



WRI COLOMBIA

NOTA DE PRÁCTICA

Aire limpio en Barrios Vitales

Indicadores de impacto en calidad del aire

La nota de práctica proporciona un análisis rápido de las experiencias relacionadas con un proyecto en particular. El análisis y las recomendaciones están limitados al contexto específico presentado en la nota y no deben interpretarse como aplicables de manera más amplia.

WRI.ORG

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	4
INTRODUCCIÓN	6
BARRIO VITAL SAN FELIPE Y URBANISMO TÁCTICO	8
EQUIPO DE TRABAJO MULTIDISCIPLINARIO Y MULTISECTORIAL	11
SÍNTESIS METODOLÓGICA.....	13
EVALUACIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD DEL AIRE.....	17
LECCIONES APRENDIDAS.....	34
CONCLUSIONES.....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	42
APÉNDICES.....	44

AUTORÍA

WRI

Sandra Meneses Martínez
Daniel Cano Gómez
Beatriz Cárdenas González

Secretaría Distrital de Ambiente

John Freddy Grajales
Gustavo Alfonso Romero Cruz
Edison Yesid Ortiz Duran
Ana Milena Quinchara Hernández

Contribución

Secretaría Distrital de Movilidad
Juan Gabriel Sepúlveda Corzo

Edición

Anamaría Martínez Ordóñez
Sara Juliana Botero

Diseño

Karen Prieto

VERSION 1 | SEPTIEMBRE 2025

Citación sugerida: Meneses, S., D. Cano, B. Cárdenas, J.F. Grajales, G.A. Romero, E.Y. Ortiz y A.M. Quinchara. 2025. "Aire Limpio en Barrios Vitales. Indicadores de impacto en calidad del aire." Nota de práctica. Bogotá: Instituto de Recursos Mundiales (WRI).
Disponible en: <https://doi.org/10.46830/wriipn.23.00085>.



PUNTOS DESTACADOS

- El gobierno de la ciudad de Bogotá define los Barrios Vitales como espacios urbanos donde se implementen estrategias que incluyan la redistribución del espacio público mediante el incremento de las zonas peatonales, a través de intervenciones de urbanismo táctico.
- En Latinoamérica, la experiencia en el diseño y evaluación de indicadores de impacto en la calidad del aire en intervenciones en el espacio público no ha sido suficientemente documentada. En general, los proyectos de desarrollo urbano o movilidad en el espacio público se han implementado sin considerar registros específicos que permitan identificar cambios en la calidad del aire.
- Los indicadores de impacto son herramientas que permiten a los gobiernos conocer los cambios en las métricas de calidad del aire resultantes de intervenciones urbanas, de movilidad o de infraestructura, entre otras.
- El diseño de indicadores de impacto en el marco del proyecto Barrios Vitales fortaleció la articulación entre las entidades del gobierno de Bogotá para la evaluación y gestión de la calidad del aire, al favorecer los análisis integrales en el marco de los proyectos.
- Las experiencias presentadas en esta nota de práctica permitirán a otros gobiernos incorporar indicadores de calidad del aire y considerar la posibilidad de replicar el método de recolección y análisis de datos, así como integrarlos en sus propias estrategias.

Resumen ejecutivo

Contexto

Los proyectos y medidas implementadas por la administración pública en materia de infraestructura urbana y movilidad en el espacio público urbano en algunos casos carecen de indicadores de impacto sobre la calidad del aire, lo que dificulta el monitoreo de su efectividad y la toma de decisiones. Es esencial que los gobiernos locales establezcan mecanismos para evaluar sus intervenciones y demostrar a la ciudadanía que sus obras contribuyen al bienestar y sostenibilidad de las ciudades.

Ante esto, el gobierno de Bogotá, a través de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) y la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM), decidió adoptar un enfoque proactivo en el proyecto Barrios Vitales, centrado en elaborar y evaluar indicadores de impacto en la calidad del aire. Este esfuerzo buscó establecer una metodología para evaluar la calidad del aire en microambientes, al identificar la incidencia de intervenciones urbanas específicas. En este sentido, documentar el estudio de caso realizado en el barrio de San Felipe se presenta como una oportunidad para replicar experiencias exitosas en otras áreas de la ciudad.

La colaboración del Instituto de Recursos Mundiales (WRI por sus siglas en inglés) fue clave en este proceso, al guiar la consolidación técnica de indicadores y facilitar la recopilación de datos para una evaluación más precisa del impacto ambiental. Esta nota de práctica busca inspirar a planificadores y tomadores de decisiones en el ámbito urbano, y resaltar la importancia de construir un enfoque basado en datos que contribuya a la sostenibilidad y gobernanza de la calidad del aire en Bogotá y otras ciudades latinoamericanas.

Sobre esta nota de práctica

Como primer caso de intervención de Barrios Vitales en Bogotá, esta nota de práctica documenta un primer ejercicio de medición del impacto del urbanismo táctico en la calidad del aire, al establecer un precedente valioso para futuros proyectos urbanos. Así mismo, desarrolla la metodología para medir los efectos de intervenciones urbanas en la calidad del aire, y proporciona una comprensión detallada de las dinámicas locales que podrían diferir de los impactos a escala ciudad. Además, identifica desafíos cruciales como la variabilidad de datos y la necesidad de calibración de sensores, al ofrecer una base empírica para la toma de decisiones en planificación urbana y gestión ambiental.

El estudio se centra en el diseño y evaluación de tres indicadores de impacto en la calidad del aire en el Barrio Vital de San Felipe, ubicado al nororiente de la ciudad de Bogotá, antes y después de la intervención de urbanismo táctico: cambios en las emisiones de contaminantes de los vehículos, cambios en la concentración de contaminantes en el microambiente, y cambios en la concentración atmosférica de contaminantes criterio. La intervención se implementó durante enero y febrero de 2022 y quedó de manera permanente a junio de 2025. La recopilación de datos se realizó tanto para periodos antes como después de esta intervención, utilizando métodos directos e indirectos. Los métodos directos incluyeron conteos vehiculares y captura de datos de $PM_{2.5}$ en el microambiente, mientras que los métodos indirectos se basaron en la estimación de emisiones atmosféricas proveniente de la operación vehicular.

Para cada indicador, se detalló la metodología de recolección de datos, análisis y cálculo. Se utilizaron aforos vehiculares, microsensores de bajo costo y datos de la estación de monitoreo de calidad del

aire Las Ferias. Este enfoque integral fue necesario para una evaluación comparativa del impacto de la intervención en la calidad del aire en el barrio.

El potencial de este ejercicio consiste en la replicabilidad en otros contextos urbanos, tanto en Colombia como internacionalmente, al subrayar su importancia más allá del ámbito local, para contribuir al entendimiento global de cómo las intervenciones urbanas tácticas pueden mejorar o no la calidad del aire y, por extensión, la calidad de vida en las ciudades.

Hallazgos principales

- **Emisiones vehiculares.** Se estima un aumento del 40 por ciento en las emisiones vehiculares después de la intervención (aforo de febrero 2023). Sin embargo, no se puede identificar cuánto de este cambio neto podría atribuirse a la intervención de urbanismo táctico u otros factores. El incremento observado puede atribuirse a la disminución de las restricciones impuestas durante la pandemia de COVID-19, lo que facilitó un mayor flujo de tráfico en el área de 0,60 km², que pasó de 123.521 vehículos en 2022 a 182.122 en 2023. Este aumento fue impulsado por la reactivación económica (con un crecimiento del 10,3 por ciento del PIB en 2022 (DANE 2022) y el consecuente incremento en el volumen de circulación vehicular.
- **Concentraciones micro ambientales.** La evaluación de las concentraciones en el Barrio Vital San Felipe se llevó a cabo desde octubre del año 2021 hasta septiembre de 2022, momento en el que el sensor dejó de funcionar. Los datos recopilados muestran variabilidad significativa, lo cual debilita las conclusiones. Se recomienda implementar medidas de calibración y ajuste más rigurosas para futuros estudios, con el fin de obtener una serie temporal de datos más robusta y confiable.
- **Concentraciones atmosféricas a nivel multi-barrial (local).** Se identifica una tendencia a la disminución en las concentraciones de algunos contaminantes entre 2022 y 2023. Sin embargo, esto está influenciado por factores

climáticos, económicos, urbanos, entre otros que afectan a toda la zona metropolitana de la ciudad. Considerar únicamente la medición de concentraciones atmosféricas es insuficiente para medir los efectos directamente atribuibles a intervenciones de urbanismo táctico.

Estos hallazgos subrayan la complejidad de evaluar el impacto de intervenciones urbanas en la calidad del aire y destacan la necesidad de considerar múltiples factores al interpretar los resultados. Se recomienda realizar estudios a mayor plazo y con instrumentos de medición más precisos para para robustecer y complementar los aprendizajes sobre el impacto del urbanismo táctico en la calidad del aire en los Barrios Vitales.



Introducción

Un indicador de impacto en calidad del aire es una medida que evalúa los cambios en los niveles de contaminantes atmosféricos y sus efectos. Estas herramientas son cruciales para la toma de decisiones en políticas ambientales y urbanas, al ofrecer información útil sobre la eficacia de las medidas para mejorar la calidad del aire. Estos indicadores son utilizados para conocer, por medio de mediciones directas o indirectas de contaminantes, el comportamiento de la calidad del aire luego del desarrollo de un proyecto urbano, de movilidad o algún instrumento de gestión o planificación ambiental.

Las intervenciones urbanas a escala barrial son implementadas en áreas estratégicas con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas habitantes y promover el desarrollo sostenible de la comunidad. Algunos proyectos de desarrollo urbano o de movilidad, como lo son la promoción del transporte público y construcción de ciclovías, pueden reducir las emisiones locales (Navas 2024). Por tanto, es posible evaluar aspectos relacionados con la calidad del aire.

Existe un amplio cuerpo de evidencia que respalda la correlación positiva entre la implementación de este tipo de proyectos y el abatimiento de los niveles de contaminación del aire. Por ejemplo, Zhang y otras personas autoras (2017) investigaron los efectos de los espacios verdes urbanos en la reducción de la contaminación por partículas finas ($PM_{2.5}$) y en el enfriamiento urbano en el área de la Gran Bahía de Guangdong-Hong Kong-Macao. Sus hallazgos sugieren que aumentar la cantidad y calidad de los espacios verdes en entornos urbanos puede ser una estrategia efectiva para mejorar la calidad del aire y mitigar el efecto de isla de calor urbano (Zhang et al. 2017). Esto tiene implicaciones importantes para el diseño urbano y las políticas públicas orientadas hacia el desarrollo sostenible y la salud pública.

Sin embargo, en Latinoamérica, los proyectos de movilidad e infraestructura urbana suelen carecer de un marco de evaluación que permita cuantificar su impacto en la calidad del aire, y hasta ahora no se han documentado indicadores específicos al respecto. Trabajos en algunas ciudades como San Luis Potosí, México (Hernández et al. 2023), así como en la ciudad de Brasilia (Ramon et al. 2023) subrayan la necesidad de medir la concentración de contaminantes para evaluar el impacto de la movilidad urbana en el medio ambiente. El uso de herramientas como los indicadores de impacto en calidad del aire pueden aportar información útil en el proceso del desarrollo de las intervenciones o proyectos urbanos.



Diseñar y evaluar indicadores de impacto en la calidad del aire requiere datos, instrumentos, equipos y acuerdos interinstitucionales que permitan medir con precisión los efectos de un proyecto. Su implementación exige un trabajo coordinado entre entidades del gobierno local responsables de generar la información, monitorear los resultados y comunicar sus beneficios. En la ciudad de Bogotá, en el marco del proyecto Barrios Vitales, las autoridades locales han impulsado la intervención de espacios públicos mediante estrategias de urbanismo táctico con la finalidad de reorganizar el tráfico, aumentar la oferta de áreas verdes, y mejorar la calidad ambiental de las zonas a intervenir.

El objetivo principal de esta nota de práctica es profundizar en los aprendizajes obtenidos a lo largo del acompañamiento técnico que WRI brindó a las Secretarías Distritales de Ambiente y Movilidad, durante el proceso de selección y diseño de indicadores para la evaluación del impacto del proyecto Barrios Vitales. En este trabajo se analiza la aplicación de los indicadores,

se identifican algunos desafíos importantes para su correcta implementación, y se presentan reflexiones grupales sobre las lecciones aprendidas.

El caso de estudio abordado parte de documentar la experiencia del Barrio Vital San Felipe, donde se evaluaron tres indicadores de impacto en calidad del aire. Desde WRI Colombia se buscó preservar y referenciar experiencias, para obtener un análisis detallado de problemas y extraer lecciones valiosas para mejorar la capacidad de respuesta ante desafíos similares en futuros proyectos.

Esta nota de práctica comienza con la definición conceptual del Barrio Vital y describe cómo el Barrio San Felipe ejemplifica este concepto en el diseño de indicadores de impacto. Luego, presenta la metodología utilizada para diseñar y evaluar estos indicadores, para concluir con los resultados obtenidos de dicha evaluación. Este documento sirve de guía para el diseño de indicadores de impacto en calidad del aire a nivel conceptual y metodológico, que puede ser replicado en otros proyectos o territorios de América Latina.



Barrio Vital San Felipe y urbanismo táctico

Barrios Vitales es una estrategia de la Alcaldía de Bogotá para recuperar el espacio público destinado a vehículos, y promover su uso peatonal. El objetivo es fomentar los desplazamientos a pie y la movilidad sostenible, para mejorar las condiciones urbanas, la calidad del aire y generar vitalidad en los barrios de la ciudad.

