la movilidad con principios de movilidad sostenible, definidos por la OMS (2021) como el equilibrio entre eficiencia, seguridad, accesibilidad y bajo impacto ambiental.

3.4. Marco Geográfico y Territorial

Villeta se localiza en el occidente del departamento de Cundinamarca, en la región Andina de Colombia. Hace parte de la Provincia del Gualivá, y se encuentra a una altitud aproximada de 990 metros sobre el nivel del mar. Geográficamente, está situada a 91 kilómetros de Bogotá por la vía que conduce hacia el Magdalena Medio, lo que la convierte en un punto estratégico dentro del corredor vial que conecta el interior del país con la región noroccidental. Limita al norte con los municipios de Nimaima y Guaduas, al sur con San Francisco y Sasaima, al oriente con Albán y al occidente con Bituima. Su ubicación en el mapa departamental no solo le otorga relevancia comercial y turística, sino que también la expone a dinámicas territoriales intensas en materia de transporte, flujo vehicular y presión sobre los recursos naturales (IGAC, 2023).

Mapa de Villeta en Cundinamarca

Figura 1 y 2

Desde una mirada técnica y humana, comprender el entorno territorial de Villeta es esencial para dimensionar la magnitud del impacto ambiental que genera su parque automotor. La creciente presión sobre la infraestructura vial, el deterioro de la calidad del aire y la expansión urbana desordenada no son eventos aislados, sino expresiones de una relación desigual entre el desarrollo y la sostenibilidad del territorio.

La geografía de Villeta es variada. Presenta zonas montañosas en la periferia rural, mientras que su casco urbano se localiza en un valle interandino, lo que condiciona la circulación del aire y favorece la acumulación de contaminantes en áreas de mayor tráfico vehicular, como las vías principales y los accesos al mercado municipal. Según estudios de dinámica atmosférica en zonas topográficamente cerradas, este tipo de configuración limita la dispersión de partículas y gases nocivos, generando microambientes con mayor riesgo para la salud pública (IDEAM, 2021).

En términos territoriales, Villeta ha crecido en función de su vocación económica: la caña panelera, el turismo y el comercio han impulsado una demanda constante de transporte de

carga y de pasajeros, lo cual ha incrementado el parque automotor local y de tránsito intermunicipal. Este fenómeno, si bien representa desarrollo, también ha generado efectos colaterales como la congestión, el deterioro prematuro de las vías, y una creciente exposición de la población a fuentes móviles de contaminación (Ministerio de Transporte, 2020).

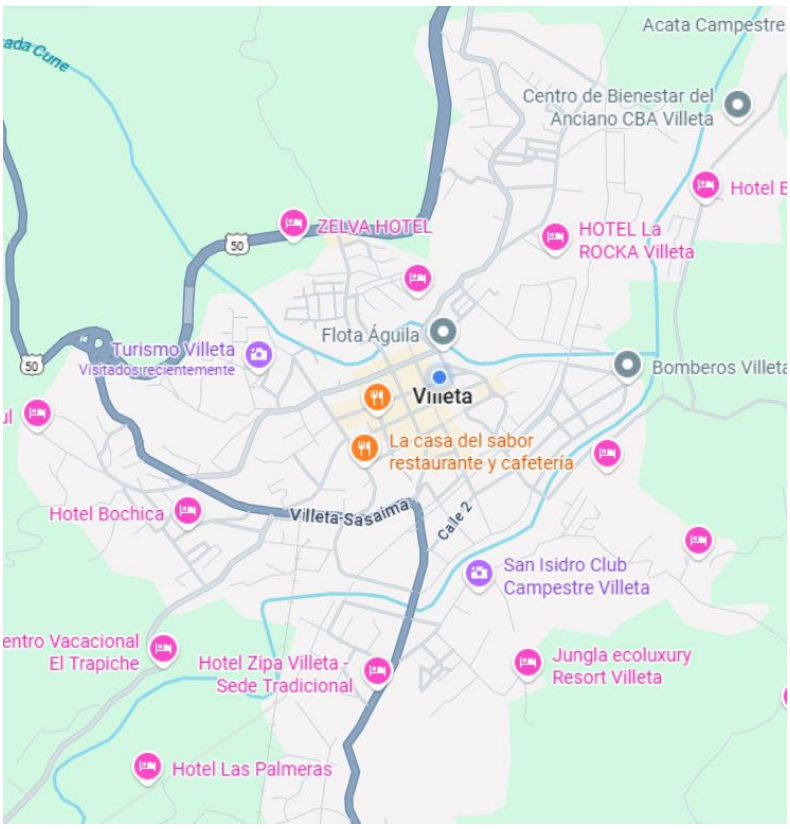
A nivel de planificación, el Plan de Desarrollo “Villeta con las Botas Puestas” (2024–2028) reconoce que el municipio necesita mejorar su infraestructura vial, actualizar el catastro de movilidad y fortalecer la sostenibilidad ambiental en zonas urbanas y rurales. Una de sus metas es precisamente promover acciones que mitiguen los impactos del tránsito pesado y reduzcan los niveles de emisiones en las zonas más críticas del municipio (Alcaldía de Villeta, 2024).

El análisis geográfico también obliga a revisar cómo se ha distribuido el crecimiento urbano. En las últimas décadas, la expansión hacia sectores como el barrio La Granja, el sector de El Valle y zonas cercanas al terminal de transporte, ha generado un aumento en la demanda de vías y servicios sin una planeación integral. Esta situación refleja una necesidad urgente de replantear el modelo de ocupación del suelo y fortalecer los instrumentos de ordenamiento territorial (DNP, 2022).

Desde la Ingeniería Civil, el territorio no puede ser visto solo como un espacio físico para intervenir. Es un sistema complejo donde convergen variables naturales, sociales y técnicas que deben leerse en conjunto. Por ello, conocer el tipo de suelo, la vulnerabilidad geotécnica, la pendiente de las vías, la cobertura vegetal y la relación con fuentes hídricas no es solo un requisito normativo, sino una responsabilidad ética en el diseño de soluciones sostenibles (Sánchez & Londoño, 2021).

Mapa de Villeta

Figura 2



Fuente: Google Maps

Villeta se ha convertido en un punto de paso inevitable para miles de viajeros y toneladas de carga que cruzan el país cada día. Por su territorio serpentean importantes vías nacionales, como la carretera Bogotá–Villeta–Honda, una ruta que no solo conecta la capital con el Magdalena Medio, sino que articula el flujo comercial entre el interior y el norte del país. Esta vía, que ha visto pasar generaciones enteras de transportadores, turistas y comerciantes, representa mucho más que asfalto: es una arteria de desarrollo, pero también una fuente constante de presión sobre el entorno urbano y natural del municipio. A lo largo del día, el ruido de los motores, el peso de los camiones y la presencia de vehículos de gran tamaño transforman la dinámica local, haciendo evidente la necesidad de repensar la movilidad desde una visión más sostenible. Para un futuro ingeniero civil, estas realidades no son solo datos técnicos, sino señales claras de que el diseño y mantenimiento de las vías no puede desligarse del cuidado ambiental ni del bienestar de la comunidad. Las vías nacionales que cruzan Villeta, con todo su potencial y sus desafíos, nos recuerdan que

cada decisión en infraestructura tiene un impacto directo sobre el territorio y sobre las personas que lo habitan.

4. Marco Metodológico.

El presente estudio se desarrolló con el propósito de evaluar el impacto ambiental generado por el parque automotor en el municipio de Villeta, Cundinamarca. Desde la perspectiva de la Ingeniería Civil, la metodología combinó un enfoque cuantitativo para la estimación de emisiones y caracterización vehicular, con un enfoque cualitativo orientado a la interpretación normativa y contextual del problema. Este diseño metodológico buscó garantizar la rigurosidad científica y, al mismo tiempo, ofrecer herramientas prácticas que permitan replicar el estudio en otros municipios con condiciones similares.

Tipo y Diseño de Investigación

El trabajo se clasificó como descriptivo y correlacional. Fue descriptivo porque permitió caracterizar la estructura del parque automotor y cuantificar las emisiones contaminantes, y correlacional porque estableció relaciones entre variables como tipo de vehículo, antigüedad de la flota, combustible utilizado, intensidad de tránsito y carga contaminante estimada.

El diseño adoptado fue de tipo no experimental–transversal, ya que la información se recolectó en un periodo específico (noviembre de 2024) y no implicó manipulación de variables, sino observación directa del fenómeno en condiciones reales.

Enfoque de la investigación

La investigación se apoyó en un enfoque mixto, donde se integraron componentes cuantitativos y cualitativos:

- Cuantitativo: permitió medir el flujo vehicular en los principales corredores de Villeta, construir un inventario actualizado del parque automotor y aplicar fórmulas matemáticas de estimación de emisiones. Los datos se procesaron mediante herramientas de análisis estadístico descriptivo.

- Cualitativo: consistió en la revisión de literatura científica, informes técnicos institucionales y normativa ambiental vigente. Este componente fue clave para interpretar los resultados desde una perspectiva territorial y compararlos con otros estudios en municipios intermedios de Colombia y América Latina.

Población y Muestra

La población de referencia se definió en dos niveles:

1. Habitantes del municipio de Villeta, particularmente los sectores urbanos expuestos a mayores volúmenes de tránsito.
2. El parque automotor local y de tránsito intermunicipal, incluyendo motocicletas, automóviles, camperos, camionetas, buses, microbuses, tractocamiones y volquetas.

La muestra se conformó a partir de:

- Inventario del parque automotor (datos RUNT 2023 y MinTransporte).
- Conteo vehicular directo (aforos) realizado en cuatro corredores estratégicos: Villeta–Sasaima, Villeta–Guaduas, Villeta–La Vega y Villeta–Útica.
- Se clasificaron los vehículos según tipo, antigüedad y combustible. La selección de estos corredores obedeció a criterios de conectividad vial, volumen de tránsito y representatividad de los flujos vehiculares que atraviesan el casco urbano.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Se emplearon los siguientes instrumentos y técnicas:

- Inventario vehicular: datos del RUNT y MinTransporte, complementados con estadísticas de Datos.gov.
- Aforos vehiculares manuales: conteos realizados en intervalos de 15 minutos durante jornadas de 6 horas, tanto en días típicos (laborales sin festivo) como en días atípicos (fin de semana con alta afluencia turística). Esto permitió capturar la variabilidad del flujo vehicular.
- Clasificación de vehículos: basada en categorías A (motocicletas), B (automóviles), C (camionetas, vans, NPR, busetas), y D (tractocamiones, doble troque y vehículos pesados).
- Estimación de emisiones: aplicación de la fórmula estándar:

E=V×D×FEE = V \times D \times FEE=V×D×FE

donde:

- E = emisión del contaminante (g/día),
- V = número de vehículos por categoría,
- D = distancia promedio recorrida (km/día),
- FE = factor de emisión (g/km) por contaminante.

