



# Informe - Fortalecimiento de la Estimación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el Sector Transporte de Bogotá

Actividad 2.1.5 Proyecto AVANTIA

## **Oficina Asesora de Planeación**

Estudios Ambientales

Mayo 2026

### **Claudia Milena Gordillo Rodriguez**

Jefe de Oficina Asesora de Planeación

### **Mariana Unda Venegas**

Asesora de la Oficina Asesora de Planeación

Equipo Técnico

### **Rodrigo Gonzalez**

Líder Equipo de Modelamiento Ambiental

Oficina Asesora de Planeación

### **Jose Fabian Cruz**

Líder Estudios Ambientales

Oficina Asesora de Planeación

# Contenido

<b>1. Resumen ejecutivo</b>	<b>4</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>6</b>
<b>3. Objetivo de la consultoría</b>	<b>7</b>
<b>4. Alcance y enfoque metodológico</b>	<b>8</b>
Etapa 1 - Diagnóstico y diseño metodológico	8
Etapa 2 - Prueba piloto	9
Etapa 3 - Metodología final y herramientas	9
<b>5. Principales resultados</b>	<b>12</b>
5.1. Diagnóstico	12
5.2. Metodología propuesta	13
5.3. Resultados del piloto	21
5.4. Guía técnica	22
5.5. Análisis prospectivo	24
5.6. Recomendaciones	25
<b>6. Aportes a la Política de Acción Climática de Bogotá</b>	<b>26</b>
<b>7. Conclusiones</b>	<b>27</b>
<b>8. Referencias</b>	<b>27</b>

## 1. Resumen ejecutivo

En el marco del Proyecto AVANTIA, iniciativa de cooperación internacional cofinanciada por la Unión Europea, la Secretaría Distrital de Ambiente desarrolló la actividad 2.1.5 *Desarrollar e implementar un sistema de recolección de datos basado en información local para el uso de la flota, el consumo de combustible y las participaciones modales para apoyar la mejora del inventario de emisiones de la Ciudad y el sistema de Monitoreo, Evaluación y Reporte (MER) de las acciones de mitigación dentro del Plan de Acción Climática de Bogotá* (hoy Política Pública de Acción Climática - CONPES D.C. 31 de 2023). La cooperación con la Unión Europea a través del Proyecto AVANTIA facilitó la modernización y adopción de estándares internacionales para el monitoreo y estimación de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) al catalizar recursos financieros para la intervención del Consorcio Huella en Movimiento como consultoría diseñada para solventar vacíos técnicos históricos en la cuantificación de emisiones del sector transporte, el cual representa una de las mayores fuentes de emisiones de GEI y el sector con un mayor potencial de mitigación del cambio climático en la capital.

El objetivo central de la consultoría fue diseñar una metodología para estimar el consumo y rendimiento de energéticos y las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector transporte. Como resultado de la consultoría y la asistencia técnica por parte de los equipos de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual y del equipo de Estudios Ambientales de la Oficina Asesora de Planeación, se fortaleció la capacidad instalada para proyectar estrategias de mitigación del cambio climático asociadas al transporte, así como el fortalecimiento del trabajo colaborativo y sinérgico en relación con contaminantes atmosféricos y su relación con gases de efecto invernadero.

Este marco institucional vincula la disponibilidad de fondos de cooperación con la aplicación de un mayor rigor técnico, permitiendo que la ciudad no solo reporte datos, sino que gestione activamente su trayectoria de descarbonización.



## 2. Introducción

A través de la canalización de recursos provenientes de la Unión Europea y el proyecto de cooperación AVANTIA, se gestó un proceso de contratación de consultoría con el objetivo de diseñar una metodología para estimar el consumo y rendimiento de energéticos y las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector transporte de Bogotá. Esto con el fin de mejorar la caracterización del sector transporte carretero, que para el año 2022 representó el 40,8% de las emisiones de gases efecto invernadero de la ciudad (SDA, 2025).

El proceso de contratación se adelantó mediante la figura de concurso de méritos, amparado bajo las Leyes 80 de 1993 y 1150 de 2007, y con recursos de cooperación internacional de la Unión Europea, a través del proyecto "Avanzando hacia la recuperación: El sistema de transporte de Bogotá como catalizador de la sostenibilidad ambiental y la igualdad de género en la era pos COVID19" en adelante (MoToREC / AVANTIA).

La consultoría se desarrolló durante los meses de octubre de 2025 a marzo de 2026, en los cuales se surtieron las etapas de estudio documental, realizando un diagnóstico de información disponible y una propuesta inicial para la metodología de estimación de consumos de combustibles y rendimiento del sector transporte carretero; diseño de metodología y pilotaje inicial con un set de datos representativos y con oportunidad de escalar; resultados del piloto y análisis de fortalezas y limitaciones de la metodología propuesta; y documento explicativo, guías y manuales con la metodología final ajustada para el escalamiento a nivel distrital.

Durante el desarrollo de la consultoría, equipos de trabajo de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual, y de Estudios Ambientales de la Oficina Asesora de Planeación de la Secretaría Distrital de Ambiente, mantuvieron comunicación constante con el equipo consultor para asegurar la calidad del ejercicio desarrollado, así como para revisar, retroalimentar y validar cada uno de los productos comprometidos en los términos y condiciones fijados para la contratación de la consultoría.

Como resultado de esto, se asegura que los productos entregados y que la capacidad instalada en la Secretaría Distrital de Ambiente responden efectivamente a las necesidades identificadas en materia de las acciones de mitigación del cambio climático, y de los objetivos generales y específicos

planteados en un comienzo para el proceso de cooperación internacional en el marco del proyecto AVANTIA.

### 3. Objetivo de la consultoría

La actividad 2.1.5. del proyecto AVANTIA plantea como objetivo el desarrollar e implementar un sistema de recolección de datos basado en información local para el uso de la flota, el consumo de combustible y las participaciones modales para apoyar la mejora del inventario de emisiones de la Ciudad y el sistema de Monitoreo, Evaluación y Reporte (MER) de las acciones de mitigación dentro del Plan de Acción Climática de Bogotá (hoy Política Pública de Acción Climática - CONPES D.C. 31 de 2023).