El urbanismo táctico se refiere a intervenciones temporales y de bajo costo en el espacio urbano, diseñadas para mejorar la calidad de vida de las personas y probar soluciones antes de realizar implementaciones de forma permanente. Estas intervenciones son pequeñas, de ejecución rápida y permiten a las comunidades experimentar cambios tangibles y participativos en su entorno. Una referencia destacada en este ámbito es el libro *Tactical Urbanism: Short-term Action for Long-term Change* de Mike Lydon y Anthony García, que explora cómo estas intervenciones pueden transformar ciudades y comunidades, al proporcionar ejemplos prácticos y estudios de caso que demuestran su efectividad en diversos contextos urbanos (Lydon y Garcia 2015). Otro autor relevante es Jeff Speck, quien en su obra *Walkable City Rules: 101 Steps to Making Better Places* también aborda estrategias tácticas para mejorar la accesibilidad y habitabilidad de las ciudades mediante cambios rápidos e incentivos económicos (Speck 2018).

Esta estrategia se implementa en áreas urbanas con potencial para mejorar el entorno, y donde se identifican déficits o deterioro del espacio público, así como una alta concentración de siniestros viales con afectación a peatones y ciclistas, a la par de oportunidades de reactivación económica (Alcaldía Mayor de Bogotá 2021). El Plan de Ordenamiento Territorial 2022-2035 establece la meta de implementar 33 Barrios Vitales: diez a corto plazo, diez a mediano plazo y trece a largo plazo.

El desarrollo del Barrio Vital se organiza en cuatro fases:

- **Diagnóstico, Planeación y Piloto de Prueba.** En esta fase se realiza un diagnóstico del área, se planifican las intervenciones y se implementa un piloto para evaluar la viabilidad de las soluciones propuestas.
- **Urbanismo Táctico.** Se llevan a cabo intervenciones de bajo costo en el espacio público para mejorar la calidad de vida y la movilidad. Esta fase busca implementar cambios inmediatos y palpables en el entorno urbano.
- **Obra Civil.** En esta etapa se realizan las obras permanentes con base en los resultados obtenidos de las fases anteriores, consolidando las mejoras en infraestructura y espacio público.
- **Evaluación.** Se evalúan los impactos de las intervenciones en términos de calidad de vida, movilidad y calidad del aire, entre otros aspectos, para ajustar futuras acciones y estrategias.

San Felipe es el primer Barrio Vital en la Ciudad de Bogotá. El proyecto correspondiente se implementó entre los meses de enero y febrero de 2022, y sirve como piloto para evaluar el impacto de intervenciones urbanas en la calidad del aire. La temporalidad de las fases de implementación del proyecto permite contemplar mediciones de calidad del aire y emisiones antes de las obras de urbanismo táctico, para establecer una línea base que permita comparar los efectos de la intervención. Se realizaron mediciones de calidad de aire en periodos antes y después de la intervención, cuya distribución y validación será discutida más adelante.

En la Figura 1 se puede identificar el barrio San Felipe, con un área de 0,60 Km² (60 hectáreas), situado en la localidad de Barrios Unidos, entre la

Calle 72 y la Calle 80, y entre la Carrera 24 y la Avenida Caracas. La fase 1, que incluía el piloto, se completó en febrero de 2022, mientras que la fase 2, con las intervenciones de urbanismo táctico, se entregó en agosto de 2022.

Las acciones de intervención para la fase de urbanismo táctico en el Barrio Vital San Felipe contemplaron 4 objetivos principales: priorización

de modos sostenibles de movilidad; resignificación del uso de la calle; gestión de la velocidad, y gestión social y participación ciudadana. En la página de Barrios Vitales de Bogotá se pueden identificar al detalle las intervenciones realizadas (SDM 2021) y el estado del programa (los barrios, las intervenciones y los actores).

Figura 1 | **Mapa oficial - Elementos del Barrio Vital San Felipe**



Fuente: SDM (2021).

Mediante la intervención, se logró aumentar el espacio público destinado a caminar o realizar actividades de ocio, y se reorganizó el tráfico vehicular al reducir la cantidad de carriles destinados a los vehículos automotores. En algunos casos, se cambió el sentido de circulación de las vías para promover la seguridad de transeúntes y agilizar el tráfico.

El proyecto consistió en desarrollar zonas peatonales, de estacionamiento, de carga y descarga, y de uso flexible. En la Caja 1, se detallan las intervenciones en San Felipe.

Como complemento a la definición de las estrategias de diseño urbano señaladas arriba, el equipo detectó la necesidad de diseñar indicadores para evaluar distintos componentes de calidad de vida. Con estos se buscó conocer sus efectos en materia de seguridad vial, calidad ambiental, arbolado urbano y calidad del aire.

Caja 1 | Intervenciones en el Barrio Vital San Felipe

Generación de 3.616 m² de espacio público para la movilidad, la permanencia y circulación de peatones.

- Generación de 30 intersecciones seguras y 64 pasos peatonales señalizados.
- Reducción del 46% de siniestros viales.
- Reducción del 28% del uso del vehículo particular al interior del barrio.
- Reducción del 19% de la velocidad de vehículos motorizados al interior del barrio.
- Aumento del 5% del número de viajes a pie y en bicicleta.

Zonas Peatonales



Estacionamientos temporales



Carga y descarga



Uso flexible



Fuente: elaboración propia. Fotografías: SDM.

Equipo de trabajo multidisciplinario y multisectorial

El diseño de los indicadores de impacto en calidad del aire se realizó mediante la colaboración entre el Centro Ross de WRI (Colombia y México), las Secretarías Distritales de Ambiente (SDA) y de Movilidad de Bogotá (SDM) durante los tres años de duración del proyecto. Además, la Asociación Nacional de Funcionarios del Transporte en Ciudades de Estados Unidos (NACTO, por sus siglas en inglés) hizo parte del proyecto durante la fase de construcción del proceso en el primer año.

Se conformó un equipo de trabajo con personas expertas de cada institución, quienes participaron y dieron seguimiento al proceso de construcción de indicadores para el caso del Barrio San Felipe. La coordinación del equipo de trabajo para el desarrollo de este proyecto se basó en tres actividades:

- **Actividad 1.** Elaboración, ajuste de cronograma del proyecto e implementación de puntos de levantamiento de información.
- **Actividad 2.** Levantamiento de información.
- **Actividad 3.** Desarrollo de acciones, seguimiento y análisis de resultados.

La SDA es la entidad encargada de operar las estaciones de monitoreo de calidad del aire en Bogotá. Cuenta con equipos que registran los niveles de contaminación por material articulado $PM_{2,5}$, PM_{10} , ozono (O_3) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Es la encargada de operar los sensores de bajo costo de los proyectos de la ciudad donde se requiera realizar un análisis de contaminantes a escala microambiental. Esta entidad cuenta con una



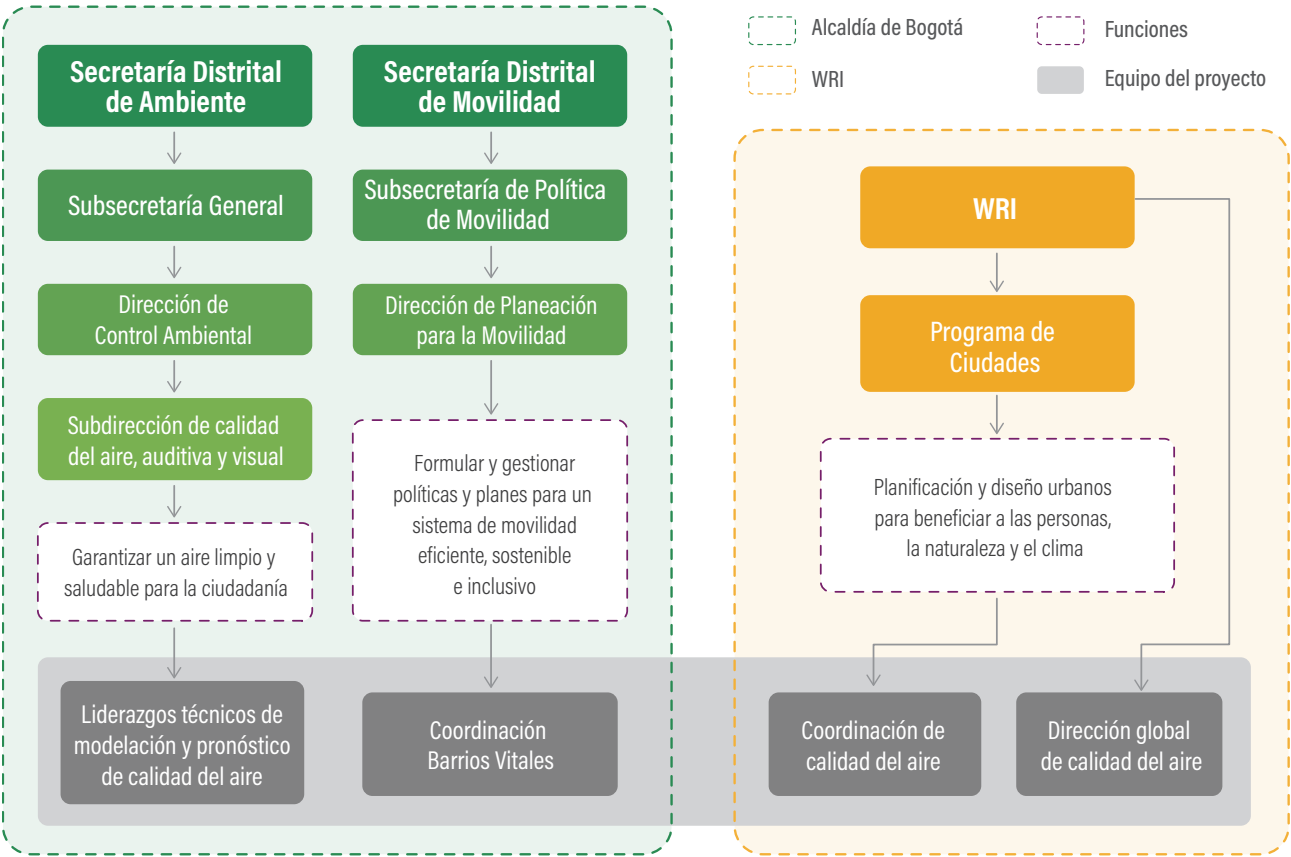
experiencia histórica importante en la generación de datos para la toma de decisiones, lo que la posiciona como una autoridad ambiental para determinar acciones orientadas hacia alcanzar las metas de calidad del aire en la ciudad. Algunos ejemplos de estas acciones son: la generación de datos en el Observatorio Ambiental de Bogotá, el Índice de Calidad del Aire (ICA), y el establecimiento del pronóstico de calidad del aire, entre otras.

La SDM coordina el proyecto Barrios Vitales, y es la encargada de ejecutar las fases de planificación de

la obra, ejecución y seguimiento. Para el año 2024, existen otros Barrios Vitales en fase de implementación como las Cruces, El Porvenir y San Cristóbal.

El siguiente esquema (Figura 2) presenta la estructura de los equipos involucrados en la intervención, así como su misión y funciones. También se detalla la participación en la construcción y evaluación de los indicadores de impacto en la calidad del aire para el proyecto de Barrios Vitales en San Felipe.

Figura 2 | **Esquema de la estructura de las Secretarías Distritales de Ambiente y Movilidad y su rol dentro del proyecto Barrios Vitales**



Fuente: elaboración propia.

Síntesis metodológica

La metodología de investigación basada en casos de estudio permite comunicar información compleja de manera efectiva y proporciona una base de evidencia para respaldar conclusiones y recomendaciones. Además, pueden inspirar y motivar otros estudios al mostrar ejemplos de buenas prácticas y logros alcanzables.

La evaluación de indicadores de impacto en calidad del aire en el Barrio Vital San Felipe se construyó mediante un diseño de investigación cuantitativo, que combina análisis de datos de calidad del aire y estimación de emisiones atmosféricas.

Esto permitió analizar el comportamiento de la calidad del aire antes y después de la obra civil de urbanismo táctico para documentar la experiencia y generar conocimiento.