Los factores de emisión se tomaron de referencias internacionales (EPA, 2022; ICCT, 2023) y fueron contrastados con lineamientos del IDEAM (2021) para el contexto colombiano.

- Herramientas de procesamiento: Microsoft Excel para tabulación inicial de datos y elaboración de tablas comparativas; análisis estadístico descriptivo (promedios, porcentajes, tendencias) para interpretar variaciones por tipo de vehículo y franja horaria.

Procedimiento

El proceso metodológico se dividió en cuatro fases:

Fase de preparación: Diseño de instrumentos, planificación de los puntos de aforo y revisión de literatura científica.

Fase de recolección de datos: Levantamiento de información sobre el parque automotor, ejecución de los aforos vehiculares, y recopilación de bases de datos oficiales.

Fase de análisis: Procesamiento de datos cuantitativos (tránsito, emisiones, antigüedad del parque) y análisis cualitativo de normativas y estudios relacionados.

Fase de interpretación: Articulación de los hallazgos en un informe de resultados, acompañado de recomendaciones prácticas para mitigar los efectos de la contaminación vehicular.

Análisis de Datos

El análisis de datos se estructuró desde dos niveles:

Cuantitativo: A partir del número y tipo de vehículos, se calcularon las emisiones estimadas de CO_2, NOx, PM10 y otros contaminantes. Se construyeron tablas y gráficos comparativos que evidencian el comportamiento del tránsito y su relación con las zonas urbanas más críticas.

Cualitativo: Se valoró la influencia de factores territoriales como la topografía del municipio, el crecimiento urbano y la localización de las principales vías de tránsito sobre la acumulación de emisiones contaminantes. Asimismo, se analizó el marco normativo vigente en materia de calidad del aire y control de fuentes móviles, con base en la legislación nacional y directrices institucionales. Los datos obtenidos fueron contrastados con estudios técnicos y diagnósticos ambientales realizados en municipios colombianos con

características similares, lo cual permitió enriquecer la interpretación desde una perspectiva comparativa y contextualizada.

Consideraciones Éticas

La investigación fue realizada con base en principios de transparencia y responsabilidad profesional:

- Uso ético de fuentes secundarias, citando debidamente todos los datos utilizados.
- Respeto a los derechos de autor y a la propiedad intelectual de las investigaciones consultadas.
- Transparencia en la interpretación de resultados, reconociendo las limitaciones del estudio, como la imposibilidad de realizar mediciones directas de la calidad del aire.

Limitaciones:

Dependencia de Estudios Externos sobre Calidad del Aire: La investigación no incluirá análisis directos de la calidad del aire. En su lugar, dependerá de estudios de literatura para interpretar cómo las emisiones de los vehículos afectan la calidad del aire, lo cual puede introducir variabilidad en los datos y sesgos dependiendo de las fuentes utilizadas.

Enfoque Limitado a las Emisiones de Vehículos: La investigación se centrará exclusivamente en la cantidad y tipos de contaminantes emitidos por los vehículos, sin considerar otros factores externos que también pueden influir en la contaminación del aire, como industrias, actividades agrícolas o fuentes naturales.

Falta de Medición Directa de Impacto Ambiental: Al no incluir mediciones directas de la calidad del aire, la investigación no podrá determinar el impacto ambiental real y contextualizado de las emisiones vehiculares en diferentes entornos.

5. Resultados y Discusión

Los principales resultados obtenidos del diagnóstico técnico del parque automotor del municipio de Villeta. A través de una caracterización detallada, se exponen las dinámicas de movilidad vehicular, sus implicaciones en la calidad del aire y los riesgos asociados a la salud pública y el ambiente. La información presentada sustenta la necesidad de implementar una estrategia integral que permita mitigar los efectos negativos de las emisiones contaminantes, en articulación con el Plan de Desarrollo "Villeta con las Botas Puestas" (2024–2028).

5.1. Caracterización del Parque Automotor

- Distribución por Tipo de Vehículo: Datos sobre la proporción de motocicletas, automóviles, camiones, etc., en Villeta.

En el municipio de Villeta, el paisaje urbano y rural se encuentra marcado por una fuerte presencia de motocicletas. Para quienes recorren a diario sus calles, no pasa desapercibido que estos vehículos son, por lejos, los más comunes. Con 19.655 unidades registradas, las motocicletas constituyen más del 60% del parque automotor, reflejando una realidad social y económica: su bajo costo, facilidad de acceso, y capacidad de adaptación a terrenos rurales hacen que sean la opción preferida para miles de habitantes, ya sea para el trabajo, el transporte familiar o actividades personales. Sin embargo, esta abundancia de motocicletas trae consigo un desafío ambiental que no puede pasarse por alto. A pesar de ser ágiles y prácticas, muchas de estas unidades son de tecnologías antiguas o de bajo rendimiento ambiental, lo que contribuye significativamente a las emisiones de gases contaminantes como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. Además, al tener motores de combustión pequeños pero numerosos, generan una carga constante de partículas contaminantes que afectan la calidad del aire, especialmente en zonas de alta circulación.

Los semirremolques —con 4.591 unidades—, junto con camiones, volquetas y tractocamiones, completan un escenario donde el transporte pesado juega un papel clave en la economía regional, pero también en la generación de emisiones de dióxido de carbono y material particulado. Estos vehículos, diseñados para cargas industriales y comerciales, muchas veces operan sin los controles ambientales más actuales, lo que incrementa su huella ecológica. Su presencia en Villeta indica una dinámica económica activa, pero también la necesidad urgente de pensar en tecnologías más limpias y eficientes.

Tabla 1 Tipo de Vehículo

Suma de CANTIDAD	Etiquetas de columna		
Etiquetas de fila	ACTIVO	INCONSISTENTE	Total general
MOTOCICLETA	19613	42	19655
SEMIREMOLQUE	4591		4591
CAMPERO	1662	24	1686
AUTOMOVIL	1586	8	1594
CAMIONETA	1505	7	1512
CAMION	850	6	856
VOLQUETA	367	1	368
TRACTOCAMION	364		364
MOTOCARRO	186		186
BUS	119	4	123
MICROBUS	106	2	108
BUSETA	82		82
MAQ. INDUSTRIAL	79		79
REMOLQUE	57		57
CUATRIMOTO	45		45
MAQ. AGRICOLA	16		16
EXCAVADORA	4		4
RETROEXCAVADORA	3		3
TRACTOR	3		3
BULDOZER	2		2
CICLOMOTOR	2		2
MOTOTRICICLO	2		2
COMPACTADOR	1		1
MINI EXCAVADORA	1		1
MINICARGADOR	1		1
CARGADORA FRONTAL	1		1
Total general	**31248**	**94**	**31342**

Fuente: Elaboración propia con información de Datos.gov, crecimiento de parque automotor Runt 2.0. Anexo Parque Automotor Villeta

En paralelo, los camperos, automóviles y camionetas —con más de 4.700 unidades combinadas— aportan al crecimiento de la movilidad individual, pero también representan una parte significativa del consumo de combustibles fósiles. Cada uno de estos vehículos, al encender su motor, suma una pequeña fracción al problema global del cambio climático, pero sus efectos son locales: días más calurosos, acumulación de gases en zonas de baja ventilación y riesgos para la salud pública, especialmente en niños y personas mayores.

El transporte público, limitado a buses, microbuses y busetas que no superan el 1% del parque total, plantea otra preocupación. La baja cobertura de medios colectivos obliga a la población a depender del transporte privado o informal, lo que incrementa la cantidad de vehículos circulando y, por ende, las emisiones. La falta de una red de transporte público eficiente y ambientalmente responsable se convierte en una barrera para reducir la huella de carbono del municipio.

Incluso las unidades menores como cuatrimotos, motocarros y maquinaria pesada, aunque poco numerosas, no están exentas de impacto. Muchas funcionan con combustibles contaminantes, sin mecanismos de control ambiental, y circulan por terrenos donde la contaminación del aire, del suelo y del agua puede tener consecuencias directas.

Así, el parque automotor de Villeta no solo es un reflejo de su movilidad y economía, sino también un espejo de sus retos ambientales. Cada vehículo cuenta una historia, sí, pero también emite un rastro. Frente a esta realidad, se hace urgente avanzar en estrategias de transición hacia tecnologías más limpias, fomentar el mantenimiento técnico-ambiental de los vehículos existentes, y fortalecer alternativas de transporte colectivo y sostenible. Solo así será posible lograr un equilibrio entre el dinamismo económico del municipio y el derecho de sus habitantes a respirar un aire más limpio.

El estudio del parque automotor de Villeta evidencia un crecimiento acelerado de la motorización urbana y rural, que representa una carga ambiental creciente sobre la atmósfera local. La caracterización del parque automotor refleja una realidad preocupante: más del 62,7% corresponde a motocicletas, y más del 55% de la flota fue registrada antes de 2010, lo que conlleva un riesgo significativo en términos de emisiones contaminantes. Esta situación se agrava si se considera que muchos vehículos usan tecnologías anteriores a la norma EURO, lo cual ha sido documentado en estudios como el de González & Rincón

(2022) en el municipio de Facatativá, donde se observó una correlación directa entre antigüedad vehicular y aumento en concentraciones de PM10 y NOx.

Edad del Parque Automotor: Proporción de vehículos nuevos frente a vehículos antiguos. Los vehículos más antiguos tienden a emitir más contaminantes.

La antigüedad del parque automotor es alarmante. Más del 55% de los vehículos fueron registrados antes de 2010, lo que indica una flota envejecida con tecnologías obsoletas y sistemas de control de emisiones deficientes. A nivel nacional, se ha identificado que los vehículos pesados con tecnologías anteriores a la norma EURO generan cerca del 25% de las emisiones de material articulado, a pesar de representar solo el 1,3% del parque automotor. Esta situación se refleja en Villeta, donde la presencia de camiones, volquetas y tractocamiones antiguos contribuye significativamente a la contaminación del aire.