Con base en eso, se definió como objeto contractual de la consultoría *Diseñar la metodología para estimar el consumo y rendimiento de energéticos y las emisiones de gases efecto invernadero en el sector transporte*. Para la consecución de este objetivo se plantearon las siguientes etapas de desarrollo, con los siguientes resultados esperados:

- Diseñar una propuesta metodológica para la estimación del consumo de combustibles en el sector transporte de Bogotá, a partir de un diagnóstico técnico, que integre la información disponible de estimación de emisiones, las necesidades identificadas, los aportes institucionales y técnicos relevantes, considerando la realización de un piloto para su validación.
- Evaluar la propuesta metodológica de recolección de información del sector transporte en Bogotá, mediante una prueba Piloto que permita validar y fortalecer la metodología propuesta para la estimación del consumo de combustibles y las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Adaptar la propuesta metodológica de estimación del consumo de combustibles en el sector transporte de Bogotá, fundamentada en el análisis de las líneas metodológicas existentes y en los resultados de la prueba piloto de la metodología inicial propuesta, asistida por una guía técnica escalable sobre mediciones a nivel distrital y un análisis prospectivo sobre cambio modal.

#### 4. Alcance y enfoque metodológico

El desarrollo de la consultoría plantea una transición fundamental: pasar de la metodología actual utilizada por la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) para la estimación de emisiones GEI del sector de transporte carretero, que es de nivel básico y enfoque *top-down* (basada principalmente en las ventas totales de combustibles reportadas, o "Tier 1"), hacia un enfoque *bottom-up* mucho más detallado o "Tier 2", basado en información procesada de kilómetros recorridos, y eficiencia en el consumo de combustibles y energéticos por modos de transporte. Este nuevo modelo exige un primer proceso de revisión y desglose de información disponible por tipología vehicular (vehículos livianos, taxis, carga, transporte de pasajeros SITP, motocicletas, etc.) y por tipo de energético (gasolina, diésel, GNV, electricidad, etc.), asociada a la eficiencia en el consumo de combustibles y energéticos. La consultoría aborda la mejora del inventario de GEI del sector transporte mediante la construcción de un ecosistema de datos integrado, pasando de estimaciones globales a cálculos detallados por vehículo, sustentados en validaciones estadísticas robustas. Para llegar a esto, y de conformidad con los objetivos planteados, se establece el desarrollo de tres etapas, como sigue:

##### **Etapas 1 - Diagnóstico y diseño metodológico**

Como primer punto, se realizó un diagnóstico técnico detallado con el fin de evaluar la metodología actual utilizada por parte de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) para la estimación de emisiones GEI del sector transporte, así como la disponibilidad y alcance de la información base utilizada y disponible para la estimación de emisiones.

A partir de esto, se estableció que el sistema actual cuenta con fortalezas como fundamentarse en información estandarizada y actualizada mensualmente sobre las ventas de combustibles fósiles (gasolina, diésel y GNV) a través del Sistema de Información de Combustibles (SICOM), y utilizar factores de emisión nacionales (nivel Tier 2) para el CO<sub>2</sub>, publicados por la UPME, los cuales constituyen la mejor información disponible a nivel nacional.

Así mismo, se identificaron oportunidades de mejora de la metodología utilizada actualmente, que se concentran en subsanar la limitación al momento de vincular el consumo energético con tipologías vehiculares específicas, tecnologías o patrones de flujo espacial, distancias promedio recorridas

anualmente, y el rendimiento energético para cada tipo de vehículo. Esta falta de detalle impide que el inventario se utilice eficientemente para formular, hacer seguimiento y evaluar el impacto real de las políticas de mitigación de GEI y cambio modal.

## Etapa 2 - Prueba piloto

A partir del diagnóstico se concluye que el mayor potencial de fortalecimiento está en mejorar los datos de actividad mediante la desagregación del consumo por tipología y tecnología vehicular. Para lograrlo, establece la siguiente hoja de ruta integrando nuevas fuentes:

- **Caracterización del parque automotor:** Integrar los Registros Distritales Automotores (RDA) y el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) para clasificar los vehículos por tipología.
- **Distancias y rendimientos:** Aprovechar las bases de datos de los Centros de Diagnóstico Automotor (CDA) recolectadas durante la revisión técnico-mecánica para estimar la distancia promedio que recorren los vehículos al año y su rendimiento.
- **Módulo especial para el SITP:** Articularse con TransMilenio S.A. para acceder a la información operativa exacta del Sistema Integrado de Transporte Público, tratándolo como una subcategoría diferenciada.
- **Uso del SICOM como control:** Utilizar la información del SICOM exclusivamente, descartando fuentes redundantes como el SUI, para realizar un control de calidad macro comparando el consumo calculado desde abajo (bottom-up) con las ventas totales de la ciudad.

Esta propuesta incluye, además del planteamiento del nuevo modelo para el procesamiento y análisis de la información relevante, el **diseño y ejecución de una prueba piloto** para validar la disponibilidad y calidad de los datos reales, evaluando la viabilidad operativa de la recolección, el tratamiento y el análisis de la información antes de su implementación definitiva.

## Etapa 3 - Metodología final y herramientas

La metodología se fundamenta en las directrices internacionales del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y del Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria (GHG-GPC), buscando elevar el nivel de certidumbre hacia métodos avanzados (Tier 2) con datos locales y fuertes componentes de

aseguramiento de calidad (QA/QC). Para lograrlo, la aproximación se divide en el procesamiento y cruce sistemático de múltiples fuentes de información. Así, en lugar de depender de una sola base de datos, la metodología articula distintas fuentes con propósitos específicos:

- **CDA (Centros de Diagnóstico Automotor):** Constituyen la fuente primaria para estimar la distancia promedio recorrida anualmente (kilometraje), la edad del vehículo y los rendimientos energéticos. Para el piloto, se definió una muestra representativa de CDA clasificados por capacidad técnica (vehículos livianos, pesados o motos).
- **RDA (Registro Distrital Automotor) y RUNT:** Se emplean para determinar el censo y caracterización del parque automotor (número de vehículos por tipología, antigüedad y estándar de emisiones). El RUNT funciona como herramienta de contraste estructural frente al RDA.
- **SITP / Transmilenio:** Se integran como un submodelo especializado que provee datos exactos de flota, kilómetros y consumo real para el transporte pesado de pasajeros.
- **SICOM (Sistema de Información de Combustibles):** Aporta las ventas agregadas de combustible a nivel distrital. En la nueva metodología, funciona como un control de calidad macro donde los consumos calculados desde abajo (*bottom-up*) se contrastan con las ventas del SICOM (*top-down*) para generar factores de ajuste que corrijan sobreestimaciones o subestimaciones.