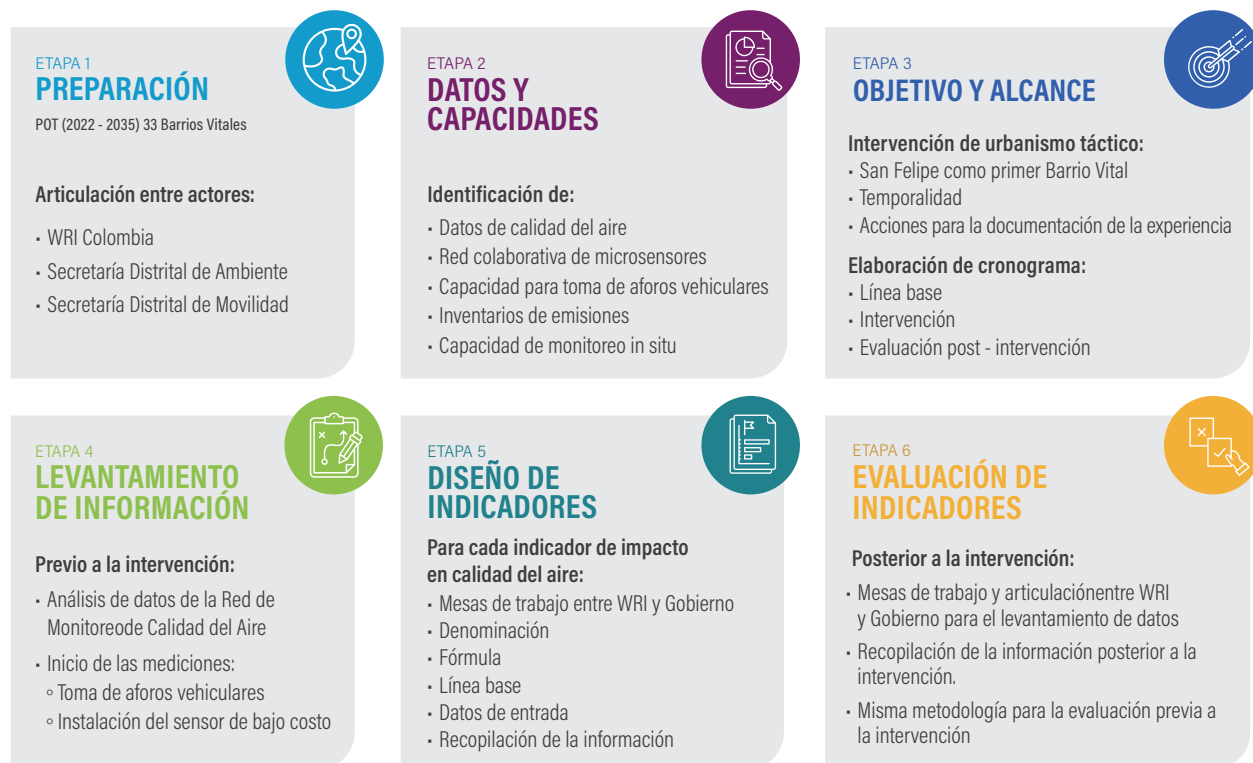
En la Figura 3, se presenta el proceso de diseño y evaluación de los indicadores en seis etapas:

identificación del proyecto, identificación de la capacidad, establecer el objetivo y el alcance del proyecto, diseño de indicadores de impacto en calidad del aire, y evaluación del indicador.

Para iniciar, se identificó el proyecto enmarcado en el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá 2020-2035. Posteriormente, en mesas de trabajo entre la SDA, SDM y WRI Colombia, se identificaron los datos, equipos disponibles, inventarios y factores de emisión de la ciudad. Así mismo, se llegó a acuerdos para levantar información in situ, como los registros de microsensors y conteos vehiculares (aforos).

Los datos de campo permitieron recopilar datos sobre factores de actividad y estimar las emisiones generadas por los vehículos que transitan por el polígono del barrio San Felipe.

Figura 3 | Esquema metodológico para el diseño y evaluación de los indicadores



Fuente: elaboración propia.

El cronograma de trabajo para la recopilación de información, tanto antes como después de la implementación del urbanismo táctico, se definió de manera colaborativa. Este proceso aseguró la coordinación interinstitucional, a la par de una base de datos sólida para el diseño y evaluación de los indicadores de impacto en la calidad del aire.

Diseño de indicadores de impacto en calidad del aire

Los indicadores permiten medir los impactos, tanto positivos como negativos, en la calidad del aire como resultado de la implementación de la intervención. En la Tabla 1, se detallan los indicadores definidos colaborativamente entre la SDA, la SDM y WRI Colombia. Los tres indicadores diseñados se construyeron de acuerdo con los datos, herramientas e información con la que contaba la ciudad.

La Figura 4 presenta la línea de tiempo para el Barrio Vital San Felipe, donde se relacionan la línea base, la intervención de urbanismo táctico, la evaluación, los años de ejecución del proyecto, y las actividades generales que se realizaron para levantar la información y datos de campo.

La obra civil de urbanismo táctico se desarrolló en enero y febrero del año 2022. Las etapas de pre-intervención y post-intervención se indican en la Figura 4. Así mismo, el sensor de bajo costo para medir $PM_{2.5}$ estuvo en funcionamiento desde octubre de 2021, y proporcionó la información de línea base antes de la intervención, además de datos para la evaluación posterior a partir de marzo de 2022 del mismo contaminante.

Como se detalla en la Tabla 1, el primer indicador está asociado a emisiones vehiculares, el segundo a concentración microambiental de contaminantes, y el tercero a la concentración atmosférica de contaminantes criterio. El proyecto inició en el año 2021 y a partir de entonces se estableció la fecha de los primeros levantamientos de información. Para el primer indicador, el aforo previo a la intervención se realizó el martes 2 de febrero de 2021, y posteriormente se llevó a cabo nuevamente después de la intervención el 25 y 28 de febrero del año 2023.

Para el segundo indicador, la instalación del sensor se realizó de octubre a diciembre de 2021. El sensor siguió en funcionamiento hasta septiembre del año 2022 durante el periodo post-intervención, en el cual se recopilaban los datos para poder identificar una concentración de $PM_{2.5}$. En esta etapa, todas las pruebas de captura de información se realizaron en la misma ubicación para que los datos fueran consistentes con la concentración a nivel de calle en el polígono del barrio San Felipe.

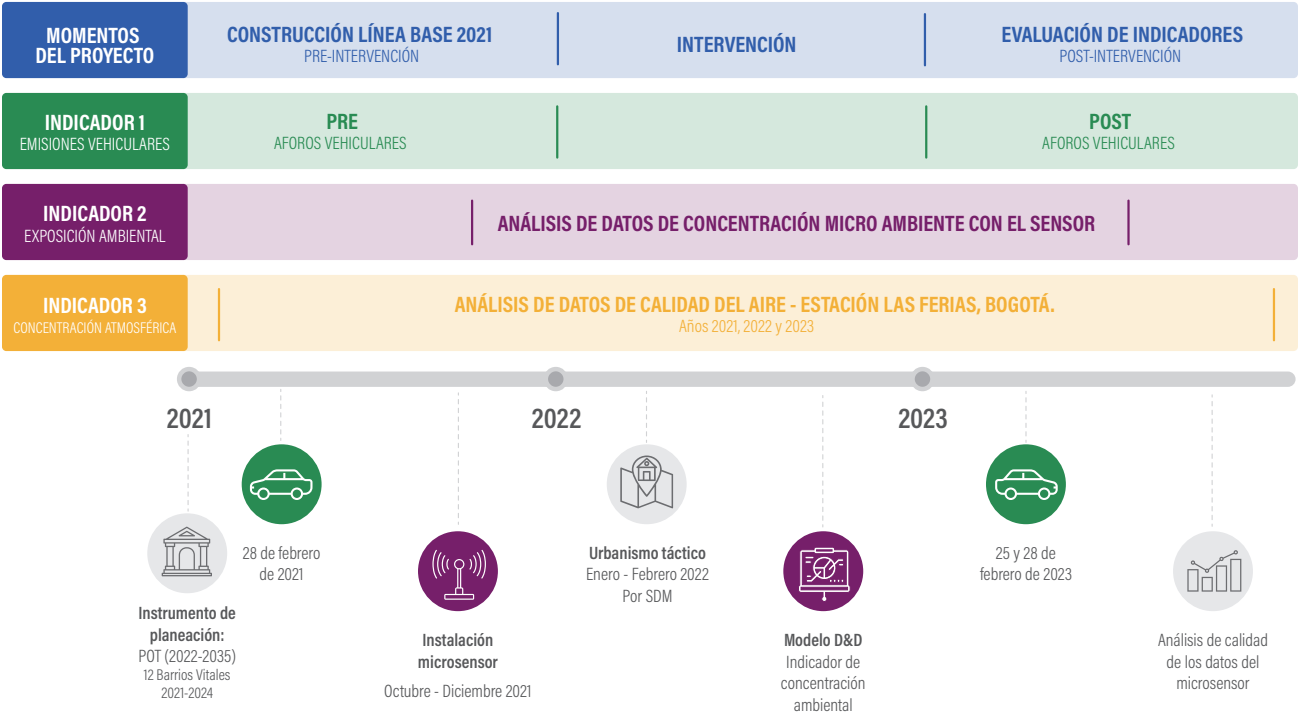
Para el tercer indicador, se tomó en cuenta la estación de monitoreo ambiental de Las Ferias (Figura 5), que es la más cercana al barrio San Felipe, ubicada en Avenida Calle 80 # 69Q-50 a una altitud de 2.225 msnm y en operación desde el año 2000. Esta estación tiene una representatividad espacial de 0,5 a 5 kilómetros en zonas pobladas, y es de tipo tráfico, es decir que mide la contaminación atmosférica generada principalmente por el tráfico vehicular. Para el presente estudio, se analizó la información de partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y gases (NO_2 y O_3) desde 2020 hasta 2023.

Tabla 1 | **Indicadores de calidad del aire en el proyecto Barrios Vitales**

OBJETIVO	INDICADOR DE IMPACTO EN CALIDAD DEL AIRE	EFFECTO ESPERADO EN CALIDAD DEL AIRE DERIVADO DE LA INTERVENCIÓN
Reducir emisiones de contaminantes del aire	1. Emisiones vehiculares reducidas ($PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_x , SO_2 , COV y CO).	Menor cantidad de emisiones de contaminantes criterio, especialmente por fuentes móviles.
Reducir la concentración micro ambiental de contaminantes del aire que afectan la salud	2. Concentración micro ambiental de contaminantes del aire ($PM_{2.5}$).	Menor exposición de la población a contaminantes del aire (a partir de esta información se pueden estimar impactos en la salud de la población en la zona).
Mejorar la calidad del aire de la ciudad de Bogotá	3. Concentración atmosférica de contaminantes criterio (impacto en la calidad del aire de la ciudad) ($PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 y O_3).	Menor concentración atmosférica de contaminantes criterio en la zona de influencia del proyecto o incluso de la ciudad.

Fuente: elaboración propia.

Figura 4 | **Línea de tiempo de las etapas del caso de estudio**



Fuente: elaboración propia.

Figura 5 | **Estación de Las Ferias para medir la concentración atmosférica decontaminantes del aire**



Fuente: fotografía proporcionada por la SDA (Com. Pers. 2024).

En la siguiente tabla se presenta el resumen de las metodologías, equipos utilizados, tiempos de línea base y evaluación, así como la frecuencia sugerida de medición de los tres indicadores (Tabla 2).

Tabla 2 | **Indicadores propuestos para el caso de estudio**

INDICADOR	INFORMACIÓN NECESARIA	MÉTODO	EQUIPOS	PERIODO DE LA LÍNEA BASE	PERIODO POST-INTERVENCIÓN	FRECUENCIA DE MEDICIÓN
1. Emisiones Vehiculares	- Aforos vehiculares - Factores de emisión - Factores de actividad o recorridos	(EPA, USA) Agencia de Protección Ambiental	N.A. (conteo manual)	28 de febrero 2021	25 y 28 de febrero 2023	Anual
2. Concentración microambiental (microescala)	- Datos del microsensor - Datos de concentración PM_{2,5} Estación Las Ferias	Diferencias en Diferencias	Sensor	Octubre, noviembre y diciembre 2021 (60 días)	Marzo a septiembre 2022	Diario
3. Concentración atmosférica local	Datos de concentración de contaminantes de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá	Métodos de referencia EPA	Estación de referencia	Enero 2020 a diciembre 2021	Marzo 2022 a diciembre 2023	Mensual

Fuente: elaboración propia.



Evaluación de indicadores de calidad del aire

Indicador 1: Cambio en la emisión de contaminantes de vehículos (aforos)

Para estimar las emisiones por fuentes móviles generadas o evitadas en una zona específica, se necesitan datos sobre la cantidad de vehículos que

transitan en el polígono de intervención: aforos vehiculares, factores de emisión de contaminantes para distintas categorías vehiculares, y datos sobre la actividad o distancia recorrida (kilometraje) dentro de la zona de estudio. A continuación (Tabla 3), se detalla cada indicador y las estrategias utilizadas para recopilar datos en el contexto de este estudio.

Tabla 3 | Características de diseño y evaluación del indicador 1

INDICADOR 1	CAMBIOS EN LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES DEL AIRE DE LOS VEHÍCULOS EN EL BARRIO VITAL SAN FELIPE
Línea base*	Se realizan conteos de vehículos durante 10 o 20 minutos por hora y se extrapolan para obtener la cifra completa. En el caso del Barrio San Felipe, se llevaron a cabo aforos en cinco puntos: 1) Calle 76 con Carrera 20B 2) Calle 74 con Carrera 20B 3) Calle 74 con Carrera 20C 4) Calle 75 con Carrera 22 5) Calle 76 con Carrera 24 Fecha: martes 28 de febrero de 2021 Cobertura: Punto 1: 17 horas al día (5 a.m. a 9 p.m.) Puntos 2-5: 3 horas al día (4 p.m. a 7 p.m.)
Intervención urbanismo táctico	Enero y febrero de 2022 En operación desde marzo 2022 hasta el presente (junio 2025)
Post-intervención**	Conteo de vehículos durante 2 días. Conteos para las 3 horas del día con mayor flujo vehicular (16:00 a 17:00, 17:00 a 18:00 y 18:00 a 19:00). Fechas: sábado 25 de febrero de 2023 y martes 28 de febrero de 2023 Mismos cinco puntos para la toma de aforos
Análisis de información	• Flujos vehiculares de acceso y desvíos (cambios de dirección). • Valores de extrapolación de flujos a 24 horas para los puntos de aforo. • Longitudes de los tramos viales recorridos. • Porcentaje de participación de cada subcategoría vehicular en los grupos de aforo. • Ponderación de los factores de emisión con respecto a las tipologías vehiculares.
Ecuación genérica para cálculo de emisiones para los flujos vehiculares	$E_{ij} = FE_{ij} * FA_j * N_j * FC$ Donde: E_{ij} = Emisión para el contaminante (i) y para la categoría vehicular (j) (toneladas/año) FE_{ij} = Factor de emisión para el contaminante (i) y para la categoría vehicular (j) (g/km) FA_j = Factor de actividad promedio para la categoría vehicular (j) (km/año) N_j = Cantidad de vehículos para la categoría (j) (número de vehículos) FC = Factor de conversión de gramos a toneladas 10^6

INDICADOR 1	CAMBIOS EN LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES DEL AIRE DE LOS VEHÍCULOS EN EL BARRIO VITAL SAN FELIPE
-------------	--

Fórmula del indicador***	$\%reducción\ emisiones\ veh._i = \left(\frac{emisiones\ veh._i\ evaluación\ (t/año)_i}{emisiones\ veh._i\ línea\ base\ (t/año)_i} - 1 \right) * 100$ Donde: % reducción emisiones veh. i = Porcentaje de reducción de emisiones vehiculares de los contaminantes i (posterior a la intervención) emisiones veh. i evaluación = Emisiones de los contaminantes i, calculadas al momento de evaluación del indicador (t/año) emisiones veh. i línea base = Emisiones de los contaminantes i, calculadas en el levantamiento de línea base del indicador (t/año) i = Tipo de contaminante: PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO_x, CO, COV
---------------------------------	---

Fuente: elaboración propia.