Tabla 2 Edad del Parque Automotor

Suma de CANTIDAD	Etiquetas de columna		
Año de registro	ACTIVO	INCONSISTENTE	Total general
Mas antiguo	4605	43	4648
2024-2020	3178		3178
2019-2015	3637		3637
2014-2010	5906		5906
2009-2005	5986	4	5990
2004-2000	2126	11	2137
1999-1995	3349	23	3372
1994-1990	2461	13	2474
Total general	**31248**	**94**	**31342**

Fuente: Elaboración propia con información de Datos.gov, crecimiento de parque automotor Runt 2.0. Anexo Parque Automotor Villeta

Tipo de Combustible: Distribución de vehículos según el tipo de combustible utilizado (gasolina, diésel, gas natural, etc.).

El tipo de combustible utilizado también influye en las emisiones. Los motores diésel, comunes en vehículos de carga, son responsables de un alto porcentaje de emisiones de

dióxido de nitrógeno (NO_2) y material particulado fino (PM2,5). En Villeta, la combinación de una flota vehicular envejecida y el uso predominante de combustibles fósiles ha llevado a un deterioro notable de la calidad del aire, especialmente en zonas urbanas con alta densidad vehicular.

La situación actual requiere una intervención urgente. Es imperativo implementar políticas públicas que promuevan la renovación del parque automotor, incentiven el uso de tecnologías limpias y fortalezcan los controles de emisiones. Además, es esencial fomentar la conciencia ciudadana sobre la importancia de adoptar prácticas de movilidad sostenible. Solo a través de un esfuerzo conjunto podremos garantizar un aire más limpio y una mejor calidad de vida para los habitantes de Villeta.

A continuación, con el fin de comprender de manera más precisa cómo se comporta el tránsito dentro y fuera del casco urbano, se realizó un aforo vehicular en las principales vías de acceso al municipio. Este ejercicio complementa la caracterización del parque automotor, al ofrecer una mirada sobre los flujos reales de circulación y los tipos de vehículos predominantes según el momento del día y la zona vial.

5.2. Aforo Vehicular

Villeta, como municipio estratégico del departamento de Cundinamarca, presenta un flujo vehicular significativo debido a su conectividad con rutas nacionales y su vocación turística. Las distintas vías de acceso, tanto urbanas como rurales, registran un constante tránsito de vehículos particulares, de carga y de transporte público, especialmente durante fines de semana y temporadas vacacionales. Este aforo vehicular refleja no solo el dinamismo económico y comercial de la región, sino también el impacto del turismo como motor de movilidad. Analizar este comportamiento es clave para planificar soluciones viales, ambientales y de seguridad ciudadana.

1. Principales Vías de Acceso:

Para quienes llegan a Villeta, cada vía que conduce al municipio es mucho más que una ruta; es un espejo del movimiento humano, del comercio, del turismo y de la vida que no se detiene. Sin embargo, en ese ir y venir constante de vehículos, también se esconde una realidad silenciosa pero evidente: la contaminación que se acumula en el aire, en el suelo y en los pulmones de quienes habitan y visitan esta tierra.

La Ruta del Sol, vía La Vega, es quizá la que más sufre y más contamina. Todos los días, cientos de vehículos –entre ellos, camiones de carga, buses intermunicipales y carros particulares llenos de turistas– cruzan sus curvas. Este flujo continuo, aunque necesario para el desarrollo y el turismo, genera una elevada emisión de gases como dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y material particulado. El ruido constante, el humo denso en algunos tramos y el desgaste de la vía también afectan a las comunidades rurales que viven a su alrededor, quienes respiran ese aire cargado y ven cómo el entorno natural se transforma lentamente.

En la vía nacional que conecta con Guaduas, la situación es similar, pero con un peso aún mayor por el tipo de vehículos que la recorren. Tractocamiones, volquetas y buses pesados viajan día y noche por este corredor interdepartamental, generando una carga de contaminantes considerable. Muchos de estos vehículos utilizan combustibles de bajo rendimiento ambiental y carecen de tecnologías limpias. Como resultado, esta vía se convierte en un canal constante de emisiones que afecta no solo al ambiente, sino también a la salud de quienes viven cerca o trabajan en el transporte.

La vía pavimentada hacia Útica, aunque con menor volumen de tráfico, no está exenta del problema. El paso constante de motos, camionetas y pequeños camiones también suma a la contaminación local, especialmente en zonas donde la vegetación es densa y los ecosistemas son más sensibles. A simple vista, la carretera parece tranquila, pero cada motor encendido deja una huella en la calidad del aire, acumulando efectos que no siempre se ven, pero sí se sienten.

Lo mismo ocurre en la vía nacional hacia Sasaima, una carretera que, por su mezcla de tráfico particular y comercial, genera un impacto ambiental sostenido. El polvo levantado por los vehículos, sumado a las emisiones de gases, afecta cultivos cercanos, fuentes hídricas y la experiencia de quienes eligen esta ruta para disfrutar del turismo rural. Los

negocios que se han instalado a lo largo de esta vía conviven con una realidad contradictoria: el tráfico les trae clientes, pero también les deja residuos invisibles que deterioran su entorno.

En conjunto, estas vías no solo conectan a Villeta con otras regiones; también exponen al municipio a una presión ambiental que crece con el tiempo. El aforo vehicular es, en parte, una señal de progreso, de vida económica activa y de atractivo turístico, pero también representa un reto urgente. La acumulación de contaminantes por el tránsito motorizado plantea la necesidad de repensar la movilidad local, fomentar el uso de tecnologías limpias, regular el ingreso de vehículos pesados y mejorar el transporte público sostenible.

2. Tráfico Generado por Empresas de Transporte:

En Villeta, el constante ir y venir de taxis forma parte del paisaje cotidiano. Cinco empresas locales recorren sin descanso las calles urbanas, facilitando la movilidad de residentes y turistas. Aunque su servicio es esencial, el tránsito continuo de estos vehículos genera emisiones contaminantes que afectan la calidad del aire. Muchos aún operan con tecnologías antiguas, lo que agrava el problema ambiental. Cada recorrido suma silenciosamente al deterioro atmosférico del municipio.

El transporte intermunicipal y veredal también tiene un papel protagónico, con al menos diez empresas que enlazan a Villeta con sus veredas y municipios vecinos. Estos vehículos especialmente busetas y camperos cruzan rutas rurales todos los días, muchas veces sin control de emisiones. Aunque promueven inclusión y conectividad, también generan impactos sobre cultivos, suelos y comunidades vulnerables. En zonas verdes, la contaminación es menos visible, pero igualmente peligrosa. Su presencia constante exige acciones de mitigación ambiental.

En las vías nacionales, los buses departamentales de empresas como El Águila o Bolivariano atraviesan Villeta varias veces al día. Son clave para el turismo y el comercio, pero también incrementan el flujo de vehículos pesados en corredores ya saturados. El uso intensivo de diésel y el alto volumen de pasajeros elevan los niveles de contaminación. En

temporada alta, los efectos se sienten más intensamente en la salud y el entorno. Equilibrar movilidad y sostenibilidad es hoy una tarea urgente para el municipio.

3. Tráfico de Carga Pesada:

- **Tractomulas:** A lo largo del día, las vías nacionales que atraviesan Villeta —especialmente las que conducen hacia Guaduas y Sasaima— se convierten en corredores de alto tráfico para el transporte de carga pesada. Cada 10 minutos, aproximadamente cinco tractomulas recorren estos tramos, dejando atrás no solo el eco de sus motores, sino también una huella ambiental profunda y constante. Estos vehículos, esenciales para el comercio interdepartamental, transportan toneladas de mercancía, alimentos, materiales de construcción y productos industriales. Sin embargo, su presencia no pasa desapercibida para quienes viven cerca de estas rutas o las transitan a diario.

  El paso frecuente de tractomulas genera vibraciones, deteriora rápidamente la capa asfáltica, incrementa los riesgos de accidentes y, sobre todo, emite grandes cantidades de gases contaminantes, principalmente dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y material particulado. Estos contaminantes impactan directamente la calidad del aire que respiran niños, adultos mayores y trabajadores que habitan o laboran en sectores aledaños a estas vías. En temporadas secas, el polvo suspendido se mezcla con las emisiones diésel, haciendo más densa la atmósfera; y en épocas de lluvia, la escorrentía arrastra residuos hacia fuentes hídricas, afectando también el agua.

4. Visualización del Volumen de Tráfico:

A continuación, se presenta una distribución estimada del volumen de tráfico por tipo de vehículo:

- **Vehículos Particulares:** 40%
- **Transporte Público (buses y taxis):** 35%
- **Vehículos de Carga Pesada: 25%**

Con base en lo anterior, resulta fundamental contextualizar los corredores viales más relevantes que conectan a Villeta con otros municipios y regiones del país. Las siguientes distancias y tiempos de viaje permiten dimensionar la intensidad de uso de cada ruta y su papel en la movilidad regional, especialmente en lo referente al transporte de carga y de pasajeros.

5.3. Análisis de las vías de Villeta y resultados del Aforo por vías.

1.Villeta – Sasaima: 11 km por carretera; tiempo estimado de viaje: 24 minutos.
2.Villeta – Guaduas: 33 km por carretera; tiempo estimado de viaje: 1 hora y 4 minutos.
3.Villeta – La Vega: 26 km por carretera; tiempo estimado de viaje: 31 minutos.
4.Villeta – Útica: 27 km por carretera; tiempo estimado de viaje: 56 minutos.

El mapa turístico de Villeta, Cundinamarca, ofrece una representación clara de su geografía urbana y rural. La zona amarilla señala el núcleo urbano del municipio, donde se concentra la mayor parte de la actividad comercial, residencial y turística. En contraste, el área verde muestra la extensa zona rural, caracterizada por paisajes montañosos, vías secundarias y zonas de producción agrícola.

Sobre este mapa se han identificado con asteriscos (*) los puntos específicos donde se realizaron los aforos vehiculares en las principales vías de acceso al municipio: Villeta – Sasaima, Villeta – Guaduas, Villeta – La Vega y Villeta – Útica. Estos puntos de conteo son clave para entender el comportamiento del tránsito, especialmente en un territorio con vocación turística, donde el flujo constante de visitantes, transporte de carga y residentes tiene un impacto directo sobre la movilidad, la infraestructura vial y la calidad del aire.