Para garantizar la trazabilidad y la reproducibilidad, la metodología operativa establece una rigurosa "línea de producción" de datos:

**Alistamiento y homogenización:** Los datos extraídos (especialmente de los múltiples CDA) pasan por una limpieza estructural y se codifican utilizando las tablas paramétricas oficiales del RUNT (clase, servicio y combustible).

**Depuración:** Se aplican filtros de calidad, excluyendo vehículos no carreteros (ej. maquinaria), eliminando registros con kilometrajes nulos o inconsistentes, y controlando valores atípicos.

**Cálculos y variables derivadas:** A partir de los datos limpios, se calculan matemáticamente las edades vehiculares, los promedios estadísticos de distancia recorrida por categoría y, finalmente, las emisiones generadas multiplicando la actividad por los factores de emisión correspondientes.

Para garantizar la continuidad en la aplicación de la metodología planteada, se desarrollan y socializan una serie de herramientas que facilitan la replicación de los esquemas de integración de información, el tratamiento y la producción de datos que serán base para la estimación de las emisiones GEI del sector transporte.



## 5. Principales resultados

Como resultado de la ejecución del contrato de consultoría, se obtuvieron los siguientes resultados específicos en relación con la mejora metodológica para la estimación de emisiones GEI para el sector transporte carretero.

### 5.1. Diagnóstico

Como resultado del diagnóstico establecido, tanto en relación con la disponibilidad de información como con las estrategias metodológicas actuales para la estimación de las emisiones del sector, se obtuvieron los siguientes resultados.

#### Fortalezas del sistema actual

- El sistema cuenta con información estandarizada y actualizada mensualmente sobre las ventas de combustibles fósiles (gasolina, diésel y GNV) a través del Sistema de Información de Combustibles (SICOM). Esto proporciona un insumo robusto a nivel macro para el inventario de la ciudad.
- La metodología actual utiliza factores de emisión nacionales (nivel Tier 2) para el CO<sub>2</sub>, publicados por la UPME, los cuales constituyen la mejor información disponible a nivel nacional.

#### Debilidades y limitaciones identificadas

- La principal debilidad del sistema actual (basado en un enfoque macro o top-down) es que **no permite vincular el consumo energético con tipologías vehiculares específicas**, tecnologías o patrones de flujo espacial.
- Al depender de las ventas totales, la metodología no permite estimar de manera directa las distancias promedio recorridas anualmente ni el rendimiento energético para cada tipo de vehículo.
- Esta falta de detalle impide que el inventario se utilice eficientemente para formular, hacer seguimiento y evaluar el impacto real de las políticas de mitigación de GEI y cambio modal.

En ese sentido, como resultado del diagnóstico se concluye que el principal margen de mejora en cuanto a la metodología para la estimación de emisiones

GEI del sector transporte carretero **no radica en actualizar los factores de emisión.**

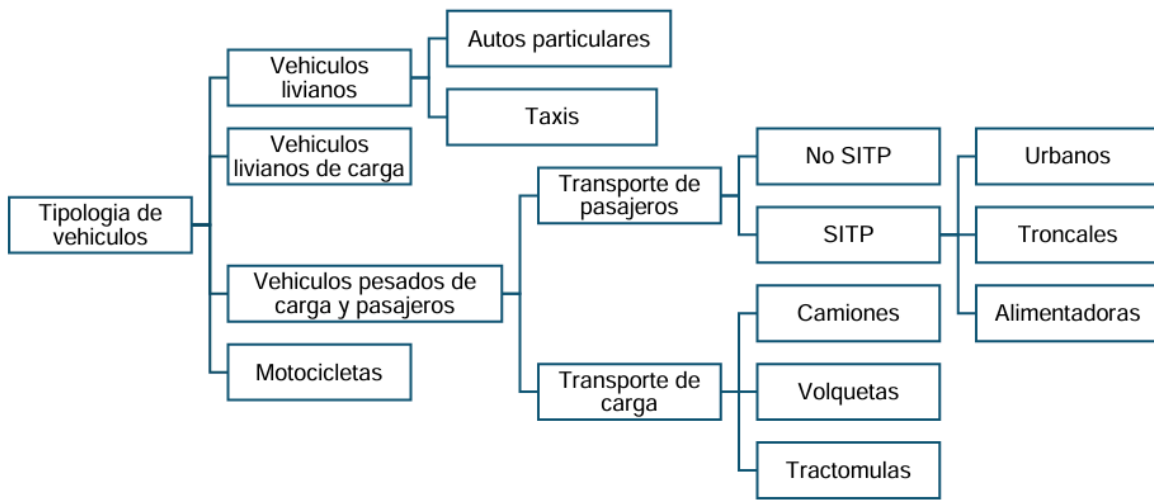
## 5.2. Metodología propuesta

La transición de un inventario Tier 2 basado en información agregada, a un potencial Tier 3 con información específica y desagregada representa un avance técnico necesario para Bogotá. Mientras que el enfoque anterior dependía de información sobre la venta agregada de combustibles, el cálculo basado en KRV permite capturar la actividad real, diferenciando entre flotas modernas y obsoletas, discriminando entre modos de transporte privado de pasajeros, de carga, público, motocicletas, entre otros. Un hallazgo particular del proceso de diagnóstico de la información fue la necesidad de ajustar la categorización del SITP; dado que la metodología anterior no lograba identificar servicios "complementarios y especiales" dentro de las bases oficiales, lo que genera sesgos. El nuevo enfoque resuelve esto mediante la integración de bases de datos con detalles relacionados con la operación del SITP y Transmilenio.