Notas:

*Se considera que un solo día para la toma de aforos vehiculares no es suficiente para recopilar datos representativos. Este ejercicio se propone con el objetivo de identificar y practicar el método de estimación de emisiones contaminantes.

**Se recomienda considerar un día análogo al día de referencia en calidad del aire para análisis de datos post-intervención, ya que presenta condiciones meteorológicas y de contaminación atmosférica similares.

***Si al aplicar la ecuación se obtiene un porcentaje negativo, hubo reducción en la emisión de contaminantes del aire por fuentes móviles. El aumento de emisiones es posible en el marco de todo proyecto o intervención.

Caja 2 | Emisión de PM_{2,5}

Como ejemplo, se describe cómo se aplica la evaluación metodológica del indicador de aforos vehiculares a las emisiones de material particulado PM_{2,5}, para obtener la variación porcentual entre la emisión del año 2021 (línea base) y 2023 (evaluación).

Emisión PM_{2,5} en línea base (año 2021): 0,4204 t/año

Emisión PM_{2,5} en evaluación (año 2023): 0,4512 t/año

$$\% \text{ variación emisiones } PM_{2,5} = \left(\frac{0,4512 \frac{t}{año} PM_{2,5}}{0,4204 \frac{t}{año} PM_{2,5}} - 1 \right) * 100$$

$\% \text{ variación emisiones } PM_{2,5} = 7,33\%$

Para este caso se obtiene una variación positiva, es decir que, al momento de la evaluación del indicador (2023), se encontró un aumento del 7,33% en la emisión por combustión vehicular de PM_{2,5} con respecto a la línea base (2021). Esto podría explicarse debido a algunas restricciones derivadas de la atención de la pandemia por COVID-19 aún vigentes en 2021. Además, para el año 2022 el PIB de Colombia cercano creció en un 7,3% con respecto al año anterior. Aparentemente, el crecimiento de la actividad económica del país se refleja a nivel barrial, con el crecimiento proporcional del transporte. (ver en el *Apéndice I* la hoja de vida para este indicador).

Fuente: elaboración propia.

Este apartado también aborda la información necesaria para calcular el indicador de reducción de emisiones, junto con la metodología empleada y la evaluación de los resultados obtenidos. En la Caja 2 se presenta un ejemplo del análisis de emisión de contaminantes PM_{2,5}. Los Apéndices A-J contienen los datos y cálculos para los indicadores analizados.

Se recomienda implementar la metodología de diferencias en diferencias (diff-in-diff) para evaluar el impacto de intervenciones en la calidad del aire del barrio, al establecer un grupo de tratamiento (el barrio intervenido) y un grupo de control (barrio con características socioeconómicas y urbanas similares sin intervención). Es fundamental recolectar datos de calidad del aire antes y después de la intervención en ambos grupos, considerando un período de tiempo suficiente (mínimo 12 meses antes y después).

Para los demás contaminantes, se aplicó una metodológica similar, considerando especialmente si la variación era positiva o negativa. Se obtuvieron variaciones positivas para los seis contaminantes evaluados en la etapa post-intervención (PM_{2,5}, PM₁₀, SO₂, NO_x, CO y COV), con variación menor para partículas (7,35 por ciento) y superior para gases (entre 24,93 por ciento y 50,20 por ciento).

Estos resultados pueden estar asociados al diseño metodológico de la recolección de datos. La medición posterior a la intervención fue realizada en febrero de 2023 mediante conteo durante tres horas en los cinco puntos de aforo. En la medición de línea base se consideró un conteo de 17 horas para el punto de aforo con mayor tráfico, mientras que en los restantes cuatro se realizaron conteos de tres horas únicamente. Esta situación puede incrementar levemente la incertidumbre, ya que hay mayor dependencia de los valores de extrapolación de flujos vehiculares las 24 horas del día. La extrapolación de emisiones a periodo anual para la evaluación de seguimiento se realizó de la misma manera que para la evaluación de línea base.

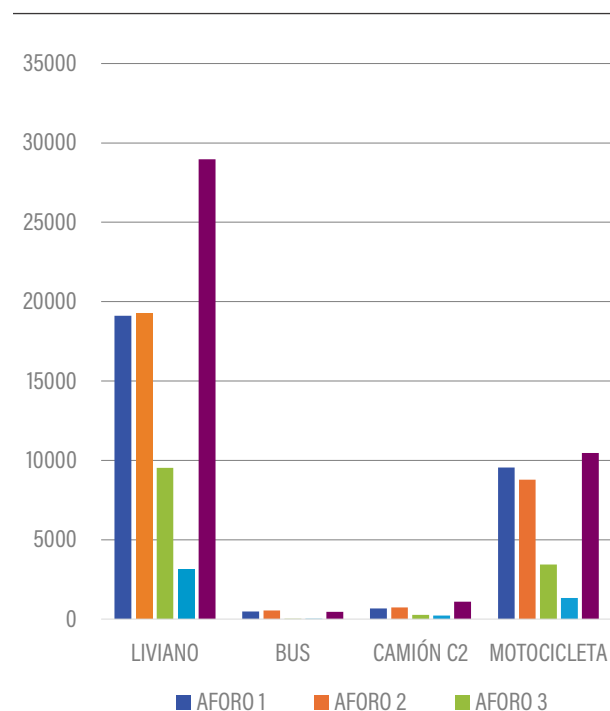
Análisis de la evolución del tráfico vehicular: comparación entre la línea base y la evaluación

A continuación (Figuras 6 y 7), se destacan las variaciones en los diferentes tipos de vehículos entre la línea base y la evaluación, al proporcionar información clave sobre los cambios en los patrones de tráfico, el impacto en políticas públicas, y las tendencias emergentes en la movilidad urbana.

Los datos sugieren cambios en la distribución modal del tráfico entre la línea base y la evaluación, con un notable aumento en los vehículos livianos y motocicletas, y una disminución de camiones y buses en ciertos puntos de medición. Estos cambios pueden reflejar tanto la reactivación económica, como posibles transformaciones de la intervención de urbanismo táctico y el comportamiento de las personas usuarias de transporte.

En la evaluación, se observa un aumento significativo en el número de vehículos livianos en comparación con la línea base. Por ejemplo, el aforo 1 de la línea base reportó 473 vehículos livianos, mientras que en la evaluación este número ascendió a 1.399. Esto sugiere un aumento en la circulación de vehículos livianos en el área evaluada, lo cual puede estar relacionado con la reactivación económica y el incremento del tráfico vehicular.

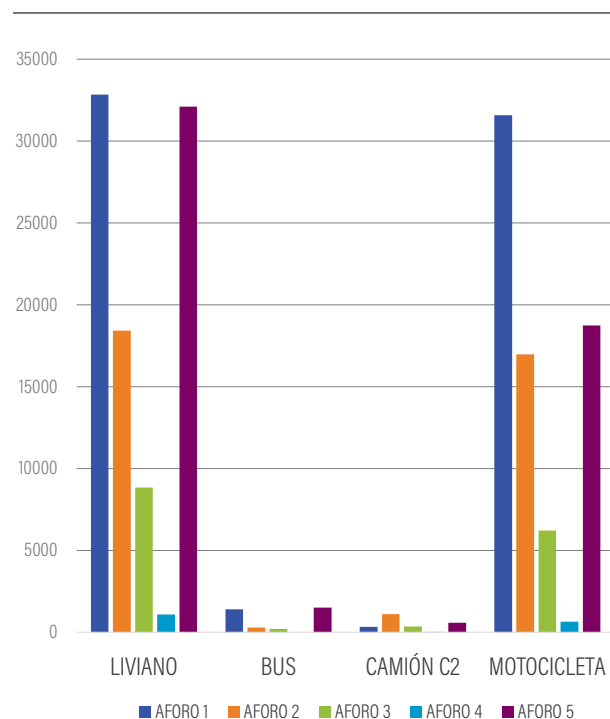
Figura 6 | Resultados de aforos vehiculares por categoría (línea base)



Fuente: elaboración propia.

Nota: 123.521 vehículos promedio por día hábil.

Figura 7 | Resultados de aforos vehiculares por categoría post-intervención



Fuente: elaboración propia.

Nota: 182.122 vehículos promedio por día hábil.

El tráfico de buses muestra una diferencia considerable entre la línea base y la evaluación. Por ejemplo, en el aforo 2 de la línea base se registraron 540 buses, pero en la evaluación en el mismo aforo este número descendió a 281. Esto podría indicar cambios en los patrones de transporte público, posiblemente debido a factores como la adaptación de las rutas o la preferencia por otros medios de transporte.

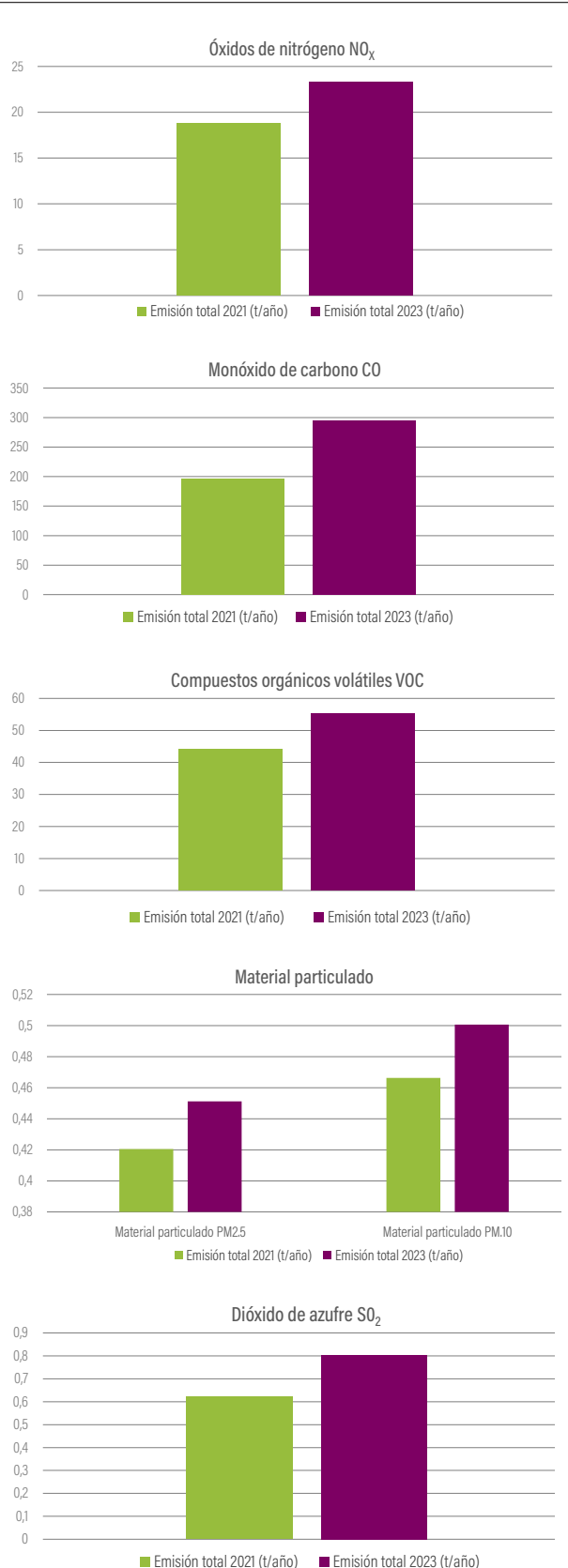
Los camiones C2 presentan una reducción de flujo vehicular entre la línea base y la evaluación. En la línea base se registraron 3.000 camiones C2, mientras que en la evaluación este número disminuyó a un total de 2.365. Esta caída podría reflejar cambios en la restricción del transporte de mercancías.

El flujo de motocicletas muestra un aumento generalizado. En el aforo 1 de la línea base, se registraron 2.045 motocicletas, mientras que en la evaluación este número ascendió a 3.297. Este incremento puede estar relacionado con un mayor uso de motocicletas como medio de transporte personal, debido a su eficiencia y menores costos operativos.

Las bicicletas también muestran un aumento. En el aforo 1 de la línea base se registraron 2.045 bicicletas, mientras que en la evaluación se observó un aumento a 3.602. Esto puede indicar una tendencia hacia el uso de medios de transporte más sostenibles y el fomento de la movilidad activa en la ciudad. En las siguientes gráficas (Figura 8) se aprecia el comportamiento de los contaminantes evaluados.