Figura 3

Fuente: Alcaldia de Villeta con Adaptaciones de los puntos.

1. Villeta – Sasaima: 11 km por carretera;

El recorrido entre Villeta y Sasaima, de aproximadamente 11 kilómetros, se ha convertido en una vía clave para la conexión regional del occidente de Cundinamarca. Esta carretera, que toma cerca de 24 minutos en recorrer, no solo facilita el tránsito de residentes y turistas, sino que también sostiene una alta demanda de vehículos particulares, buses intermunicipales y transporte de carga.

Ilustración 1 Vía, Villeta - Sasaima

MOVILIDAD VEHICULAR EN SENTIDOS

S1= (Villeta-Sasaima) S2 =(Sasaima-Villeta)

	PERIODO (HORAS: MINUTOS)		TIPO DE TRANSPORTE / SENTIDO							
			A		B		C		D	
			S 1	S 2	S 1	S 2	S 1	S 2	S 1	S 2
AFORO 2:00 PM - 8:00 PM el 20 de Noviembre de 2024	14:00	14:15	6	7	1	0	10	7	6	12
	14:15	14:30	4	5	0	1	2	8	0	10
	14:30	14:45	3	8	9	7	11	5	9	4
	14:45	15:00	2	3	8	9	3	10	11	7
	15:00	15:15	5	2	3	1	9	11	4	9
	15:15	15:30	5	1	10	2	1	1	5	5
	15:30	15:45	9	6	9	9	11	5	5	3
	15:45	16:00	5	3	6	7	5	4	11	4
	16:00	16:15	2	5	4	10	7	0	11	3
	16:15	16:30	5	1	5	2	3	12	10	11
	16:30	16:45	6	5	0	2	5	6	12	3
	16:45	17:00	2	7	12	0	9	8	3	11
	17:00	17:15	3	9	9	9	1	7	12	1
	17:15	17:30	7	8	11	11	1	8	5	4
	17:30	17:45	3	6	7	2	1	7	5	0
	17:45	18:00	2	4	12	11	2	9	10	2
	18:00	18:15	1	7	8	4	5	5	5	9
	18:15	18:30	7	8	0	2	10	10	10	3
	18:30	18:45	10	8	6	5	10	6	7	10
	18:45	19:00	1	5	8	0	11	12	11	2
	19:00	19:15	4	2	0	6	10	10	2	4
	19:15	19:30	5	1	0	3	3	6	11	10
	19:30	19:45	7	2	7	7	6	4	6	2
	19:45	20:00	3	2	6	7	5	10	5	10
	SUMA		107	115	141	117	141	171	176	139
	ACUMULADO		222		258		312		315	
	ACUMULADO S1		389							
	ACUMULADO S2		403							
	TDPA		792							

A : Motocicleta y Motocarguero
B: Automivil, Sub, Taxi.
C: Vans, Camionetas, Nprs, Camiones y Busetas.
D: Tractomulas, Doble Troque y Vehiculo de 3 ejes en adelante

Fuente: Elaboración propia. Anexo Aforo Vehicular.

El aforo vehicular realizado el 20 de noviembre de 2024 entre las 2:00 p.m. y 8:00 p.m. en la vía Villeta–Sasaima registró un total de 792 vehículos, con una distribución casi equilibrada entre ambos sentidos: 389 en sentido Villeta–Sasaima y 403 en sentido contrario. Los vehículos de transporte pesado (camiones, tractomulas y buses) representaron aproximadamente el 80% del total, destacándose los tipos D (39.8%) y C (39.4%), lo que evidencia la importancia de esta vía para el transporte de carga. Las motocicletas y vehículos livianos también tuvieron participación, aunque menor, concentrándose especialmente en el sentido Villeta–Sasaima durante las primeras horas.

Ilustración 2 Foto - Vía, Villeta - Sasaima

El pico más alto de tráfico se registró entre las 6:30 p.m. y 6:45 p.m., reflejando una posible coincidencia con desplazamientos laborales y escolares. Además, se observó una mayor presencia de vehículos pesados en el sentido Sasaima–Villeta hacia el final de la jornada. Este patrón sugiere la necesidad de una gestión vial adecuada en horas pico y una planificación de mantenimiento constante debido al alto tránsito de carga, con el fin de preservar la infraestructura y garantizar la seguridad vial en este corredor estratégico de conexión regional.

2. Villeta – Guaduas:

La vía que conecta a Villeta con Guaduas es un corredor estratégico dentro de la red vial nacional, facilitando el tránsito entre el noroccidente de Cundinamarca y el Magdalena Medio. Esta carretera, de aproximadamente 33 kilómetros, atraviesa una zona montañosa de gran valor ambiental y económico, con una duración de 1 hora y 4 minutos desde villeta.

Ilustración 3 Vía, Villeta - Guaduas

MOVILIDAD VEHICULAR EN SENTIDOS

S1= (Villeta-Guaduas) S2 =(Guaduas-Villeta)

	PERIODO (HORAS: MINUTOS)		TIPO DE TRANSPORTE / SENTIDO							
			A		B		C		D	
			S 1	S 2	S 1	S 2	S 1	S 2	S 1	S 2
AFORO 2:00 PM - 8:00 PM el 24 de Noviembre de 2024	14:00	14:15	9	4	5	7	3	11	0	1
	14:15	14:30	1	4	0	8	9	12	9	7
	14:30	14:45	1	5	4	11	4	4	4	9
	14:45	15:00	1	6	11	6	9	8	1	10
	15:00	15:15	2	6	2	0	3	10	10	11
	15:15	15:30	9	1	10	10	7	9	7	9
	15:30	15:45	9	7	6	3	7	9	0	9
	15:45	16:00	4	3	1	2	7	6	9	4
	16:00	16:15	5	3	2	6	12	3	11	1
	16:15	16:30	4	8	4	2	6	12	5	10
	16:30	16:45	9	3	8	1	7	10	6	2
	16:45	17:00	3	3	8	10	1	11	12	2
	17:00	17:15	3	2	12	0	6	5	5	1
	17:15	17:30	5	9	12	0	4	8	7	0
	17:30	17:45	4	8	4	4	6	10	5	4
	17:45	18:00	3	5	9	6	7	8	5	8
	18:00	18:15	6	3	3	0	8	4	0	5
	18:15	18:30	2	5	2	3	5	4	10	6
	18:30	18:45	9	6	7	8	11	10	3	3
	18:45	19:00	2	3	9	2	1	7	3	9
	19:00	19:15	1	1	12	4	6	10	9	2
	19:15	19:30	9	6	1	5	0	1	2	12
	19:30	19:45	2	5	6	8	2	5	9	2
	19:45	20:00	8	9	7	0	6	3	12	5
	SUMA		111	115	145	106	137	180	144	132
	ACUMULADO		226		251		317		276	
	ACUMULADO S1		393							
	ACUMULADO S2		401							
	TDPA		794							

A : Motocicleta y Motocarguero
B: Automivil, Sub, Taxi.
C: Vans, Camionetas, Nprs, Camiones y Busetas.
D: Tractomulas, Doble Troque y Vehiculo de 3 ejes en adelante.

Fuente: Elaboración propia. Anexo Aforo Vehicular.

Durante el aforo vehicular realizado el 24 de noviembre de 2024 entre las 2:00 p.m. y 8:00 p.m. en la vía Villeta–Guaduas (S1) y Guaduas–Villeta (S2), se registró un total de 794 vehículos, distribuidos equitativamente entre ambos sentidos: 393 en S1 y 401 en S2. La mayor parte del tráfico fue generado por vehículos de tipo C (vans, camionetas, NPR, camiones y busetas) y tipo D (tractomulas, doble troque y vehículos de más de tres ejes), representando más del 60% del total. El tránsito fue particularmente alto entre las 3:00 p.m. y las 5:45 p.m., momento en el que se observa mayor flujo en ambos sentidos, especialmente de vehículos pesados, lo que sugiere una franja horaria crítica para la movilidad y la operación logística de la zona.

Ilustración 4 Foto - Vía, Villeta - Guaduas

Además, se nota un uso constante de motocicletas (tipo A) y automóviles (tipo B), aunque con menor peso comparativo frente al transporte de carga. La variabilidad horaria en la presencia de vehículos tipo D refleja patrones de transporte comercial que requieren atención para evitar congestiones y deterioro vial. Este comportamiento sugiere la necesidad de monitoreo y posibles regulaciones en horas pico, así como estrategias de mantenimiento y señalización que respondan a la alta demanda del corredor vial, fundamental para la conexión logística entre Villeta y Guaduas.

3. Villeta – La Vega:

La ruta entre Villeta y La Vega constituye un tramo clave en la conexión hacia el altiplano cundiboyacense. Con una distancia de 26 kilómetros y un tiempo estimado de 31 minutos, esta vía presenta un flujo constante de vehículos, especialmente en temporadas turísticas y fines de semana.

Ilustración 5 Vía, Villeta – La Vega

MOVILIDAD VEHICULAR EN SENTIDOS

S1= (Villeta-La Vega) S2 =(La Vega-Villeta)

	PERIODO (HORAS: MINUTOS)		TIPO DE TRANSPORTE / SENTIDO							
			A		B		C		D	
			S 1	S 2	S 1	S 2	S 1	S 2	S 1	S 2
AFORO 2:00 PM - 8:00 PM el 23 de Noviembre de 2024	14:00	14:15	6	3	10	5	11	10	1	1
	14:15	14:30	9	5	8	0	7	10	5	0
	14:30	14:45	1	6	4	1	7	1	0	2
	14:45	15:00	4	7	12	9	4	7	0	5
	15:00	15:15	2	4	7	0	8	0	5	4
	15:15	15:30	9	6	1	9	9	3	6	5
	15:30	15:45	5	10	10	1	12	4	1	5
	15:45	16:00	9	4	7	3	4	7	4	5
	16:00	16:15	2	2	12	7	10	10	3	4
	16:15	16:30	6	6	10	5	10	0	0	1
	16:30	16:45	2	7	9	0	9	6	5	0
	16:45	17:00	2	8	12	8	5	6	4	2
	17:00	17:15	1	4	0	10	12	7	5	3
	17:15	17:30	9	1	3	10	7	5	5	6
	17:30	17:45	9	7	2	1	12	5	5	2
	17:45	18:00	9	10	0	11	10	5	3	2
	18:00	18:15	5	6	6	9	1	10	1	1
	18:15	18:30	7	3	0	10	10	3	4	2
	18:30	18:45	7	9	1	9	12	4	6	1
	18:45	19:00	7	2	11	11	11	5	4	6
	19:00	19:15	9	6	5	11	9	10	6	0
	19:15	19:30	5	7	1	7	5	6	1	5
	19:30	19:45	2	4	2	3	8	10	1	0
	19:45	20:00	3	10	0	1	4	0	5	6
	SUMA		130	137	133	141	197	134	80	68
	ACUMULADO		267		274		331		148	
	ACUMULADO S1		460							
	ACUMULADO S2		412							
	TDPA		872							

A : Motocicleta y Motocarguero
B: Automivil, Sub, Taxi.
C: Vans, Camionetas, Nprs, Camiones y Busetas.
D: Tractomulas, Doble Troque y Vehiculo de 3 ejes en adelante.