La metodología se estructura como un sistema integrado de estimación que combina cuatro funciones:

1. Caracterizar el parque vehicular, mediante la desagregación de acuerdo con la Figura 1.
2. Estimar la actividad mediante kilómetros recorridos por vehículo por categoría vehicular.
3. Determinar rendimientos energéticos y consumos de energía por categoría.
4. Convertir esos consumos a emisiones de GEI con factores de emisión y conversiones energéticas consistentes.

*Figura 1: Desagregación de la tipología de vehículos para la estimación de distancia recorrida promedio y rendimientos energéticos*



Fuente: Consorcio Huella en Movimiento, 2025

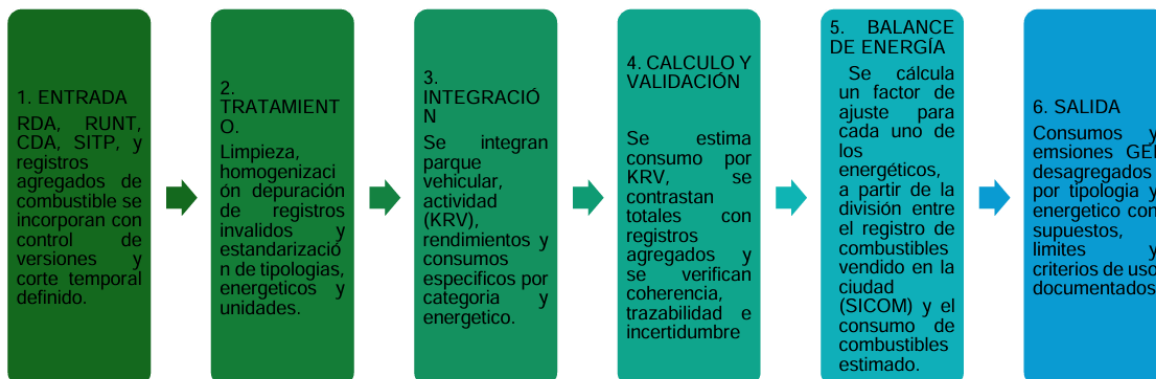
Cada fuente aporta una parte del modelo y la integración se realiza solo después de completar controles de calidad y homologación.

El núcleo metodológico se resume así:

- El RDA y el RUNT definen el universo del número de vehículos y la clasificación del parque automotor.
- Los CDA proveen evidencia empírica para estimar kilómetros recorridos por vehículo (KRV) por tipología y energético.
- El SITP constituye un submódulo de alta robustez para el transporte pesado de pasajeros; y los registros agregados de combustibles se utilizan como contraste para evaluar la plausibilidad de los consumos estimados.

Este diseño permite reducir la dependencia de un único registro y aumenta la robustez frente a vacíos de información parciales. La ruta de la información se resume en la siguiente figura.

Figura 2: Flujo general de la metodología propuesta



Fuente: Consorcio Huella en Movimiento, 2025

En este marco metodológico el consumo ya no entra como un dato dado, que después se distribuye entre categorías, sino que se calcula desde el sistema mismo: cuántos vehículos hay, cuánto se mueven y qué tan eficientes son. Este enfoque permite representar con mayor precisión el comportamiento real de la movilidad urbana.

La evaluación de fuentes debe priorizar el uso combinado de información local y evitar depender de supuestos uniformes para toda la flota. También confirma que la mayor brecha del sistema actual no es la ausencia total de datos, sino la falta de estandarización e integración entre registros con propósitos distintos. En la metodología conviene distinguir entre variables de actualización anual y parámetros metodológicos relativamente estables. Las variables de actualización anual son aquellas que describen el estado real del sistema de movilidad en el año de reporte y, por tanto, deben recalcular o validarse periódicamente. En contraste, otras variables deben tratarse como parámetros metodológicos fijos o variables, que solo se actualizan cuando cambie la fuente oficial, la normativa aplicable o se adopte una revisión formal de la metodología.

Esta distinción permite separar con claridad qué parte del inventario depende de la dinámica anual del parque y la operación, y qué parte corresponde a supuestos técnicos de referencia necesarios para mantener comparabilidad y trazabilidad entre periodos. La distinción en la periodicidad de actualización de las variables se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 1. Datos a revisar anualmente en la metodología de cálculo de emisiones

Componente metodológico	Variable	¿Revisión anual?	¿Dato o supuesto fijo?	Justificación metodológica	Fuente principal sugerida
Parque vehicular	Número de vehículos por tipología y energético	Si	No	Es una variable explícita de la Ecuación de Consumo de combustible <sup>1</sup> y cambia entre años.	RDA como fuente principal; RUNT para contraste de rápida aproximación
Actividad vehicular	Kilómetros recorridos por vehículo en promedio anual (KRV)	Si	No	Es una de las variables centrales de la Ecuación de Consumo de combustible, y en CDA se calcula filtrando al año de análisis; por tanto, no debería tratarse como constante estructural.	CDA; SITP para buses del sistema
Actividad vehicular SITP	Distancias recorridas anuales por tipo de servicio y energético	Si	No	En SITP el piloto reporta distancias anuales por año y por servicio.	SITP
Consumo energético	Consumo de combustible por tipología y energético	Si	No	Es el resultado directo de la Ecuación de Consumo de combustible y la base de cálculo de la Ecuación de estimaciones de GEI <sup>2</sup> ; por definición debe estimarse para cada año del inventario.	Resultado integrado CDA, RDA y SITP
Consumo energético SITP	Consumo anual observado por tipo de servicio y energético	Si	No	En SITP el consumo sí se observa directamente y cambia por año; en 2024.	SITP
Rendimiento energético	Rendimiento por tipología y energético	Si, idealmente	Puede mantenerse temporalmente si no hay dato nuevo	La metodología lo usa como insumo explícito de la Ecuación de Consumo de combustible señala que se tomó de FECOC/FECOC+, salvo SITP, donde se calcula localmente. Por tanto, para tipologías generales puede mantenerse como parámetro de referencia hasta nueva actualización, pero metodológicamente conviene revisarlo cuando haya evidencia local nueva.	FECOC FECOC+ SITP
Rendimiento energético SITP	Rendimientos locales por troncal, alimentador y urbano	Si	No	En el piloto se resalta que SITP permite calcular rendimientos locales a partir de consumo y distancia, y que estos deben leerse por periodo.	SITP
Factores de emisión	Factores de emisión por combustible y por GEI (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O)	No en sentido operativo anual	Si	La Ecuación de estimaciones de GEI usa factores de emisión por GEI y combustible, se obtuvieron de FECOC y FECOC+, es decir, operan como parámetros de referencia y no como dato anual	FECOC FECOC+

<sup>1</sup> Describe el procedimiento matemático para estimar los consumos de combustible a partir de la estimación del número de vehículos, de las distancias recorridas promedio por tipología vehicular y los rendimientos energéticos desagregado por tipología vehicular y tipo de energético.