Recopilar conteos de vehículos en vía para estimar emisiones vehiculares se convierte en un reto cuando las condiciones no permiten replicar ejercicios anteriores. Por esto, se invita a las personas tomadoras de decisiones a reflexionar sobre los aprendizajes del proyecto en materia de calidad del aire, en vez de centrarse únicamente en demostrar la reducción de emisiones. La complejidad de cuantificar con precisión dicha reducción justifica este enfoque.

Figura 8 | Emisiones contaminantes respecto a porcentaje de incremento



Fuente: elaboración propia.

Indicador 2: Cambios en la emisión de contaminantes de los vehículos (microsensores)

Este indicador establece la variación en la concentración de contaminantes en un ambiente específico o microambiente, a partir de la implementación de intervenciones de infraestructura urbana y movilidad. Aunque conceptual y estratégicamente estas intervenciones persigan la mejora del entorno ambiental, en la práctica pueden surgir diferentes dinámicas que transforman la consecución de los objetivos del proyecto. Estos cambios no implican necesariamente una desviación del objetivo, sino que reflejan la complejidad de los procesos urbanos, donde algunos efectos pueden manifestarse más rápidamente que otros, y generar tanto sinergias positivas, como externalidades negativas. Por ejemplo, el aumento del comercio, el incremento en el flujo de vehículos o la resistencia al cambio por parte de la comunidad pueden influir en los resultados esperados. Lo fundamental es medir y analizar continuamente estas dinámicas para realizar los ajustes necesarios en la estrategia y las intervenciones en cada barrio. En este capítulo, se presentan la estrategia implementada, los desafíos y las oportunidades para capturar información mediante sensores de bajo costo para

medir la concentración de contaminantes del aire en microambientes.

La SDA de Bogotá adquirió microsensores de diferentes marcas y los comparó con la estación de referencia Las Ferias. Una vez seleccionado el microsensor con mejor representatividad del $PM_{2.5}$, se realizó un ajuste lineal de los datos. Posteriormente, se instaló un microsensor de la marca *PurpleAir* en la calle principal del Barrio San Felipe para obtener información de línea base y evaluación del indicador de concentración ambiental a contaminantes.

Para la instalación del sensor se consideraron los siguientes criterios para asegurar datos de calidad durante la toma de información de línea base, monitoreo y evaluación:

1. **Accesibilidad.** El lugar destinado tenía la característica de ser accesible para la instalación, mantenimiento y calibración del sensor.
2. **Proximidad a fuentes de datos.** Lugar cerca de las fuentes de interés (áreas con alta actividad vehicular, comercio, zonas verdes) para obtener datos relevantes.
3. **Condiciones ambientales.** Se consideró la exposición a factores ambientales que puedan afectar la medición, como la luz solar directa, la humedad y el viento.

Figura 9 | Mapa oficial - Ubicación del microsensor en el Barrio San Felipe



Fuente: información proporcionada por la SDA y SDM (Com. Pers. 2022).

- 4. Altura y orientación.** Se determinó la altura adecuada y la orientación del sensor para maximizar la captura de datos y minimizar obstrucciones.

5. Aspectos legales y permisos. Se cumplieron con las regulaciones locales sobre instalación del equipo.
- 6. Estabilidad del entorno.** Se seleccionó un lugar donde el entorno no cambiara drásticamente con el tiempo, con el objetivo de mantener la consistencia de los datos.

7. Facilidad de conexión. Se aseguró el acceso a fuentes de energía o conexión a redes de comunicación necesarias para el funcionamiento del sensor.

Tabla 4 | **Características de diseño y evaluación del indicador 2**

INDICADOR 2	CAMBIOS EN LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES AL AIRE DE LOS VEHÍCULOS EN EL BARRIO VITAL SAN FELIPE
Línea base	Octubre, noviembre y diciembre de 2021
Intervención urbanismo táctico	Enero y febrero de 2022
Lecturas del sensor de bajo costo	Las lecturas del sensor son las que se muestran a continuación, para el periodo de octubre de 2021 a septiembre de 2022. Serie horaria del microsensor (ug/m³) Datos horarios. Serie horaria PurpleAir Casa San Felipe . <i>Fuente: elaboración propia.</i>
Lecturas del sensor de bajo costo	Serie diaria del microsensor (ug/m³) Datos diarios. Serie diaria PurpleAir Casa San Felipe . <i>Fuente: elaboración propia.</i> Los datos se alteran después de septiembre de 2022, momento en el que se detectan fallas en las lecturas del microsensor. Por esto, los datos posteriores no pueden ser tenidos en cuenta, dado que su integridad se encuentra comprometida.
Post-intervención	Para la evaluación del indicador de exposición ambiental a contaminantes del aire, el grupo control serán los datos de la estación de monitoreo de calidad del aire con método de referencia de Las Ferias y el grupo de tratamiento son los datos obtenidos (y ajustados como se describió antes) del microsensor ubicado en el Barrio San Felipe.

INDICADOR 2

CAMBIOS EN LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES AL AIRE DE LOS VEHÍCULOS EN EL BARRIO VITAL SAN FELIPE

Análisis de información

- **Comparación.** Determinar la eficiencia en la medición del microsensor, como información de tipo indicativa.
 - **Medición en microambiente.** Determinar los valores de concentraciones en un ambiente específico y garantizar que el microsensor refleje mejor las lecturas.
 - **Evaluación de impacto de la intervención.** Metodología de diferencias en diferencias, entre área de control y área de intervención.
 - **Indicador de impacto longitudinal.** Se propone la generación de un indicador que busca hacer un seguimiento temporal a la intervención, con el fin de evaluar su estabilidad o el tiempo de efecto de la medida inicial.
- Diferencias en diferencias: Consiste en medir el efecto que tiene una intervención sobre un grupo de datos (grupo de tratamiento) respecto a un grupo de datos de comparación que no tiene la intervención (grupo de control), en el mismo periodo del tiempo, al asumir que ambos grupos presentan una tendencia o comportamiento paralelos.

Ecuación general utilizada para aplicar la metodología de diferencias en diferencias

La siguiente es la ecuación general utilizada para aplicar la metodología de diferencia en diferencias:

Donde

$$DD = \text{Diferencia}_{\text{tratamiento}} - \text{Diferencia}_{\text{control}}$$

$$\text{Diferencia}_{\text{tratamiento}} = \text{Dato}_{\text{tratamiento;después}} - \text{Dato}_{\text{tratamiento;antes}}$$

$$\text{Diferencia}_{\text{control}} = \text{Dato}_{\text{control;después}} - \text{Dato}_{\text{control;antes}}$$

$$\text{Diferencia}_{\text{tratamiento}} = \text{Diferencia entre dato antes y después intervención en grupo tratamiento}$$

$$\text{Diferencia}_{\text{control}} = \text{Diferencia entre dato antes y después de intervención en grupo de control}$$

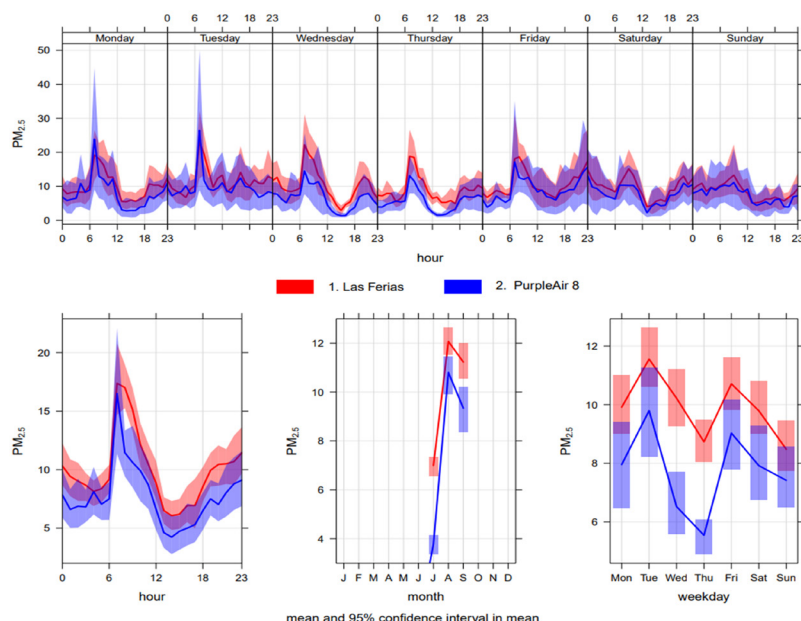
Para ambos grupos, de tratamiento (datos del microsensor) y de control (datos estación Las Ferias), los datos requeridos corresponden a las concentraciones de $PM_{2.5}$ antes (octubre 2021- enero 2022) y después de la intervención (marzo 2022 - agosto 2022).

Fuente: elaboración propia.

Se realizó el proceso de comparación de la medición del microsensor *PurpleAir* con la estación de referencia Las Ferias, considerando los datos

del 1° de julio y 18 de septiembre de 2021. La Figura 10 presenta el resultado de dicho proceso de comparación.

Figura 10 | **Proceso de comparación del microsensor PurpleAir en la estación de referencia de Las Ferias**



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de promedios mensuales para datos horarios y diarios en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Caja 3).

Caja 3 | **Concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidas con microsensor *PurpleAir* en el barrio San Felipe**

Escala horaria

	PRE-INTERVENCIÓN			INTERVENCIÓN		POST-INTERVENCIÓN							
Estadístico	2021-10	2021-11	2021-12	2022-01	2022-02	2022-03	2022-04	2022-05	2022-06	2022-07	2022-08	2022-09	Total
1. Promedio	18	18	20	20	29	23	17	29	32	6	1	15	19
2. Desviación estándar	16	13	17	14	15	21	12	12	6	8	2	13	13
3. Coeficiente de Variación	88	72	87	71	52	91	68	40	19	127	386	82	70

Escala diaria

	PRE-INTERVENCIÓN			INTERVENCIÓN		POST-INTERVENCIÓN							
Estadístico	2021-10	2021-11	2021-12	2022-01	2022-02	2022-03	2022-04	2022-05	2022-06	2022-07	2022-08	2022-09	Total
1. Promedio	16	21	20	19	28	23	17	17	23	6	0	16	17
2. Desviación estándar	10	8	9	8	9	11	7	13	11	4	1	10	9
3. Coeficiente de Variación	58	37	46	42	31	46	41	77	49	75	239	61	51

Fuente: elaboración propia.

Para saber cuál de los dos conjuntos de datos deben usarse en medir las diferencias en diferencias (o si ambos son válidos), se realizó un trabajo estadístico para identificar un grupo control. Este trabajo consistió en evaluar el comportamiento de las estaciones de referencia de toda la ciudad de Bogotá, para establecer cuáles pueden ser grupo control y cuáles no.

Lo anterior permite responder si la estación de Las Ferias es un grupo control válido para contrastar las mediciones en San Felipe. Para esto, es necesario evaluar si la estación ha tenido cambios en su entorno (cambios en la composición urbana), a la

par de hacer comparaciones y evaluaciones entre 17 estaciones del sistema de monitoreo de referencia para los periodos de interés (octubre-diciembre 2021, pre-intervención, y marzo-septiembre 2022, post-intervención). A escala diaria, se encontró que 13 estaciones no presentaron cambios significativos en su entorno, y, por tanto, pueden ser grupo control. Mientras que, a escala horaria, solo cuatro estaciones se mantuvieron en condiciones estables, que pueden ser grupo control.

Lo anterior lleva a considerar la escala diaria como la mejor manera de medir los impactos en calidad del aire para proyectos de infraestruc-

tura urbana y movilidad, dada la volatilidad de los datos horarios, que tan solo con el cambio geográfico (mismas estaciones de referencia en sitios diferentes), presentan cambios en su entorno y no son útiles para la evaluación. El detalle metodológico y resultados de la evaluación anterior puede ser consultada en la publicación de Romero y Grajales (2023).

La Tabla 5 presenta las concentraciones de PM_{2,5} obtenidas para los dos sitios. La medición durante el periodo anterior a la intervención

presenta una diferencia de 1µg/m³ entre los dos sitios, mientras que para cada periodo evaluado se presentan diferencias entre los dos periodos (antes y después). Ante esto, se considera que los valores de las diferencias no corresponden a cambios en el entorno, ya que se encuentran asociados principalmente a la variabilidad en el ciclo intra anual en el transporte global y regional de contaminantes.

Tabla 5 | **Concentraciones diarias de PM_{2,5} en Las Ferias y San Felipe**

UBICACIÓN	PERIODO EVALUADO	DÍAS EVALUADOS	MEDICIÓN ANTES	MEDICIÓN DESPUÉS (UG/M3)	DIFERENCIA (DESPUÉS-ANTES)
Las Ferias	Marzo a Marzo	30	18	21	3
	Marzo a Abril	60	18	18	0
	Marzo a Mayo	90	18	16	-2
	Marzo a Junio	120	18	15	-3
	Marzo a Julio	150	18	14	-4
	Marzo a Agosto	180	18	14	-4
	Marzo a Sept	210	18	14	-4
San Felipe	Marzo a Marzo	30	17	18	1
	Marzo a Abril	60	17	17	0
	Marzo a Mayo	90	17	16	-1
	Marzo a Junio	120	17	17	0
	Marzo a Julio	150	17	16	-1
	Marzo a Agosto	180	17	14	-3
	Marzo a Sept	210	17	14	-3

Fuente: elaboración propia.