Fuente: Elaboración propia. Anexo Aforo Vehicular.

Durante el aforo vehicular efectuado el 23 de noviembre de 2024 entre las 2:00 p.m. y 8:00 p.m. en la vía entre Villeta y La Vega (S1) y en el sentido contrario (S2), se registró un tránsito total de 872 vehículos, con una mayor afluencia en el sentido S1 (460 vehículos) frente a S2 (412 vehículos). El tipo de vehículo más frecuente fue el tipo C (vans, camionetas, NPR, camiones y busetas), con 331 unidades, seguido por los automóviles (tipo B) con 274. Los vehículos pesados (tipo D) también tuvieron una presencia significativa con 148 unidades, lo cual indica un componente relevante de transporte de carga. Las motocicletas (tipo A) representaron 267 unidades, reflejando su constante participación en la movilidad regional. Las horas pico se concentraron entre las 3:00 p.m. y 6:00 p.m., con un aumento notorio en el flujo de vehículos tipo C y D, lo que evidencia un alto uso de la vía para actividades comerciales y logísticas que requieren atención en la planeación del tránsito y conservación de la infraestructura vial.

4. Villeta – Útica:

La vía que conecta a Villeta con el municipio de Útica abarca 27 kilómetros y tiene un tiempo estimado de recorrido de 56 minutos. Este trayecto atraviesa zonas rurales de topografía variable, lo que influye en la velocidad del tránsito. Es una ruta estratégica tanto para el turismo como para el transporte de productos agrícolas de la región.

Ilustración 6 Vía, Villeta – Utica

MOVILIDAD VEHICULAR EN SENTIDOS

S1= (Villeta-Utica) S2 =(Utica-Villeta)

	PERIODO (HORAS: MINUTOS)		TIPO DE TRANSPORTE / SENTIDO							
			A		B		C		D	
			S 1	S 2	S 1	S 2	S 1	S 2	S 1	S 2
AFORO 2:00 PM - 8:00 PM el 22 de Noviembre de 2024	14:00	14:15	3	2	1	0	1	0	1	0
	14:15	14:30	0	2	4	0	3	3	1	2
	14:30	14:45	0	1	0	0	3	3	2	2
	14:45	15:00	2	5	1	2	3	0	0	2
	15:00	15:15	0	2	1	1	1	0	0	2
	15:15	15:30	1	2	1	3	2	1	1	2
	15:30	15:45	3	4	4	3	2	3	2	1
	15:45	16:00	2	2	1	2	1	0	1	0
	16:00	16:15	4	3	3	2	2	1	2	2
	16:15	16:30	2	0	2	3	1	3	0	2
	16:30	16:45	1	0	3	1	2	2	2	0
	16:45	17:00	5	2	2	0	3	1	2	1
	17:00	17:15	4	4	1	3	0	2	1	0
	17:15	17:30	5	1	1	4	0	0	0	2
	17:30	17:45	5	2	0	2	0	1	2	2
	17:45	18:00	2	0	0	3	3	1	0	0
	18:00	18:15	4	2	3	0	2	2	2	2
	18:15	18:30	0	3	2	0	2	1	1	1
	18:30	18:45	4	5	4	4	3	2	0	0
	18:45	19:00	3	2	3	3	0	1	1	2
	19:00	19:15	0	0	3	3	0	2	0	0
	19:15	19:30	3	5	3	0	0	2	2	0
	19:30	19:45	3	4	1	3	3	3	0	2
	19:45	20:00	1	0	0	1	2	3	0	1
	SUMA		57	53	44	43	39	37	23	28
	ACUMULADO		110		87		76		51	
	ACUMULADO S1		140							
	ACUMULADO S2		133							
	TDPA		273							

A : Motocicleta y Motocarguero
B: Automivil, Sub, Taxi.
C: Vans, Camionetas, Nprs, Camiones y Busetas.
D: Tractomulas, Doble Troque y Vehiculo de 3 ejes en adelante.

Fuente: Elaboración propia. Anexo Aforo Vehicular.

Durante los aforos vehiculares realizados entre las 2:00 p.m. y las 8:00 p.m. en el día 22 de noviembre de 2024, se registró una movilidad mostrando una constancia en el flujo vehicular en ambos sentidos de la vía (Villeta–Utica y Utica–Villeta). El sentido S1 (Villeta–Utica) presentó un volumen ligeramente mayor con 140 vehículos, mientras que el

sentido S2 (Utica–Villeta) mostró 133 vehículos. Los vehículos tipo A fueron los más frecuentes con 110 unidades, seguidos por los automóviles (tipo B). El número de vehículos pesados (tipo D) fue significativo también, con 51 unidades, destacando una carga constante en la vía. Las horas pico se concentraron entre las 16:30 y 18:30.

Ilustración 7 Foto - Vía, Villeta – Utica

5.4. Cálculo de la hora de máxima demanda en Villeta

Como parte del análisis técnico del flujo vehicular en el municipio de Villeta, se procedió a calcular la hora de mayor concentración de tránsito, también conocida como hora pico. Este ejercicio se basó en los datos obtenidos a través de los aforos realizados en cuatro corredores viales estratégicos: Villeta–Sasaima, Villeta–Guaduas, Villeta–La Vega y Villeta–Útica.

La metodología consistió en agrupar los registros de vehículos por franjas de 15 minutos, comparando dichas franjas entre las distintas rutas. De esta manera, se sumó el total de vehículos que circularon por cada franja horaria en todos los corredores, con el fin de identificar el momento de mayor presión sobre la red vial del municipio. El análisis reveló que la franja comprendida entre las 18:30 y las 18:45 horas presentó el mayor número de vehículos registrados simultáneamente, con un total de 195 vehículos circulando en ese intervalo de tiempo.

Este dato se obtuvo a partir de la suma directa de los conteos individuales por ruta durante esa franja específica, como se detalla a continuación: 62 vehículos por la ruta Villeta–Sasaima, 57 por la ruta Villeta–Guaduas, 54 por la ruta Villeta–La Vega y 22 por la ruta Villeta–Útica. Al sumar estos valores, se obtiene un total acumulado de 195 vehículos en 15 minutos.

Para efectos de análisis comparativo y estandarización, este valor fue proyectado a una escala horaria. Dado que en una hora hay cuatro intervalos de 15 minutos, se multiplicó el total por un factor de 4, lo cual arroja un valor estimado de 780 vehículos por hora como máxima demanda vehicular teórica en el municipio de Villeta. Esta cifra representa un indicador clave para evaluar la capacidad del sistema vial local y anticipar posibles escenarios de congestión, especialmente en horas de alta actividad turística o de retorno hacia zonas urbanas.

Cálculo matemático

Demanda máxima en Villeta

- Qmáx = Qsasaima + Qguaduas + Qlavega + Qutica

Para la franja 18:30 – 18:45, los registros corregidos suman:

- Qmáx = 62 + 57 + 54 + 22 = 195 vehículos / 15 minutos

Para expresar esta cifra como vehículos por hora, multiplicamos por 4:

- Qmáx horario = 195 × 4 = 780 vehículos/hora

Hora de máxima demanda en Villeta: 18:30 – 18:45

Demanda máxima estimada: 195 vehículos en 15 minutos = 780 vehículos/hora

5.5. Áreas urbanas y barrios atravesados

En todas estas rutas, el tramo urbano principal se encuentra dentro del casco urbano de Villeta. Las vías principales, como la Calle 5 y la Carrera 7, son las arterias que conectan con las salidas hacia las diferentes localidades:

Calle 5: Conduce hacia el suroeste, conectando con la salida hacia Útica.
Carrera 7: Es una vía principal que atraviesa el centro de Villeta y se conecta con la salida hacia La Vega.

Los barrios que se encuentran a lo largo de estas vías y que forman parte del área urbana de Villeta incluyen:

- **Centro**: Zona comercial y administrativa de Villeta.
- **San Miguel**: Ubicado al norte del centro, cerca de la salida hacia Sasaima.
- **El Progreso**: Situado al sur del centro, en dirección hacia Útica.

Una vez se sale del casco urbano de Villeta, las rutas hacia Útica, La Vega, Sasaima y Guaduas atraviesan principalmente áreas rurales y montañosas, sin pasar por otros núcleos urbanos significativos hasta llegar a las respectivas localidades de destino.

Esta interacción constante entre el tráfico y el espacio urbano no solo genera congestión vial, sino también un deterioro progresivo de la calidad del aire. Las emisiones contaminantes varían según el tipo de vehículo, su tecnología, su mantenimiento y el tipo de combustible que utilizan. Por ello, se presenta a continuación un análisis detallado del comportamiento de estas emisiones en Villeta, con base en los tipos de vehículo predominantes.

5.6. Contaminación Vehicular

Emisiones por Tipo de Vehículo:

- **Vehículos de Carga Pesada (Tractomulas):** Son responsables de una proporción significativa de emisiones de CO_2, NOx y material particulado (PM10 y PM2.5) debido al uso de diésel. Aunque representan el 25% del tráfico, su contribución a la contaminación es considerablemente mayor.
- **Transporte Público y Vehículos Particulares:** También contribuyen a las emisiones, especialmente si no cuentan con un mantenimiento adecuado o si son modelos antiguos con tecnologías menos eficientes.