<sup>2</sup> Describe la estimación de emisiones de GEI a partir del consumo energético y los factores de emisión por tipo de combustible para cada GEI

Componente metodológico	Variable	¿Revisión anual?	¿Dato o supuesto fijo?	Justificación metodológica	Fuente principal sugerida
				observado del parque. Solo deberían cambiar cuando la fuente oficial se actualice.	
Factor de emisión de electricidad	Factor del SIN para movilidad eléctrica	Si, el factor de emisión del Sistema Interconectado Nacional (SIN) se actualiza actualmente	Si, condicionado	Se reporta explícitamente como factor de referencia de la red eléctrica. No se deriva del parque, sino de una fuente energética nacional.	UPME factor oficial del SIN
Conversión energética	Factores de conversión de unidades físicas a unidades energéticas	No	Si	Esto se fundamenta como parámetro técnico de conversión, no como variable anual del parque.	Tabla de conversión metodológica BECO
Tipología vehicular	Clasificación de tipologías	No anual, salvo cambio metodológico	Si	La desagregación por tipología se define, debe ajustarse y luego mantenerse como estructura de cálculo. No debería cambiar año a año salvo revisión metodológica formal.	Regla metodológica del inventario
Clasificación de energéticos	Equivalencias y armonización de combustibles	No anual, salvo aparición de nuevas categorías o cambios en fuentes	Si	La desagregación por energético se conserva y en RDA se armonizan categorías de combustibles con el alcance del inventario. Esto es una regla de homologación estable.	Regla metodológica de homologación
Criterio estadístico de CDA	Uso de media, mediana, percentiles, P75 y cortes por edad	No anual	Si	Es una decisión metodológica de tratamiento de datos para estabilizar la estimación del KRV ante asimetría y atípicos. Puede mantenerse fija mientras no se cambie la estrategia de depuración.	Regla metodológica del procesamiento CDA
Supuesto de universo válido	Uso de vehículos activos del año de reporte	Si	No	En RDA se seleccionan vehículos activos durante el año; por eso este filtro debe repetirse anualmente.	RDA
Supuesto de validación estructural	Contraste RDA y RUNT	Si	No	El RUNT es un marco estructural y de validación; no es el dato principal de actividad, pero conviene revisar cada año la consistencia del parque y su composición.	RUNT como control

Fuente: Consorcio Huella en Movimiento, 2025

En relación con el tratamiento y procesamiento de datos, se divide la metodología en cuatro rutas específicas según la fuente de información analizada (CDA, RDA, SITP y RUNT):

**CDA:** Esta ruta se ejecuta en lenguaje Python y no busca cuantificar el consumo agregado directamente, sino estimar los kilómetros recorridos por vehículo en promedio anual (KRV) y organizar la información por tipología, energético y antigüedad. Los pasos principales incluyen:

- Carga y limpieza estructural: Selección de una muestra representativa de archivos CDA, lectura controlada con bitácora de errores, y limpieza de encabezados, espacios vacíos y formatos.
- Homologación: Estandarización de las columnas objetivo e incorporación de tablas auxiliares para armonizar la tipología vehicular, el energético y el peso bruto (este último clave para clasificar la carga en liviana o pesada: N1, N2, N3).
- Consolidación y cálculo de variables derivadas: Creación de una base maestra que conserva la trazabilidad del archivo de origen. Se calculan variables temporales como el año de prueba y la edad vehicular.
- Tratamiento de atípicos y estadística: Depuración de valores de kilometraje nulos o negativos, y aplicación de controles de valores atípicos mediante el uso de estadísticos robustos (como el percentil 75) para evitar sesgos en el promedio de uso vehicular.

**RDA:** Su objetivo es cuantificar el parque vehicular activo distrital. Por su gran volumen (más de 2,5 millones de registros), el procesamiento requiere herramientas robustas como Power BI.

- Filtrado y depuración: Se restringe el universo únicamente a los vehículos que permanecieron activos durante todo el año de análisis y se excluyen categorías que no pertenecen al transporte carretero (maquinaria, remolques, etc.).
- Estructuración de tipologías: Se completa el peso bruto vehicular faltante usando tablas presuntivas por marca y línea. Con esto, se transforma la clase y servicio original del registro en las categorías metodológicas del inventario (taxis, autos particulares, motos, carga liviana, etc.).
- Cálculo de antigüedad y agregación: Se calcula la edad de la flota y se agrupa en intervalos de 5 años. Finalmente, se agregan los datos a nivel

de conteos para exportar tablas con el número de vehículos por tipología, energético y antigüedad.

**SITP:** Opera como un **submódulo especializado para el transporte pesado de pasajeros**, ya que concentra en una sola base variables de flota, operación y consumo.

- Acotación y homologación: Se filtran periodos comparables (2022-2024), se eliminan variables innecesarias y se clasifican los vehículos estrictamente vinculados en tres tipologías de servicio: Troncal, Alimentador y Urbano.
- Estandarización energética: Se corrigen las unidades de medida (galones, m<sup>3</sup>, kWh) y la periodicidad de los reportes (anuales o semestrales). Todos los consumos físicos se convierten a una unidad energética homogénea en Terajulios (TJ) mediante Poderes Caloríficos Inferiores (PCI).
- Cálculo de rendimientos locales: A partir del kilometraje estandarizado y el consumo depurado, se calculan directamente las distancias promedio y el rendimiento energético local (km/TJ), cerrando con una validación temporal entre años.