Cálculo de diferencias en diferencias para el indicador 2

Tomando como ejemplo las concentraciones de $PM_{2,5}$ para el mes de marzo de 2022, se describe cómo se desarrolla la aplicación metodológica de evaluación del indicador con diferencias en diferencias, para obtener la concentración de línea base y la concentración del mes de evaluación.

Grupo de Tratamiento – Microsensor San Felipe

Concentración $PM_{2,5}$ en línea base (promedio octubre a diciembre de 2021): $17 \mu/m^3$

Concentración $PM_{2,5}$ en evaluación (marzo de 2022): $18 \mu/m^3$

Grupo de Control – Estación Las Ferias

Concentración $PM_{2,5}$ en línea base (promedio octubre a diciembre de 2021): $18 \mu/m^3$

$$DD = \text{Diferencia}_{\text{tratamiento}} - \text{Diferencia}_{\text{control}}$$

$$D = (18 \mu/m^3 PM_{2,5} - 17 \mu/m^3 PM_{2,5})$$

$$- (21 \mu/m^3 PM_{2,5} - 18 \mu/m^3 PM_{2,5})$$

$$DD = -2 \mu/m^3 \text{ de } PM_{2,5}$$

Concentración $PM_{2,5}$ en evaluación (marzo de 2022): $21 \mu/m^3$

La intervención evaluada redujo la concentración de $PM_{2,5}$ en $2 \mu g/m^3$ en comparación con el grupo de control. Esto demuestra que la intervención mitigó parcialmente el aumento esperado de contaminación, al destacar la importancia de métodos como el de diferencias en diferencias para evaluar comportamientos de la calidad del aire en contextos complejos.



Indicador 3: Registros de calidad del aire en la estación de Las Ferias

Este indicador establece la variación en la concentración atmosférica de contaminantes criterio que se registran en la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB). Los impactos en calidad del aire derivados de alguna intervención en infraestructura urbana y movilidad no se perciben en los promedios de concentración de la ciudad. Por esta razón, se hace necesario identificar la estación de monitoreo que tenga mayor cercanía y representatividad del barrio que en proceso de intervención.

Para este estudio de caso, conforme al análisis de ubicación de San Felipe y de las estaciones de la RMCAB, se encontró que la estación que podía ofrecer mayor representatividad de las condiciones de calidad del aire era Las Ferias (Tabla 6, Figura 11). Por lo tanto, los registros de comportamiento

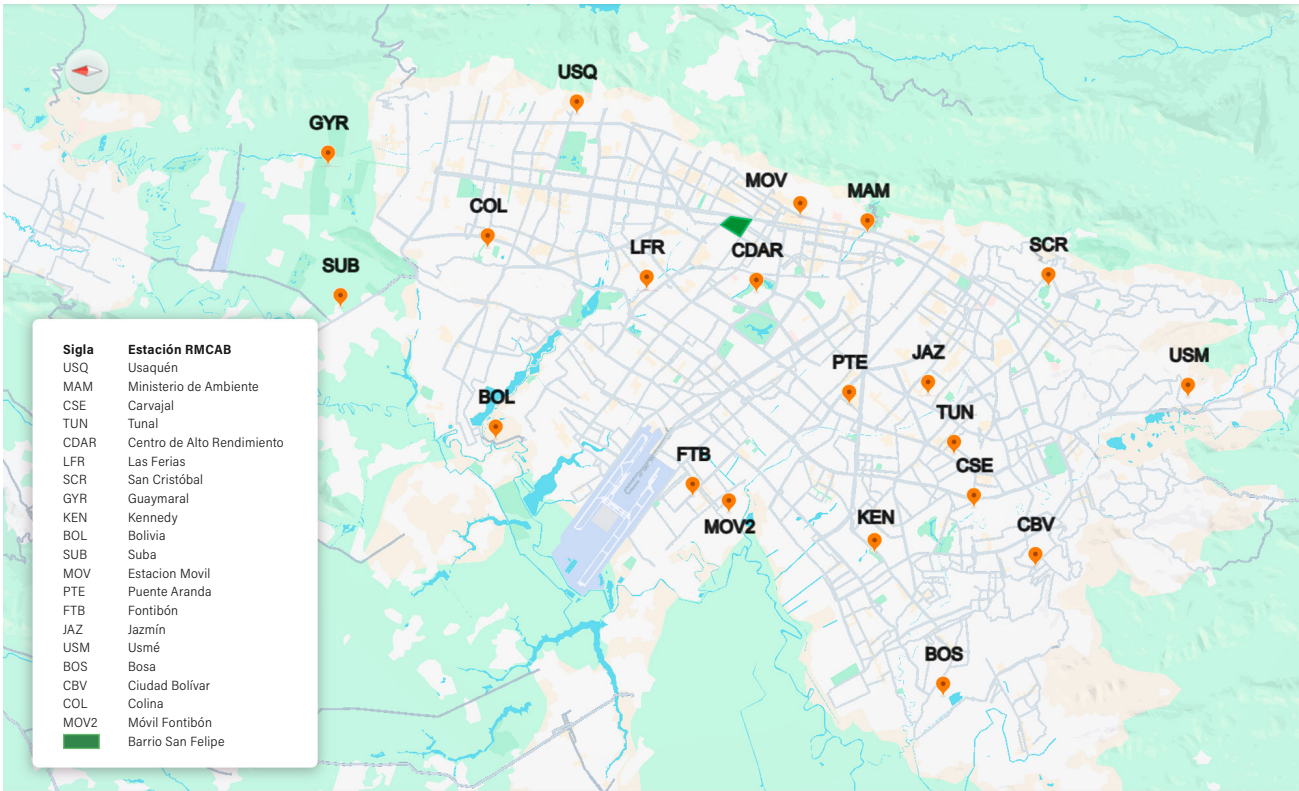
de contaminantes atmosféricos y de variables meteorológicas de esta estación son considerados para establecer la línea base y realizar la evaluación del presente indicador (Tabla 7).

Tabla 6 | Características de la estación Las Ferias de la RMCAB

NOMBRE DE LA ESTACIÓN	LAS FERIAS (LFR)
Coordenadas	4°41'26.52"N 74°4'56.94"W
Localidad	Engativá
Dirección	Avenida Calle 80 # 69Q-50
Tipo de estación	Urbana de tráfico
Altitud	2.552 msnm
Altura toma de muestra	4 m
Altura sensor de viento	10 m

Fuente: SDA (2022).

Figura 11 | Mapa de ubicación de las estaciones de la RMCAB



Fuente: información proporcionada por la SDA y SDM (Com. Pers. 2022).

Tabla 7 | **Características de diseño y evaluación del indicador 3**

INDICADOR 1	CAMBIOS EN LA CONCENTRACIÓN DE GASES Y PARTÍCULAS EN LA ESTACIÓN LAS FERIAS
Línea base*	Datos de la estación Las Ferias de partículas (PM _{2,5} y PM ₁₀) y gases (NO _x y O ₃) del 1° de enero de 2020 hasta el 31 de diciembre de 2021
Enero y febrero 2022	Enero y febrero 2022
Post-intervención	Análisis de datos: del 1° de marzo de 2022 al 31 de diciembre 2023
Análisis de información	Para el análisis es aconsejable realizar una revisión de la compatibilidad de condiciones meteorológicas entre el mes de línea base y el de evaluación, es decir que se tengan condiciones meteorológicas análogas. De no encontrarse compatibilidad, es viable buscar la condición análoga en el mismo mes de años anteriores a la línea base, de preferencia no más de cinco años atrás con respecto a la línea base.
Ecuación	Los datos son considerados en promedios mensuales. $\% \text{reducción [] contaminante}_{i,j,m} = \left(\frac{[] \text{contaminante}_{i,j,m} \text{ evaluación } (\mu/m^3)}{[] \text{contaminante}_{i,j,m} \text{ línea base } (\mu/m^3)} - 1 \right) * 100$ Donde % reducción [] contaminantes _{i,j,m} = Porcentaje de reducción de la concentración atmosférica local del contaminante _{i,j,m} posterior a la intervención [] contaminantes _{i,j,m} evaluación = Concentración atmosférica local del contaminante _{i,j,m} a nivel de inmisión para el momento de evaluación del indicador (μ/m³) [] contaminantes _{i,j,m} línea base = Concentración atmosférica local del contaminante _{i,j,m} a nivel de inmisión en levantamiento de línea base del indicador (μ/m³) _{i,j,m} = Contaminante: PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, O₃, CO

Fuente: elaboración propia.

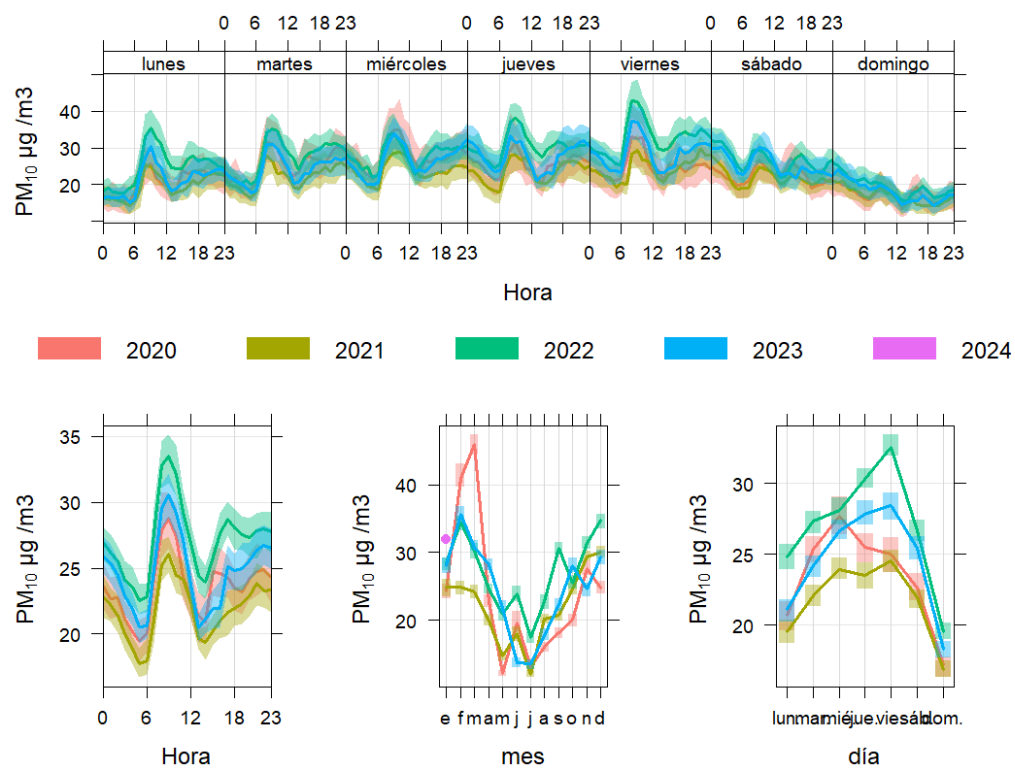
A continuación, se presentan los resultados de la concentración de contaminantes durante los períodos anuales de 2020 a 2023. Los dos primeros años hubo medidas que alteraron la dinámica de la ciudad como respuesta a la pandemia por COVID-19. Para analizar el comportamiento de la calidad del aire e identificar la tendencia de gases y partículas tras la intervención realizada en el Barrio San Felipe, se construyeron las siguientes gráficas que muestran las concentraciones en la estación Las Ferias por horas, meses y días durante los períodos anuales mencionados (Figuras 12-15).

Los comportamientos horarios observados para las partículas PM₁₀ y PM_{2,5} indican un incremento a las seis de la mañana, alcanzando un pico a las doce del mediodía. Después, parece que hay una tendencia al aumento cercana a las seis de la tarde, lo que podría

señalar un comportamiento asociado a las horas pico. En cuanto a la variación temporal durante los años de análisis, se identifica que, en 2022 (año de la intervención), se presentan altas concentraciones, mientras que hacia 2023 se observa una tendencia al descenso.

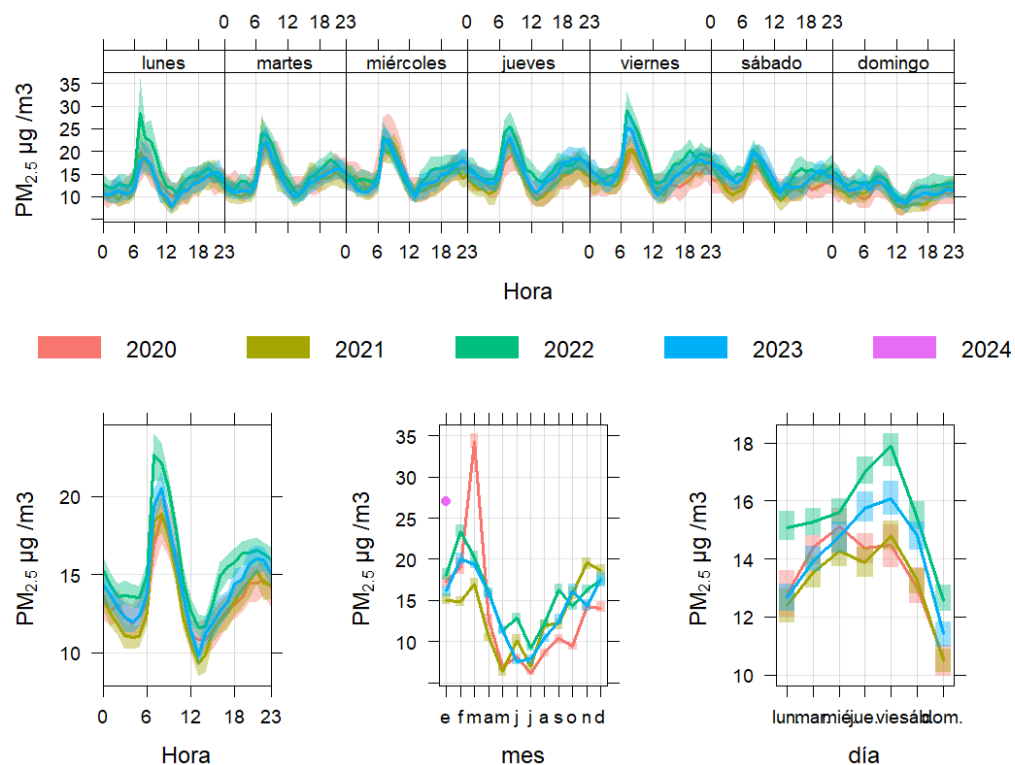
Con respecto a los gases, el dióxido de nitrógeno presenta una tendencia a la disminución durante los fines de semana y en horas valle. En el caso del ozono, se observa un aumento hacia finales de semana, con un periodo de incremento durante el medio día, asociado a las horas de luz solar en la ciudad. En comparación con los años anteriores y en relación con la intervención, se observa en los óxidos de nitrógeno una tendencia a la disminución para el año 2023, comportamiento similar al observado en el ozono.