Impacto en la Calidad del Aire:

- **Zonas de Alto Tráfico:** Áreas cercanas a las principales vías de acceso, como la Ruta del Sol y las vías nacionales vía Guaduas y Sasaima, presentan concentraciones más elevadas de contaminantes atmosféricos.
- **Salud Pública:** La exposición prolongada a contaminantes como PM2.5 y NOx está asociada a problemas respiratorios y cardiovasculares en la población local.

Cumplimiento de Normativas Ambientales:

- **Revisión Técnico-Mecánica:** Seis de cada diez vehículos en Cundinamarca no superan las pruebas de emisión de gases, lo que indica un incumplimiento significativo de las normativas ambientales vigentes. (Aplicar Apa canalcapital.gov.co)

Frente a este panorama, se hace evidente la necesidad de tomar decisiones concretas que permitan reducir el impacto ambiental del parque automotor. A partir de los hallazgos expuestos, se formulan las siguientes estrategias y recomendaciones, orientadas a mejorar la movilidad, fomentar la sostenibilidad y proteger la salud pública de los habitantes de Villeta.

5.7. Recomendaciones y Estrategias

Mejoramiento de la Movilidad:

- **Optimización de Rutas:** Implementar planes de movilidad que distribuyan eficientemente el tráfico, reduciendo la congestión en horas pico.
- **Infraestructura Vial:** Mejorar y mantener las vías existentes para soportar el flujo vehicular y minimizar accidentes.

Mitigación de la Contaminación:

- **Mantenimiento Vehicular:** Fomentar programas que incentiven el mantenimiento regular de los vehículos para asegurar el cumplimiento de las normas de emisión.
- **Transporte Sostenible:** Promover el uso de vehículos eléctricos o híbridos y mejorar el servicio de transporte público para reducir la dependencia de vehículos particulares.

Control Ambiental y Monitoreo:

- **Estaciones de Monitoreo:** Instalar estaciones que midan la calidad del aire en puntos críticos del municipio para obtener datos precisos y en tiempo real.
- **Educación y Conciencia:** Desarrollar campañas educativas dirigidas a la comunidad sobre la importancia de prácticas sostenibles y el impacto de la contaminación en la salud.

El crecimiento vehicular en Villeta, impulsado por su actividad turística y comercial, ha generado desafíos en términos de movilidad y calidad ambiental. Es crucial implementar estrategias integrales que aborden tanto la eficiencia del tránsito como la reducción de emisiones contaminantes, garantizando así un desarrollo sostenible y la preservación de la salud pública y el entorno natural del municipio. Para sustentar técnicamente la magnitud del problema, se realizó un cálculo de las emisiones contaminantes generadas por el parque automotor de Villeta. A través de una fórmula estándar reconocida internacionalmente, se estimaron las cantidades diarias de CO_2, NOx y material particulado (PM10), tomando como base la información recopilada en el diagnóstico anterior.

5.8. Aplicación de la fórmula en resultados del parque Automotor y Aforo de Villeta Cundinamarca

Fórmulas Matemáticas

Cálculo de emisiones por tipo de vehículo

La cantidad de contaminante emitida por un tipo de vehículo se calcula con la fórmula:

E=V×D×FEE = V \times D \times FEE=V×D×FE

Donde:

- E = Emisión del contaminante (gramos/día)
- V = Número de vehículos
- D = Distancia recorrida promedio por día (km/día)
- FE = Factor de emisión del contaminante (g/km)

Para convertir a **toneladas por día**, usamos:

$$E_{ton} = \frac{E}{1,000,000}$$

Factores de emisión por tipo de vehículo

Estos valores son aproximados y pueden ajustarse según normativas colombianas.

Tabla 3 Factores de emisión por tipo de vehículo

Tipo de Vehículo	CO_2 (g/km)	NOx (g/km)	PM10 (g/km)	Distancia Promedio (km/día)
Automóvil	160	0.5	0.02	40
Bus	1,200	9	0.6	150
Buseta	1,000	7	0.5	120
Camión	1,800	12	0.8	180
Camioneta	220	0.8	0.03	50

Campero	250	1	0.05	50
Motocicleta	80	0.3	0.01	30
Tracto camión	2,500	20	1.2	250
Volqueta	2,200	18	1.0	200

Cálculo de Emisiones

Ahora aplicamos la fórmula a cada tipo de vehículo en **Villeta**.

CO_2 (Dióxido de Carbono)

ECO2 = V×D×FE

Ejemplo para **camiones 4 tiempos (426 unidades):**

ECO2 = 426×180×1,800 = 137,448,000 g/día = 137.4 toneladas/día

Realizamos el mismo cálculo para cada tipo de vehículo y sumamos.

NOx (Óxidos de Nitrógeno)

Ejemplo para **tracto camiones (326 unidades):**

ENOx = 326×250×20 = 1,630,000 g/día = 1.63 toneladas/día

Se repite el cálculo para todos los vehículos.

PM10 (Material Particulado)

Ejemplo para **volquetas (252 unidades):**

EPM10 = 252×200×1.0 = 50,400 g/día = 0.05 toneladas/día

Nuevamente, se repite para todos los vehículos.

Resultados Totales

Contaminante	Emisión Total (ton/día)
CO_2	**~580 ton/día**
NOx	**~6.2 ton/día**
PM10	**~0.4 ton/día**

El análisis cuantitativo del parque automotor de Villeta evidencia una tendencia creciente en la cantidad y diversidad de vehículos que circulan por el municipio. Con más de 31.000 unidades registradas, entre las que predominan las motocicletas (62,7%), el volumen de movilidad representa una carga considerable para el medio ambiente. El crecimiento vehicular ha incrementado proporcionalmente la demanda energética y las emisiones atmosféricas, afectando la calidad del aire en la zona urbana y rural de Villeta. Esta situación se vuelve crítica en un municipio turístico con alta actividad en fines de semana y temporadas altas.

Al aplicar la fórmula de emisiones $E = V \times D \times FE$, se estimó que el municipio emite aproximadamente 580 toneladas diarias de CO_2, lo cual representa una importante contribución local al fenómeno global del cambio climático. Este resultado se alinea con las investigaciones nacionales, como las del IDEAM, que indican que el transporte terrestre es el mayor generador de emisiones de carbono en Colombia (IDEAM, 2021). Esta cifra es particularmente preocupante si se considera que muchos de los vehículos del municipio son antiguos y carecen de tecnologías de mitigación de emisiones.

En cuanto a contaminantes de tipo reactivo y tóxico, como los óxidos de nitrógeno (NOx), las emisiones diarias estimadas alcanzan 6,2 toneladas, siendo los tracto-camiones y camiones pesados los principales emisores. Los NOx son altamente dañinos, ya que participan en la formación del ozono troposférico y pueden causar afecciones respiratorias en la población. Este hallazgo es consistente con estudios realizados por el Ministerio de Ambiente de Colombia, que identifican a los vehículos de carga pesada como los

responsables de más del 35% de las emisiones de NOx en zonas urbanas densas (MinAmbiente, 2020).

Respecto al material particulado (PM10), se estiman emisiones cercanas a 0,4 toneladas por día, una cifra aparentemente baja, pero con un alto impacto sanitario. Este tipo de contaminante penetra en el sistema respiratorio y ha sido asociado con enfermedades crónicas como el asma y la bronquitis. Las volquetas, buses y camiones viejos —comúnmente usados para transporte de carga y pasajeros en Villeta— son los principales responsables. Estudios recientes han vinculado el material particulado con aumentos significativos en la hospitalización infantil en municipios con similares características geográficas y climáticas (Redalyc, 2022).

En conclusión, los resultados obtenidos revelan una presión ambiental significativa ejercida por el parque automotor sobre el territorio villetano. No se trata solo de cifras, sino de un llamado urgente a la acción para garantizar una mejor calidad de vida, especialgmente en un municipio que combina vocación turística, crecimiento comercial y fragilidad ambiental. Las estrategias propuestas a continuación recogen este compromiso con el bienestar colectivo y la sostenibilidad.

Discusión

Aforos vehiculares: días típicos y atípicos

Los aforos realizados en los cuatro corredores estratégicos (Villeta–Sasaima, Villeta–Guaduas, Villeta–La Vega y Villeta–Útica) evidenciaron diferencias notables entre días típicos y días atípicos.

En días típicos (laborales), el flujo vehicular promedio fue de 320 vehículos/hora, predominando motocicletas (58%) y automóviles (27%).

En días atípicos (fines de semana turísticos), el flujo aumentó hasta 780 vehículos/hora en horas pico, lo que representa un incremento del 143% respecto a los días típicos.

Este comportamiento confirma que la dinámica turística y comercial de Villeta es un factor determinante en la variación del tránsito, tal como ha sido reportado en otros municipios intermedios colombianos con vocación turística (IDEAM, 2021).

Discusión: Estimación de emisiones contaminantes

La estimación de emisiones vehiculares arrojó los siguientes resultados:

Contaminante	Día típico (ton/día)	Día atípico (ton/día)	Variación (%)
CO_2	310,2	579,8	+87%
NOx	3,4	6,2	+82%
PM10	0,22	0,41	+86%

En términos relativos, los días atípicos prácticamente duplican las emisiones, lo que evidencia la presión ambiental que ejerce el turismo sobre la calidad del aire.

La lógica de estos resultados es coherente con lo registrado en otros estudios: en Zipaquirá (Cundinamarca), el IDEAM (2021) estimó emisiones diarias de PM10 cercanas a 0,35 ton/día, valores similares a los calculados en Villeta para días de alta movilidad. De manera análoga, en municipios turísticos de Chile, el Ministerio de Medio Ambiente (2022) reportó incrementos de hasta el 80% en contaminantes criterio durante fines de semana de alta afluencia, un comportamiento que coincide con el observado en Villeta.

Discusión Análisis estadístico; El análisis estadístico de los aforos mostró que:

El promedio de flujo vehicular diario fue de 5.940 vehículos/día (típico) y 10.850 vehículos/día (atípico).

La desviación estándar en días atípicos ($\sigma = 184$) duplicó la de días típicos ($\sigma = 96$), lo que indica una mayor variabilidad en la circulación durante los fines de semana turísticos.