**RUNT:** No se procesa para medir actividad ni consumo, sino como una fuente de contraste estructural y validación frente al RDA, enfocándose en contabilizar vehículos y caracterizar su estructura etaria.

- Depuración: Se seleccionan variables de interés (servicio, clase, fecha de registro), se aplica la tabla de categorización, se revisa la columna de servicio (oficial, particular, público) y se excluyen vehículos no carreteros.
- Contraste estructural: Se consolida el parque por tipología y se construyen matrices de antigüedad. Se hace un énfasis en comparar la subcategoría de transporte de pasajeros frente a los registros del SITP y el RDA para asegurar la coherencia del modelo

La base para la estimación de las emisiones sigue las siguientes ecuaciones:

*Ecuación 1: Estimación de emisiones*

$$Emisiones_{GEI} = Factor\ emisión_{GEI;combustible} \times Consumo\ energéticos_{energéticos\ y\ categoría\ vehicular}$$

Donde el factor de emisión incluye factores nacionales específicos para CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

Ecuación 2: Estimación de consumo (datos de actividad)

$$C_{a,b} = \frac{N_{a,b} \times B_{a,b}}{R_{a,b}}$$

Siendo las variables:

$C_{a,b}$ : Consumo de energéticos para la tipología vehicular a y tipo de energético b

$N_{a,b}$ : Número de vehículos por tipología vehicular y tipo de energético

$R_{a,b}$ : Rendimiento energético por tipología vehicular y tipo de energético

$B_{a,b}$ : Kilómetros recorridos promedio anuales por tipología vehicular y tipo de energético

El consumo se estima a partir del número de vehículos por tipología y energético, de las distancias recorridas promedio y de los rendimientos energéticos desagregados por tipología y energético.

Para el cálculo de energía, se han adoptado los factores de conversión de las unidades BECO, asegurando la armonización con el balance energético nacional. El desarrollo metodológico a partir de las ecuaciones y el procesamiento de los datos permite un nivel de detalle de los diferentes tipos energéticos como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2. Alcance de estimación de emisiones GEI por tipo de energético

Energético	Alcance*	Tipo de emisión	CO2 biogénico
Gasolina / Diesel / GNV	Alcance 1	Directas	No
Electricidad	Alcance 2	Indirectas	No
Etanol / Biodiesel	Biogénico	Directas	Si

Fuente: Consorcio Huella en Movimiento, 2025. \* En el marco del Protocolo global para inventarios de Gases Efecto Invernadero a escala comunitaria - GHG-GPC el alcance 1 se refiere a las emisiones provenientes de la ciudad que suceden dentro de los límites del perímetro urbano, y alcance 2 a las emisiones asociadas al consumo de energía eléctrica.

### 5.3. Resultados del piloto

Los resultados obtenidos tras la implementación de la prueba piloto de la metodología desarrollada se evaluaron mediante la armonización de las fuentes RUNT y RDA, aplicando criterios de uso para validar si los vehículos registrados están efectivamente activos en la jurisdicción. Para la prueba piloto, se analizó el universo de los 173 CDAs autorizados en Bogotá, aplicando una estrategia de muestreo diferenciada:

Tipos A (Motos) y B (Livianos): Muestra representativa (n=3 de un universo de 49 y 112 respectivamente).

Tipos C y D (Pesados y Mixtos): Se realizó un Censo Total (n=1 y n=7 respectivamente), dado que estos centros capturan la información crítica de la flota de carga y pasajeros de gran tamaño.

El tratamiento de inconsistencias incluyó la limpieza de caracteres invisibles y la depuración de "edades vehiculares improbables". Los principales resultados de la prueba piloto, enfocada en estimar el consumo de energéticos y las emisiones de GEI del sector transporte terrestre en Bogotá para el año 2023, demuestran la viabilidad de implementar una metodología más detallada y estructurada desde la base de los datos (*bottom-up* o nivel Tier 2).

En reacción con la caracterización del parque automotor se identificó que 2.556.471 vehículos carreteros permanecieron activos durante todo el año 2023 en la ciudad (lo que equivale al 99% de los registros de la base de datos evaluada). Se detectó una alta concentración de vehículos extremadamente antiguos (con 35 años o más) en tipologías estratégicas. Por ejemplo, dentro del grupo de vehículos mayores a 35 años, el 62% de los camiones y el 63% de las volquetas superan los 50 años de edad, confirmando que este envejecimiento es un factor estructural en la flota de carga.

A partir del análisis de una muestra de 14 Centros de Diagnóstico Automotor, se logró estimar el kilometraje recorrido promedio anual de las diferentes categorías. Se confirmó que la actividad está estrechamente ligada a la función del vehículo: los vehículos pesados de carga y de pasajeros (especialmente a diésel) presentan los mayores recorridos, con medias superiores a los 350.000 kilómetros anuales. Limitación detectada: Aunque los CDA son excelentes para estimar distancias, no sirven para calcular directamente el consumo total de

energía, ya que no registran sistemáticamente el diferencial de combustible cargado entre revisiones.

El SITP resultó ser el submódulo de información con mayor calidad metodológica, al concentrar en un solo registro el número de vehículos, sus kilómetros y su consumo de combustible. Los vehículos eléctricos demostraron ser los más eficientes, logrando rendimientos de entre 313.110 y 545.429 km por Terajulio (km/TJ) en el servicio urbano. El diésel ocupó el segundo lugar (71.151–79.784 km/TJ), mientras que el Gas Natural Vehicular (GNV) presentó los rendimientos más bajos (36.000–45.000 km/TJ).

El piloto calculó para el SITP (en 2023) un total de 551.648,53 tCO<sub>2e</sub>, lo que es un 2,02% menor frente a las estimaciones de la metodología previa de la Secretaría Distrital de Ambiente. Esta reducción ocurre principalmente porque el piloto corrigió el cálculo de los buses híbridos, asumiendo que su operación se divide en un 50% de diésel (Alcance 1) y un 50% de electricidad (Alcance 2), a diferencia del método anterior que los contabilizaba como 100% diésel.