Figura 12 | **Concentraciones horarias, diarias y mensuales de PM_{10} en la estación Las Ferias**



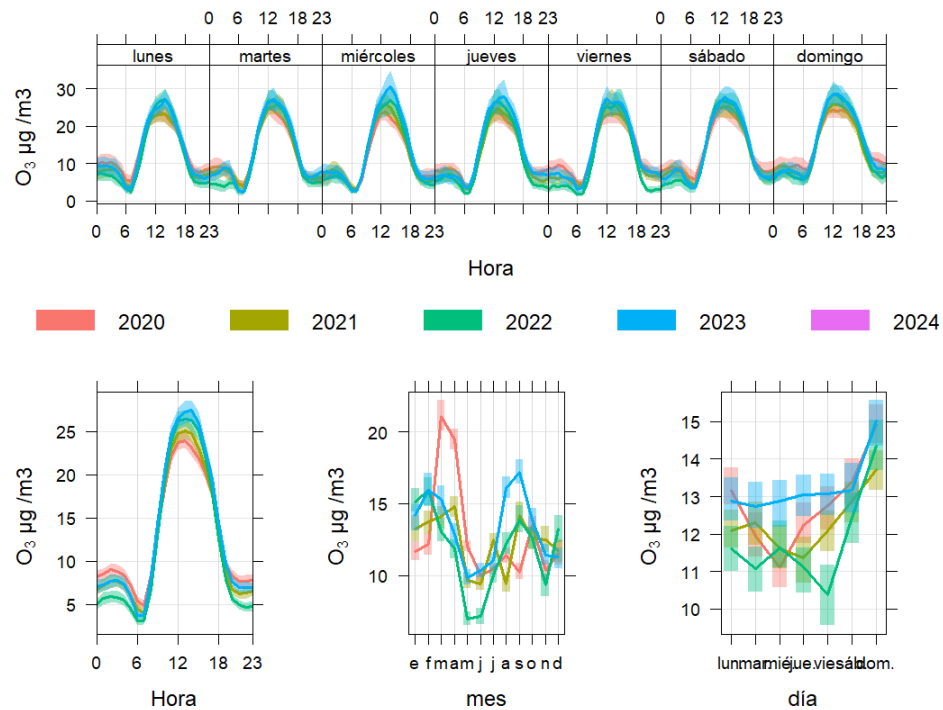
Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la SDA (Com. Pers. 2024).

Figura 13 | **Concentraciones horarias, diarias y mensuales de $PM_{2,5}$ en Las Ferias**



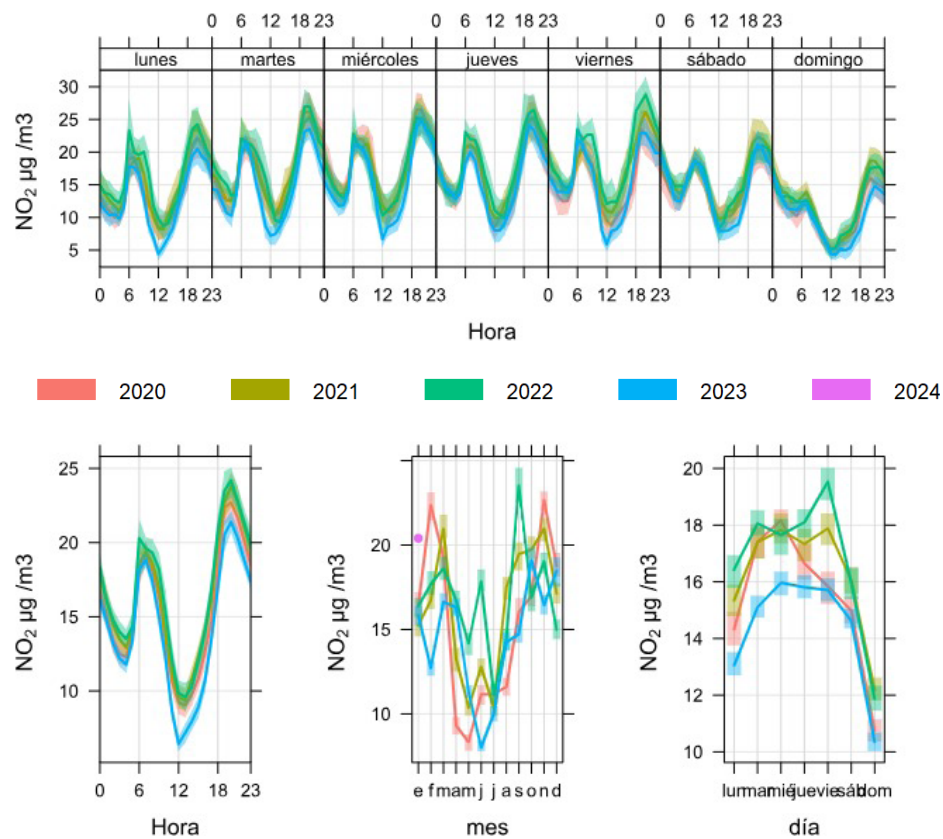
Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la SDA (Com. Pers. 2024).

Figura 14 | **Concentraciones horarias, diarias y mensuales de O₃ estación las ferias**



Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la SDA (Com. Pers. 2024).

Figura 15 | **Concentraciones horarias, diarias y mensuales de NO₂ en Las Ferias**



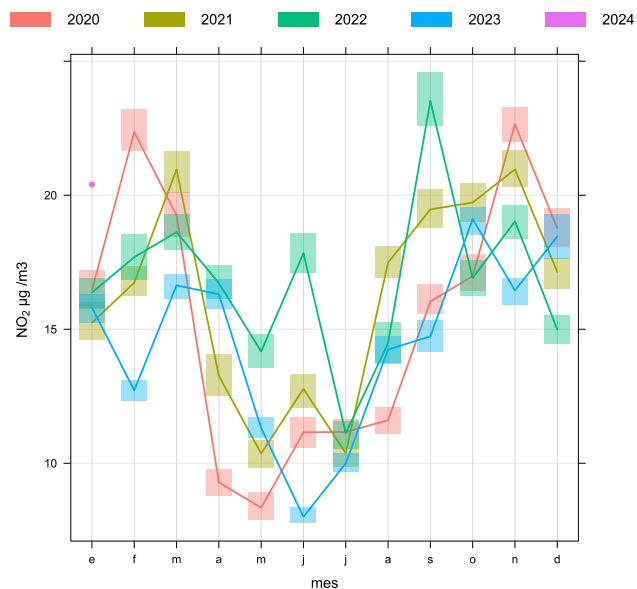
Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la SDA (Com. Pers. 2024).

Figura 16 | **Comportamiento de las concentraciones promedio mensuales de PM_{10} en Las Ferias**



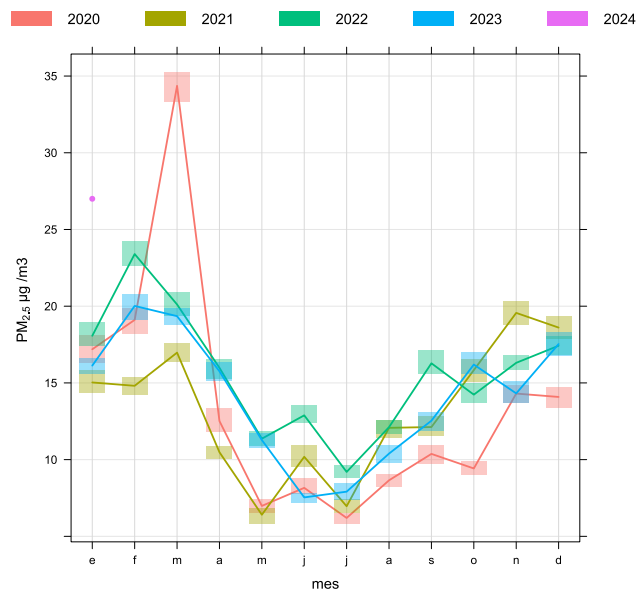
Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la SDA (Com. Pers. 2024).

Figura 18 | **Comportamiento de las concentraciones promedio mensuales de NO_2**



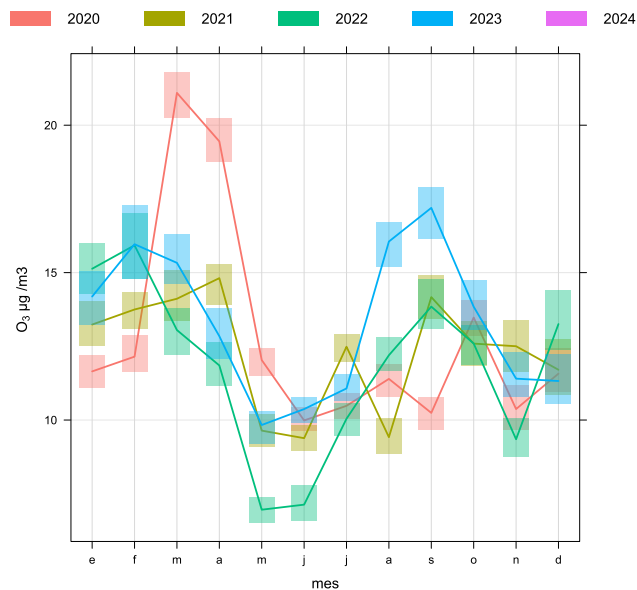
Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la SDA (Com. Pers. 2024).

Figura 17 | **Comportamiento de las concentraciones promedio mensuales de $PM_{2.5}$ en Las Ferias**



Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la SDA (Com. Pers. 2024).

Figura 19 | **Comportamiento de las concentraciones promedio mensuales de O_3**

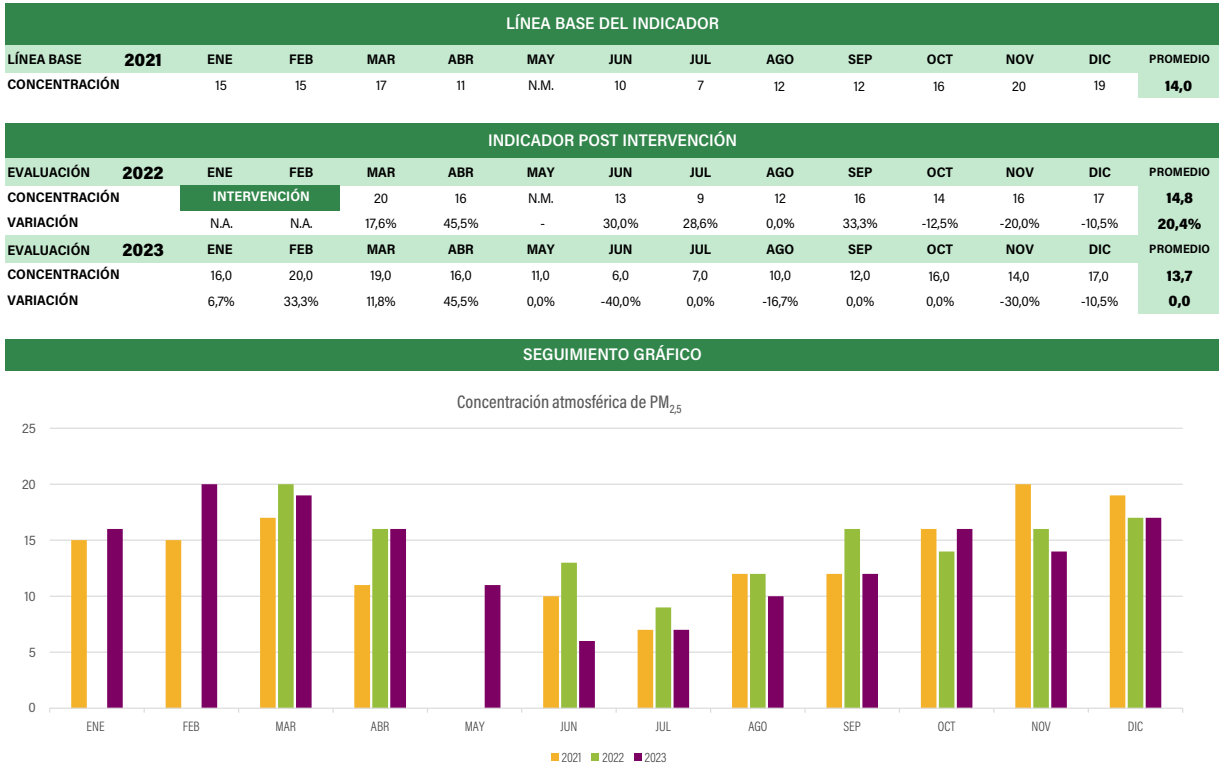


Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la SDA (Com. Pers. 2024).