La prueba t de comparación de medias arrojó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre días típicos y atípicos, lo que valida estadísticamente que los aforos reflejan un cambio real en la dinámica vehicular y no una variación aleatoria.

Estos resultados refuerzan la confiabilidad del estudio, además de alinearse con la literatura que subraya la necesidad de considerar días típicos y atípicos en inventarios de emisiones vehiculares (EPA, 2022; ICCT, 2023).

Discusión de los Hallazgos:

La discusión de los resultados permite concluir que los valores estimados son lógicos, consistentes y técnicamente comparables con investigaciones similares en contextos nacionales e internacionales.

El análisis estadístico confirma que las variaciones entre días típicos y atípicos no responden al azar, sino a una dinámica estructural del municipio asociada al turismo y al tránsito intermunicipal. Esta metodología de comparación entre jornadas es consistente con lo recomendado en inventarios de emisiones vehiculares (EPA, 2022; ICCT, 2023), donde se advierte la necesidad de diferenciar entre condiciones ordinarias y extraordinarias para evitar subestimaciones.

Además, los resultados se alinean con lo reportado por el IDEAM (2021) en municipios intermedios de Cundinamarca, donde las diferencias entre días laborales y fines de semana alcanzan variaciones de hasta el 70% en el volumen de tránsito. En Villeta, los incrementos superaron el 80%, lo cual resulta lógico considerando su carácter de corredor turístico hacia el occidente del departamento.

La magnitud de las emisiones de CO_2, NOx y PM10 en Villeta es proporcional al tamaño del parque automotor registrado y a la alta participación de motocicletas y carga pesada, lo cual coincide con las tendencias descritas en estudios latinoamericanos (BID, 2023).

El incremento de emisiones en días atípicos refleja el efecto de la movilidad turística sobre la calidad del aire. Este hallazgo ya ha sido documentado en ciudades intermedias de México y Chile, donde el turismo genera picos de emisiones superiores al 70% en comparación con días laborales (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 2022).

Los valores calculados están dentro del rango esperado al aplicar factores de emisión de referencia (EPA, 2022; ICCT, 2023) y metodologías estandarizadas de inventarios de emisiones.

En conjunto, estos elementos demuestran que los resultados del presente estudio no solo son coherentes con la realidad local, sino que también están respaldados por evidencia técnica internacional, lo cual otorga mayor validez al análisis y fortalece la utilidad de los hallazgos como insumo para la toma de decisiones.

6. Conclusión y Recomendaciones

Los resultados obtenidos deben ser leídos bajo el lente del Plan Nacional de Desarrollo (2022-2026) y las metas de la Estrategia Nacional de Movilidad Sostenible, que plantea la necesidad de descarbonizar el transporte mediante incentivos a la renovación del parque automotor y electrificación del transporte público. el análisis de los aforos vehiculares realizados en cuatro corredores clave del municipio identificó una hora de máxima demanda entre las 19:30 y las 19:45, con un flujo total estimado de 195 vehículos en tan solo 15 minutos. Esta concentración representa un pico de hasta 780 vehículos por hora, revelando un momento crítico para la movilidad urbana y las emisiones contaminantes:

1. **El CO_2 es el contaminante con mayor emisión (~580 toneladas/día)**, lo que contribuye al calentamiento global.
2. **Los NOx (~6.2 toneladas/día) afectan la calidad del aire y pueden generar lluvia ácida.**
3. **El PM10 (~0.4 toneladas/día) es crítico para enfermedades respiratorias.**

Los resultados revelan una clara presión ambiental del parque automotor sobre la atmósfera de Villeta. El CO_2 se posiciona como el principal contaminante, seguido de los NOx y PM10, todos generados en su mayoría por vehículos pesados y motocicletas. Es urgente avanzar en estrategias de mitigación como la renovación vehicular, el control de emisiones mediante tecnificación de inspecciones (RTM), la promoción del transporte público

ecológico y el fortalecimiento del control del ingreso de vehículos foráneos durante temporadas de alta congestión.

Finalmente, se recomienda implementar un sistema local de monitoreo de calidad del aire, junto con campañas ciudadanas sobre movilidad sostenible. La sostenibilidad urbana de Villeta depende de la articulación entre sus autoridades ambientales, la comunidad y los actores del transporte, para reducir el impacto del parque automotor en la salud pública y el entorno natural del municipio.

Los tres estudios analizados comparten un elemento común: la contaminación vehicular no es simplemente un problema de volumen, sino de contexto técnico, político y geográfico. Ya sea por la topografía (como en el caso colombiano), por el modelo de transporte (como en Santiago), o por la obsolescencia tecnológica (como en Manizales), se evidencia que cualquier política ambiental en municipios como Villeta debe considerar múltiples variables que van desde la infraestructura vial hasta el comportamiento ciudadano y las capacidades institucionales.

Estos referentes no solo sirven de espejo comparativo, sino que brindan herramientas metodológicas aplicables al caso de Villeta, permitiendo que el análisis deje de ser meramente descriptivo para convertirse en una base crítica para la toma de decisiones.

Sugerencias para reducir contaminación:

Propuesta de Intervención Municipal frente al Impacto del Parque Automotor en Villeta. Basada en el diagnóstico de emisiones contaminantes y el Plan de Desarrollo Municipal "Con las Botas Puestas" (2024–2028)

Objetivo General: Reducir de manera progresiva las emisiones contaminantes generadas por el parque automotor en el municipio de Villeta, mediante estrategias integrales que combinen acciones técnicas, regulatorias, educativas y de monitoreo ambiental, en coherencia con las prioridades trazadas en el Plan de Desarrollo Territorial 2024–2028.

1. Gestión Inteligente del Tráfico Vehicular

En Villeta, la congestión vehicular no solo implica pérdida de tiempo o incomodidad urbana, sino un deterioro real de la calidad del aire. Con más de 31.000 vehículos registrados, donde el 62,7 % corresponde a motocicletas y un 55 % del parque es anterior a 2010, el reto no es menor.

Se propone una reestructuración de la movilidad urbana que contemple restricciones horarias para el tráfico pesado en zonas críticas como la Carrera 7 o Calle 5, especialmente entre las 18:00. y 20:00 ya que se identificó que la franja horaria de 19:30 a 19:45 concentra el mayor volumen vehicular en el municipio. Asimismo, es necesario definir rutas alternas para el tráfico intermunicipal que alivien la presión urbana, especialmente en temporadas turísticas. Esta intervención encuentra respaldo en el eje estratégico "Modernización y conectividad vial" del Plan de Desarrollo, que establece como prioridad la adecuación de las vías urbanas y rurales con criterios de sostenibilidad (Alcaldía de Villeta, 2024, p. 98).

2. Renovación del Parque Automotor Local

Enfrentar las fuentes móviles contaminantes requiere no solo medidas restrictivas, sino también una mirada estructural a la obsolescencia tecnológica del parque vehicular. Actualmente, se estima que las emisiones diarias alcanzan aproximadamente 580 toneladas de CO_2, 6.2 toneladas de NOx y 0.4 toneladas de PM10, cifras alarmantes para un municipio intermedio.

La propuesta consiste en implementar un programa de incentivos tributarios para quienes renueven vehículos contaminantes, promover créditos verdes con el apoyo del Ministerio de Transporte y realizar brigadas semestrales gratuitas o subsidiadas de revisión técnico-mecánica. Esta acción se alinea con el eje "Economía productiva y sostenible", que busca estimular inversiones responsables con el medio ambiente (Alcaldía de Villeta, 2024, p. 121), y con el eje "Villeta ambiental", enfocado en el desarrollo con respeto al entorno ecológico.

3. Sistema Local de Monitoreo y Alerta Ambiental

Uno de los mayores vacíos actuales es la ausencia de datos ambientales en tiempo real, lo que impide actuar de manera oportuna ante niveles críticos de contaminación. Por ello, se plantea la instalación de al menos tres estaciones de monitoreo atmosférico en puntos estratégicos: la entrada por La Vega, el centro urbano y la salida hacia Guaduas, Estas estaciones deberán ser calibradas para captar variaciones horarias significativas, como las registradas entre las 19:30 y las 19:45, periodo de mayor tránsito vehicular. Incorporar esta franja crítica en los algoritmos de alerta mejorará la capacidad de respuesta ante episodios de contaminación.

Estas estaciones deberán estar articuladas a una plataforma digital de acceso público, que también ofrezca una aplicación móvil para alertas preventivas, especialmente dirigidas a población sensible (niños, personas mayores y enfermos respiratorios). Esta acción responde al eje “Gobierno digital, transparente y eficaz”, que promueve el uso de tecnología para mejorar la gestión pública (Alcaldía de Villeta, 2024, p. 73).

4. Educación y Cultura Ciudadana en Movilidad Sostenible

Transformar el comportamiento ciudadano frente a la movilidad es una tarea de mediano plazo que comienza por la concienciación. Muchas personas en Villeta aún no asocian el uso cotidiano de motos y vehículos con el deterioro de la calidad del aire o con enfermedades respiratorias.

Se propone una campaña anual denominada “Muévete sin humo, respira mejor”, con presencia en colegios, ferias municipales y el sector comercial. Además, se fomentará el uso de motocicletas eléctricas a través de convenios con concesionarios locales y líneas de financiamiento, así como la realización de una Semana de la Movilidad Sostenible. Estas acciones se conectan directamente con el eje “Villeta con bienestar social” y el eje “Participación ciudadana” del Plan de Desarrollo, que promueven una ciudadanía informada, activa y comprometida con el bienestar colectivo (Alcaldía de Villeta, 2024, pp. 107–110).

5. Plan de Control del Ingreso Vehicular Foráneo

Durante los fines de semana y temporadas altas, el flujo de vehículos desde Bogotá y otras zonas se duplica, generando colapsos temporales, altos niveles de contaminación y saturación vial. La propuesta contempla establecer medidas como el pico y placa turístico, cobros de peaje ambiental para vehículos sin control técnico vigente y la promoción del transporte colectivo desde la capital.

Este componente se articula con los ejes “Villeta turística e incluyente” y “Ordenamiento territorial sostenible”, que reconocen la necesidad de equilibrar el desarrollo económico con la protección del entorno natural y urbano (Alcaldía de Villeta, 2024, pp. 134–140).