Al sumar todos los consumos calculados desde los vehículos y contrastarlos contra los registros oficiales de ventas de combustibles de la ciudad (SICOM), el piloto detectó discrepancias: había **subestimación en el uso de diésel, GNV y biodiésel, y sobreestimación en gasolina y etanol.**

Para resolver esto y garantizar que el inventario concuerde con el balance energético real de la ciudad, se determinó que la metodología definitiva debe aplicar factores de ajuste a las distancias recorridas. El piloto evidenció así que utilizar información desagregada por vehículo mejora profundamente la precisión y utilidad del inventario, pero exige altos procesos de limpieza de datos atípicos (como kilometrajes negativos) y hace indispensable una calibración final con las estadísticas macro de venta de combustibles de Bogotá.

#### 5.4. Guía técnica

Como resultado de la consultoría se genera un documento que no solo orienta la aplicación de la metodología, sino que incluye un plan estratégico para su fortalecimiento y mejora continua. A continuación se resumen sus componentes principales:

**Objetivos y alcance:** Establecer lineamientos técnicos, operativos, institucionales y estratégicos para implementar y sostener la metodología a escala distrital, garantizando principios como el aseguramiento de la calidad, la trazabilidad, la comparabilidad y la reproducibilidad. Aplica al transporte terrestre carretero, abarcando categorías como vehículos livianos, taxis, carga liviana y pesada (camiones, volquetas, tractomulas), transporte de pasajeros (SITP y no SITP) y motocicletas.

**Estructura metodológica y rol de las fuentes:** La guía consolida un enfoque de trabajo modular dividido en seis fases: Entrada, Tratamiento, Integración, Cálculo y Validación, Balance de energía y Salida. Establece directrices claras para el uso de cada fuente de información.

**Protocolo Operativo Anual:** El documento define un ciclo de trabajo anual para la SDA que abarca: la definición de la fecha de corte, recepción y control de insumos, limpieza y homologación de datos, construcción del parque activo, estimación de actividad y consumos, contraste macro, y finalmente, el cálculo de las emisiones de GEI. Un elemento innovador de este protocolo es la inclusión de material audiovisual de soporte (videos tutoriales). Estos videos explican paso a paso cómo ejecutar el tratamiento de las bases de datos (usando Python y Power BI) para el CDA, el RDA, el SITP y la fase final de conversión energética a emisiones, facilitando la transferencia de conocimiento y la replicabilidad institucional.

**Requerimientos y brechas identificadas:** Para que la implementación sea viable, la guía identifica que se deben superar brechas logísticas (formatos heterogéneos y datos dispersos), de información y de presupuesto. Por ello, exige asegurar recursos recurrentes, un entorno tecnológico analítico estable (con control de versiones e inventario de campos) y personal técnico capacitado en el análisis de datos.

Finalmente, establece una **hoja de ruta progresiva**: a **corto plazo**, la adopción formal de la guía y la ejecución del primer ciclo; a **mediano plazo**, la automatización de procesos y estabilización de módulos; y a **largo plazo**, la institucionalización plena de la herramienta para respaldar la toma de decisiones en políticas de movilidad y acción climática.

## 5.5. Análisis prospectivo

A partir de la información compilada y revisada para efectos del planeamiento de las mejoras metodológicas en la estimación de emisiones GEI para el sector transporte carretero en Bogotá, se evalúa cómo la dinámica del cambio modal en los viajes de pasajeros impacta el consumo energético y las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Para lograrlo, utiliza el enfoque metodológico ASIF (Actividad, Estructura, Intensidad y Combustible) mediante la "Calculadora de Movilidad Activa" del Ministerio de Transporte.

A partir de una línea base derivada en la Encuesta de Movilidad 2023, el escenario de partida revela que el 69,69% de los viajes en Bogotá se realizan en modos sostenibles (transporte público, caminata y bicicleta), mientras que el 26,50% corresponde a modos no sostenibles (automóvil, motocicleta y taxi). Sin embargo, se identifican tendencias preocupantes post-pandemia:

- El uso del transporte público ha caído del 46 % en 2011 al 40 % en 2023.
- El uso de la motocicleta ha crecido continuamente, pasando del 3 % al 7 % en el mismo periodo.
- Esto evidencia una tensión entre la movilidad sostenible y una tendencia hacia la motorización individual.

Para evaluar el impacto de las acciones de mitigación del cambio climático del sector transporte, frente a las trayectorias planeadas para reducción de las emisiones GEI establecidas en la Política Pública de Acción Climática, el análisis formula tres escenarios de simulación. Un escenario de tendencia o BAU (*Business as Usual*) para el que se asume que se mantiene la inercia actual sin intervenciones estructurales. Esto es, mantiene la distribución modal observada en 2023 y sirve para valorar el costo de oportunidad de no intervenir. Un escenario de cambio modal, en el que se plantea una redistribución de los viajes hacia modos más eficientes, sin alterar la tecnología de la flota. Supone un incremento en la caminata (al 29 %), la bicicleta (al 10 %) y el bus (al 38 %), con una consecuente reducción en el uso del automóvil (al 10 %), la motocicleta (al 5 %) y el taxi (al 3 %). Y un escenario de cambio tecnológico, en el que se mantiene la estructura de viajes del escenario tendencial (sin cambio modal), pero simula una modernización de la flota hacia energéticos de menores emisiones (ej. mayor adopción de Gas Natural Vehicular). Evalúa el impacto aislado de la transición energética del parque automotor.

El análisis prospectivo concluye que el cambio modal es una variable estratégica, ya que reasignar los viajes hacia modos más eficientes puede generar reducciones relevantes de emisiones de GEI, incluso si no ocurren transformaciones tecnológicas profundas en el corto plazo. La descarbonización del sistema de transporte en Bogotá no dependerá de una única medida, sino de una estrategia integral que combine la reorganización de los viajes hacia modos activos, la mejora del transporte público y la modernización tecnológica de la flota vehicular.

## 5.6. Recomendaciones

Para garantizar que la metodología desarrollada como resultado del proceso de consultoría se mantenga y actualice de conformidad con las necesidades de compilación de los inventarios de emisiones GEI y el trabajo conjunto con calidad del aire, se recomiendan las siguientes acciones:

- Actualización Dinámica de Rendimientos: Los factores de rendimiento deben actualizarse anualmente para reflejar la renovación de la flota hacia tecnologías Euro VI y eléctricas. La tabla 1 muestra una relación de aquellos factores que requieren de actualización periódica para asegurar el correcto funcionamiento de la metodología planteada.
- Institucionalización del flujo de trabajo y el código Python desarrollado: La adopción permanente del flujo de procesamiento desarrollado debe ser el estándar para futuros reportes, eliminando la dependencia de procesos manuales en hojas de cálculo. Esto implica contar con personal capacitado o soporte técnico asociado a manejo de código Python
- Monitoreo de Factores de Emisión: Integrar los factores de emisión nacionales más recientes para asegurar que el cálculo de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O sea el más preciso posible. Así mismo, contar con información de la incertidumbre asociada a los factores de emisión para asegurar la contabilidad integral de la incertidumbre de los resultados de la estimación de emisiones del sector.

## 6. Aportes a la Política de Acción Climática de Bogotá

La presente consultoría constituye un hito estratégico para la gobernanza climática de Bogotá al plantear una ruta de acción para alcanzar mejoras metodológicas a mediano plazo en el proceso de revisión, análisis y caracterización de información del sector de movilidad y el transporte carretero, responsable de la mayoría de las emisiones de gases efecto invernadero estimadas para la ciudad. La transición hacia una movilidad descarbonizada exige que la toma de decisiones no dependa de proxies genéricos, sino de información específica y oportuna derivada de la actividad real del sector. Este esfuerzo técnico ha permitido a la Secretaría Distrital de Ambiente evolucionar desde un enfoque de contabilidad de emisiones de gases de efecto invernadero basado en ventas de combustible registradas para el sector movilidad (Tier 2) hacia un modelo específico local basado en Kilómetros Recorridos por Vehículo (Tier 3), reduciendo la incertidumbre asociada a combustibles adquiridos fuera de la jurisdicción pero consumidos dentro de la ciudad.

El diseño metodológico implementado transforma datos brutos heterogéneos provenientes de diversas fuentes, como lo son los Centros de Diagnóstico Automotor, Registro Distrital Automotriz, Registro Único Nacional de Tránsito, SITP y otros reportes particulares, en una estructura analítica capaz de desagregar emisiones por tipología vehicular, estándar de emisión y edad de la flota. Este salto técnico es fundamental para monitorear la efectividad de estrategias tanto de mitigación del cambio climático como de gestión y mitigación de contaminantes del aire de orden distrital.

Como logros clave de la consultoría realizada por el Consorcio Huella en Movimiento se destacan los siguientes puntos:

- Evolución Metodológica: Estructuración de un sistema de cálculo basado en KRV y factores de emisión nacionales para CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.
- Cierre de Brechas de Datos: Identificación y corrección de vacíos en la flota de vehículos pesados de pasajeros (SITP), distinguiendo componentes urbanos de servicios especiales.
- Arquitectura de Datos Robusta: Creación de un flujo automatizado por etapas desarrollado en Python para el procesamiento masivo de datos provenientes de Centros de Diagnóstico Automotor (CDA).

- Muestreo Estadístico Riguroso: Ejecución de una prueba piloto que incluyó un censo total de los Centros de Diagnóstico Automotor con el fin de definir mínimos muestrales operativos suficientes para una muestra representativa y optimizar recursos.

La eficiencia en la gestión de estos recursos de cooperación internacional asegura que Bogotá cuente hoy con una capacidad técnica instalada que garantiza la sostenibilidad y transparencia del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

## 7. Conclusiones

La colaboración entre la Unión Europea y la Secretaría Distrital de Ambiente ha dotado a Bogotá de una infraestructura técnica de vanguardia. Gracias al Proyecto AVANTIA, la ciudad ha superado las limitaciones de los métodos basados únicamente en ventas de combustible, logrando una metodología de alta resolución que vincula la actividad vehicular real con el impacto climático.

El éxito de esta consultoría reside en el fortalecimiento de la capacidad institucional, la transparencia en la gestión de datos y la reducción de la incertidumbre científica. Con estas herramientas, Bogotá se posiciona como un referente regional en la contabilidad de emisiones, reafirmando su compromiso inquebrantable con la descarbonización del transporte terrestre y la mitigación del cambio climático.

## 8. Referencias

Davies Waldron, C., Harnisch, Jochen.; Lucon, Oswaldo. Mckibbon, Scott.; Saile, Sharon.; Wagner, F. y, & Walsh, Michael. (2006). CAPÍTULO 3. Combustión Móvil. In Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (p. 78). [https://www.ipccngqip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2\\_Volume2/V2\\_3\\_Ch3\\_Mobile\\_Combustion.pdf](https://www.ipccngqip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf)

Secretaría Distrital de Ambiente [SDA]. (2025). INVENTARIO DE EMISIONES Y ABSORCIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) DE BOGOTÁ

2010-2023.

<https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/9167530/DTS+INGEI+BOGOTA%C2%B4+2010-2023+Inventario+de+gases.pdf/716ad155-463e-4dec-b544-5fa56b7c419a>

UPME. (2016). Factores de emisión de los combustibles colombianos FECOC. [http://www.upme.gov.co/Calculadora\\_Emisiones/aplicacion/Informe\\_Final\\_FECOC\\_Correcciones\\_UPME\\_FunNatura.pdf](http://www.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones/aplicacion/Informe_Final_FECOC_Correcciones_UPME_FunNatura.pdf)

WRI, C40, & ICLEI. (2022). Protocolo global para inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero a Escala comunitaria. Estándar de contabilidad y de reporte para las ciudades. [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/GHGP\\_GPC%20%28Spanish%29.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/GHGP_GPC%20%28Spanish%29.pdf)

Secretaría Distrital de Ambiente [SDA]. (2021). Plan de Acción Climática de Bogotá 2020–2050. Alcaldía Mayor de Bogotá, D. C.

Secretaría Distrital de Planeación. (2023). CONPES D. C. 31 de 2023: Política pública de acción climática 2023–2050. Alcaldía Mayor de Bogotá, D. C.