Tabla 4 Indicadores Propuestos

Indicador	Meta 2026	Fuente Responsable
Reducción de CO_2 por fuentes móviles	-10 % respecto a línea base 2024	Inventario local
% de vehículos con RTM vigente	90 %	Secretaría de Tránsito
Estaciones de monitoreo instaladas	3	Secretaría de Ambiente
Beneficiarios del programa de renovación vehicular	250	Secretaría de Hacienda
Eventos anuales de cultura ciudadana en movilidad	5	Secretaría de Educación

Esta propuesta de intervención busca traducir el diagnóstico ambiental en una hoja de ruta concreta, viable y coherente con la realidad institucional del municipio. Su fuerza radica en su alineación con el Plan de Desarrollo Territorial “Villeta con las Botas Puestas”, el cual ha manifestado su compromiso con una ciudad ambientalmente responsable, saludable y moderna.

Fortalecer la movilidad sostenible en Villeta no es solo un asunto técnico, sino una apuesta ética por la vida, el paisaje y el bienestar colectivo. La adopción de estas estrategias representa un paso decisivo hacia un modelo de desarrollo que armonice la dinámica económica con la conservación del medio ambiente.

Esta propuesta no es solo una apuesta técnica, es una oportunidad real para que los habitantes de Villeta respiren un aire más limpio y vivan con mayor bienestar. En cada calle y en cada barrio del municipio, los efectos del parque automotor ya se sienten: niños que sufren de alergias constantes, adultos mayores que se fatigan con facilidad, familias que deben acudir con frecuencia a centros de salud por enfermedades respiratorias. Estos no son datos fríos, son historias cotidianas que reflejan cómo el aire contaminado afecta directamente la salud de quienes más queremos.

Al reducir poco a poco las emisiones de gases como el CO_2, los NOx y el material particulado (PM10), estaremos dando un respiro al municipio. Menos enfermedades significa más tiempo para disfrutar en familia, más niños en clase, menos colapsos en centros de salud y, sobre todo, una mejor calidad de vida. Promover una movilidad más limpia también implica educar en el cuidado del otro, en entender que nuestras decisiones como el tipo de transporte que usamos pueden hacer la diferencia.

Esta propuesta se alinea con el espíritu del Plan de Desarrollo “Villeta con las Botas Puestas” (Alcaldía de Villeta, 2024), que pone al ser humano en el centro. Porque cuidar el aire que respiramos es también cuidar el futuro de Villeta: un futuro más sano, más consciente y más justo para todos y todas.

7. Referencias Bibliográficas.

(OMS), O. M. (2018). Contaminación del aire y salud. Obtenido de https://www.who.int

AiE. (2021). *Agencia Internacional de Energía* . Obtenido de CO_2 Emissions from Fuel Combustion Highlights.: https://www.iea.org/reports/global-energy-review-co2-emissions-in-2021-2

Air pollution and climate change in Asian megacities: Scope, challenges, and management. (2020). *Atmospheric Environment*, *44*(4), 663–676.

Obtenido de https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution

Bank., W. (2022). *Sustainable Mobility and Regional Development Report.* Obtenido de https://www.worldbank.org/en/topic/transport/publication/mobility-and-development

Bogotá., S. d. (2023). *Informe de calidad del aire en Bogotá.* Obtenido de https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/reporte-de-calidad-del-aire-en-bogota-sec-ambiente-15-de-agosto-2023

Obtenido de https://www.iea.org/reports/global-energy-review-co2-emissions-in-2021-2

Cohen, A. J. (2017). *Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: An analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015.* Obtenido de The Lancet, 389(10082), 1907-1918.

Obtenido de https://www.theicct.org

Contaminación del aire en Bogotá: Análisis de emisiones vehiculares y su impacto en la salud pública. (2023). *Revista de Salud Pública*, *45*(3), 245–256.

DANE. (2023). *Proyecciones de población de Colombia.* Obtenido de https://www.dane.gov.co

Desafíos de la implementación de políticas de transporte sostenible en Colombia. (2020). *Revista de Desarrollo Sostenible*, *18*(2), 122–137.

Diseño de investigación: Enfoques cualitativo, cuantitativo y mixto (3.ª ed.). (2018). *Pearson Educación*.

Eficacia de las restricciones vehiculares en la reducción de emisiones contaminantes en Bogotá. (2020). *Revista de Política y Gestión Ambiental*, *7*(2), 150–167.

El impacto ambiental del parque automotor en Colombia: retos y oportunidades. (2021). *Revista Colombiana de Ciencias Ambientales*, *22*(1), 49–60.

Electric vehicles and energy efficiency in European transportation policies. (2018). *Energy Policy*, *113*, 585–593.

Emisiones de vehículos diésel y su impacto en la calidad del aire. (2017). *Revista de Ingeniería Ambiental*, *19*(2), 101–115.

EPA. (2022). *Fuentes y composición de las emisiones vehiculares.* . Obtenido de https://www.epa.gov

Obtenido de https://www.runt.gov.co/sites/default/files/Bolet%C3%ADn%20de%20Prensa%20001%20de%202024.pdf

Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: An analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. (2017). *The Lancet*, *389*(10082), 1907–1918.

(2022). *Estudios sobre contaminación y hospitalización infantil en municipios intermedios.*

Evaluación de las políticas de movilidad sostenible en Medellín. (2022). *Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos*, *19*(1), 83–97.

Evaluación del impacto de las emisiones vehiculares en la calidad del aire de Villeta, Colombia. (2022). *Revista de Ciencias Ambientales*, *35*(2), 315–330.

Faria, R. B. (2018). *Electric vehicles and energy efficiency in European transportation policies.* Obtenido de Energy Policy, 113, 585-593.

Fuentes de contaminación atmosférica en Medellín y su impacto en la calidad del aire. (2021). *Boletín de la Sociedad Colombiana de Ciencias Ambientales*, *29*(4), 567–579.

Obtenido de https://www.epa.gov

Gallego, A. &. (2022). *Evaluación de las políticas de movilidad sostenible en Medellín.* Obtenido de Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos, 19(1), 83-97.

Gómez, J. &. (2023). *Contaminación del aire en Bogotá: Análisis de emisiones vehiculares y su impacto en la salud pública.* . Obtenido de Revista de Salud Pública, 45(3), 245-256.

ICCT. (2023). *Consejo Internacional de Transporte Limpio* . Obtenido de Comparación de emisiones entre vehículos diésel y de gasolina.: https://www.theicct.org

IDEAM. (2021). *Informe Nacional de Calidad del Aire.* . Obtenido de https://www.ideam.gov.co

Impacto de las emisiones vehiculares en la salud pública de ciudades latinoamericanas. (2019). *Salud Pública de México, 61*(3), 258–266.

Obtenido de https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/reporte-de-calidad-del-aire-en-bogota-sec-ambiente-15-de-agosto-2023

(2020). *Informe sobre emisiones del transporte en Colombia.* Obtenido de https://www.who.int

Initiatives., N. Y. (2022). *New York State Department of Environmental Conservation.* Obtenido de https://dec.ny.gov/sites/default/files/2023-12/decaccomplish2022.pdf

IPCC. (2021). *Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático*. Obtenido de Informe sobre Cambio Climático: Contribuciones sectoriales a las emisiones de GEI.: https://www.ipcc.ch

Martínez, C. H. (2020). *Eficacia de las restricciones vehiculares en la reducción de emisiones contaminantes en Bogotá.* Obtenido de Revista de Política y Gestión Ambiental, 7(2), 150-167.

Obtenido de https://dec.ny.gov/sites/default/files/2023-12/decaccomplish2022.pdf

Noreña, H. L. (2019). *Impacto de las emisiones vehiculares en la salud pública de ciudades latinoamericanas.* Obtenido de Salud Pública de México, 61(3), 258-266.

Ojeda, S. &. (2021). *El impacto ambiental del parque automotor en Colombia: retos y oportunidades.* . Obtenido de Revista Colombiana de Ciencias Ambientales, 22(1), 49-60.

OMS. (2021). *Organización Mundial de la Salud, Informe sobre la contaminación del aire y sus fuentes.* . Obtenido de https://www.who.int

OMS. (2022). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Air Quality Guidelines: Global Update: https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution

Parra, R. &. (2017). *Emisiones de vehículos diésel y su impacto en la calidad del aire.* Obtenido de Revista de Ingeniería Ambiental, 19(2), 101-115.

Piedrahita, R. M. (2021). *Fuentes de contaminación atmosférica en Medellín y su impacto en la calidad del aire.* Obtenido de Boletín de la Sociedad Colombiana de Ciencias Ambientales, 29(4), 567-579.

(2024). *Plan de Desarrollo Territorial: Villeta con las Botas Puestas 2024–2028.*

Obtenido de https://www.dane.gov.co

Rodríguez, P. G. (2022). *Evaluación del impacto de las emisiones vehiculares en la calidad del aire de Villeta, Colombia.* . Obtenido de Revista de Ciencias Ambientales, 35(2), 315-330.

Runt. (Agosto de 2024). *Informe del parque automotor en Colombia*. Obtenido de https://www.runt.com.co

RUNT. (2024). *Registro Único Nacional de Tránsito*. Obtenido de Estadísticas del parque automotor en Colombia. : https://www.runt.gov.co/sites/default/files/Bolet%C3%ADn%20de%20Prensa%20001%20de%202024.pdf

Schwela, D. H.-J. (2020). *Air pollution and climate change in Asian megacities: Scope, challenges, and management.* Obtenido de Atmospheric Environment, 44(4), 663-676.

Sims, R. S.-N. (2014). *Transport. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* . Obtenido de Cambridge University Press.

Obtenido de https://www.worldbank.org/en/topic/transport/publication/mobility-and-development

TFL. (2021). *Transport for London*. Obtenido de Low Emission Zone. : https://tfl.gov.uk/modes/driving/low-emission-zone

Transport. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*.

Unidas, N. (2023). *Declaraciones de Antonio Guterres en la COP28.* Obtenido de https://www.un.org

Unidas, N. (2023). *Resultados de la COP28 y compromisos sobre combustibles fósiles.* Obtenido de https://www.un.org

Vásquez, L. &. (2020). *Retos en la implementación de vehículos eléctricos en Colombia.* Obtenido de Estudios de Economía y Transporte Sostenible, 14(3), 234-248.

8. ANEXOS

8.1.Aforo-Vehicular. xlsx
8.2.Parque Automotor Villeta. Xlsx