La evaluación del indicador de concentración de datos provenientes de la estación Las Ferias se hizo mensualmente (Figuras 16-19), donde las partículas presentan ligeramente una disminución para el 2023. En cuanto a las concentraciones de gases, se observa que, para los dióxidos de nitrógeno, las concentraciones tienen la misma tendencia al descenso en el año 2023. Sin embargo, para ozono se puede apreciar una concentración levemente superior con respecto al año 2022.

Al tomar como ejemplo las concentraciones de material particulado $PM_{2,5}$ para todos los meses, se presentan los valores mensuales para $PM_{2,5}$ en 2021 (línea base), 2022 y 2023 (Caja 4). El resultado que se presenta en porcentaje de variación, acorde con la fórmula del indicador. (ver en el Apéndice J la Hoja de vida para este indicador).

Caja 4 | **Datos mensuales de $PM_{2,5}$ para los años 2021 a 2023**



Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la SDA (Com. Pers. 2024).

A continuación, y como ejemplo, se presentan dos escenarios de evaluación del indicador para octubre de 2022 y 2023, al aplicar la fórmula del indicador con respecto al valor mensual del año 2021. Con esto se obtuvo la variación porcentual entre la concentración del mes de línea base y la concentración del mes de evaluación.

Concentración $PM_{2,5}$ en línea base
(octubre de 2021): $16 \mu/m^3$

Concentración $PM_{2,5}$ en evaluación
(octubre de 2022): $14 \mu/m^3$

$$\% \text{reducción } PM_{2,5} = \left(\frac{14 \mu/m^3 PM_{2,5}}{16 \mu/m^3 PM_{2,5}} - 1 \right) * 100$$

$$\% \text{reducción } PM_{2,5} = -13\%$$

Concentración $PM_{2,5}$ en línea base
(octubre de 2021): $16 \mu/m^3$

Concentración $PM_{2,5}$ en evaluación
(octubre de 2023): $16 \mu/m^3$

$$\% \text{reducción } PM_{2,5} = \left(\frac{16 \mu/m^3 PM_{2,5}}{16 \mu/m^3 PM_{2,5}} - 1 \right) * 100$$

$$\% \text{reducción } PM_{2,5} = -0\%$$

La comparación entre 2021 y 2022 presenta una variación negativa, es decir que, al momento de la evaluación del indicador (octubre de 2022), se encontró una reducción del 13 por ciento en la concentración de $PM_{2,5}$ respecto al momento de la línea base (octubre de 2021). Para el año 2023 no se presenta variación con respecto a 2022.

Este ejercicio permite analizar los cambios en las concentraciones de contaminantes atmosféricos a nivel local, donde se ve reflejada la calidad del aire de varios barrios. Estos cambios no se atribuyen a la intervención de urbanismo táctico en el barrio San Felipe, ya que hay otras variables atmosféricas, urbanas y económicas. Sin embargo, permite monitorear la calidad del aire en los barrios de la zona. Una intervención urbana debería tener una escala territorial mayor para ver reflejados sus efectos a nivel estación.



Lecciones aprendidas

Indicadores cualitativos de percepción

El proyecto en el barrio San Felipe destacó la importancia de incorporar la percepción de las personas habitantes sobre los cambios observados, para complementar la evaluación de los indicadores de impacto en calidad del aire. En la práctica, conocer en qué momento las personas perciben mejoras o deterioros en la calidad del aire en su entorno resulta clave para el diseño de políticas públicas más efectivas. Así mismo, se identificó la necesidad de registrar y analizar las conductas adoptadas por personas residentes y visitantes, ya que influyen en la calidad del aire. De hecho, a partir de este proyecto, la SDM actualmente recopila estos indicadores de percepción y comportamiento en otros Barrios Vitales de Bogotá, como Las Cruces y El Porvenir.

Calidad de los datos

Los datos recopilados en este estudio se generaron por la red de microsensors de Bogotá, a partir de información secundaria, como los factores de emisión para vehículos, e información de campo como los aforos vehiculares. Es importante llevar a cabo los aforos vehiculares poco tiempo después de la intervención, para obtener una fotografía más acertada de las dinámicas vehiculares, además de los cambios en el mediano plazo. También, es necesario validar la información con modelos de tráfico para percibir cambios en las emisiones.

Así mismo, tanto en la captura de datos en los aforos vehiculares como en comparaciones de concentraciones de calidad del aire en periodos diferentes como lo es la línea base y la post-intervención, es recomendable utilizar días análogos. Un día análogo en calidad del aire es aquel que presenta condiciones meteorológicas y de contaminación atmosférica similares a un día de referencia, al compartir características como

temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, niveles de contaminantes, patrones de actividad urbana (como tráfico e industria) y factores temporales (época del año, día de la semana). Este concepto es fundamental, ya que permite identificar patrones y evaluar la efectividad de medidas de control, con base en el comportamiento observado en días con condiciones comparables.

Tras la medición del primer indicador de emisiones móviles, quedan las siguientes lecciones aprendidas:

- **Problema con la representatividad de la muestra de un solo día.** Usar solo un día o dos días, así como tres horas para recopilar datos, puede resultar insuficiente para que los resultados sean generalizables y reflejen la dinámica real de las emisiones estimada. Para que los resultados sean precisos y reducir la incertidumbre del dato, el tamaño de la muestra debe ser adecuado y representativo.
- **Priorización de la metodología más que de los resultados.** Es crucial que las personas tomadoras de decisiones se concentren en revisar y mejorar la metodología, en lugar de enfocarse exclusivamente en el valor numérico de los resultados. De hecho, sería más útil centrarse en las ecuaciones, ya que estas ilustran y proporcionan una base más sólida para tomar decisiones informadas.
- **La importancia de mostrar las fallas.** El análisis debe incluir la presentación de las fallas cometidas. Esta transparencia permitirá aprender de los errores y mejorar en futuros análisis.

Escala de la evaluación

El urbanismo táctico es una transformación urbana que, por su pequeña escala, no genera un impacto significativo en la calidad del aire a nivel local. Esto lleva a la necesidad de adecuar el método a la escala.

Para la evaluación de mediano plazo, se pueden utilizar mecanismos de aforo vehiculares con identificación y cruces de placa, similar a los que se utilizan en zonas de bajas emisiones en ciudades europeas (MITECO 2021). Con ello, se simplificaría el método de asignación de tecnologías a las categorías vehiculares identificadas por aforos convencionales, como el que se realizó en San Felipe. Hubiese sido de utilidad tener más precisión en la caracterización de las vías según el flujo vehicular (alto, mediano y bajo) e integrar algún software o modelo de simulación de tráfico para detallar la actividad del parque automotor de la zona y las respectivas velocidades promedio. Caracterizar los perfiles viales de la zona hubiese mostrado un cruce transversal de la vía, para comparar mejor la situación antes y después de las intervenciones.

Otras metodologías para evaluar indicadores a menor escala

La medición de indicadores de impacto en la calidad del aire a escala barrial es esencial para comprender y mitigar los efectos de la contaminación en la salud y el medio ambiente. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS 2006), se pueden utilizar estaciones de monitoreo de calidad del aire para medir concentraciones de contaminantes como $PM_{2.5}$, PM_{10} y dióxido de nitrógeno a nivel local, aunque es necesario complementar esta información con una evaluación de los efectos de las intervenciones a menor escala. Nalakurthi (2024) sugiere el uso de sensores de bajo costo, que permiten obtener información para que las comunidades tengan mayor poder de decisión sobre su entorno. Los enfoques integrados son fundamentales para desarrollar políticas efectivas y promover la conciencia ambiental a nivel barrial (García 2021).

Instalación de equipos

En el Barrio Vital San Felipe, el microsensor se ubicó en una zona de fondo local, caracterizada por bajo tráfico vehicular, ausencia de actividades comerciales o industriales que generen emisiones, y un entorno con áreas verdes y vías en buen estado. Esta zona presenta el menor nivel de concentración.

La propuesta metodológica se basó en la instalación de varios sensores de bajo costo (microsensores), calibrados con equipos de medición de referencia de la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá, que conforman la Red Colaborativa de Microsensores. Estos equipos generan, reciben y transmiten datos en tiempo real a una escala horaria o sub-horaria (entre horas), al usar la infraestructura de la zona de intervención (postes, fachadas, colegios, jardines infantiles, entre otros), sin requerir mayor espacio o condiciones técnicas. En contraste, las estaciones de la Red de Monitoreo de calidad del aire de Bogotá (RMCAB) cuentan con equipos robustos que miden de manera continua y permanente, y están acreditadas para generar información del estado de la calidad del aire a nivel local.

Con base en la experiencia en San Felipe, los puntos sugeridos para la instalación de los equipos son los siguientes:

- **Zona de fondo local.** Área dentro o en cercanía de la zona de intervención que se caracterice por tener bajo tráfico, sin presencia de actividades comerciales o industriales que generen emisiones, buen estado de las vías y zonas verdes. Corresponde al menor valor de concentración esperado.
- **Zona de máxima concentración.** Área identificada en la que se espera tener las mayores concentraciones dentro de la zona de desarrollo del proyecto. Junto con el sensor de la zona de fondo permiten tener un rango de concentraciones para la zona.
- **Puntos de intervención.** Obedecen al microambiente donde se llevará a cabo el proyecto y se espera la mayor disminución en la concentración de contaminantes.

- **Punto(s) en zonas con mayor presencia de población en condición vulnerable.** Permite tener información clave para adoptar medidas de protección ante los impactos a la salud en caso de que haya sinergias negativas (donde empeora la contaminación atmosférica por la interacción de múltiples factores, más que si se analizan por separado), relocalización de contaminación u otros efectos no intencionales.

Las mediciones del fondo local previas a cualquier intervención son fundamentales para establecer una referencia sólida que permita evaluar con precisión los efectos de la intervención sobre el medio ambiente, la salud pública u otros aspectos relevantes. Al contar con estas mediciones de fondo, se obtiene una línea base con la cual comparar la concentración medida en el punto de intervención, lo cual facilita la interpretación de los resultados y ayuda a identificar cambios significativos.

Sin mediciones de fondo adecuadas, es difícil determinar si las concentraciones observadas en el punto de intervención corresponden a un fenómeno natural, a factores externos ajenos a la intervención o, efectivamente, a un impacto causado por la misma. Esto evita la necesidad de prolongados períodos de monitoreo inicial o línea base que, de otro modo, podrían extenderse innecesariamente.

Además, se recomienda realizar mediciones de línea base que abarquen un período adecuado de tiempo antes de la intervención, y efectuar mediciones de seguimiento después de su implementación. Un periodo mínimo de tres meses entre las mediciones de línea base y las mediciones posteriores a la intervención es considerado adecuado para poder evaluar de manera efectiva los posibles efectos a corto o medio plazo de la intervención. Este intervalo de tiempo permite observar si los cambios en las concentraciones son temporales o permanentes, y si existe una tendencia consistente hacia la mejora o el deterioro. Así mismo, tres meses es un plazo suficiente para mitigar cualquier posible sesgo que pueda derivarse de fluctuaciones estacionales, eventos atípicos o influencias externas que puedan alterar los resultados de las mediciones. De esta manera, las mediciones de seguimiento realizadas después de este periodo pueden ofrecer una visión más precisa y confiable del impacto real de la intervención.

Estimación del impacto

El cambio en la concentración del contaminante a partir de las intervenciones se mide al normalizar la concentración en el sitio intervenido, tomando como referencia la concentración de la zona de fondo. La diferencia entre ambas concentraciones se define con base en las siguientes ecuaciones:

Si la intervención tiene una disminución en la concentración del contaminante i , el impacto es positivo, mientras que, si se incrementan las concentraciones en el sitio como producto de la intervención, se obtiene un impacto negativo.

$$\text{Aporte}_{ij} = \text{Intervención}_{ij} - \text{Fondo}_{ij}$$

i : contaminante de interés

j : periodo de medición.

$$\text{Impacto}_i = \text{Aporte}_{i \text{ antes}} - \text{Aporte}_{i \text{ después}}$$

En el caso de San Felipe, no se contó con zonas de comparación (contrafactuales) que permitieran evaluar los efectos del proyecto. Sin estas zonas, resulta difícil distinguir si los cambios observados se deben a la intervención del proyecto o si son consecuencia de otros factores externos, como el levantamiento de las restricciones por la pandemia por COVID-19 o el crecimiento económico experimentado en la zona.

Adicionalmente, como medidas complementarias, es posible calcular el impacto utilizando las mediciones en las áreas de mayor concentración de contaminantes, o las áreas con mayor población vulnerable. En particular, es importante realizar análisis fuera del área de influencia directa del proyecto, para contar con datos que permitan no perjudicar a las personas residentes o población cercana a la intervención. Estos estudios se pueden llevar a cabo con estaciones de referencia móviles o microsensors, así como modelos de fuentes móviles o de tránsito.

Ventajas y desventajas de los sensores de bajo costo

La elección de sensores de bajo costo depende del tipo de proyecto y de los requisitos específicos (Tabla 8). Para aplicaciones donde la precisión y la fiabilidad son críticas, se sugiere considerar opciones de mayor robustez. Sin embargo, para experimentación y aplicaciones menos críticas, los sensores de bajo costo pueden ser una excelente opción. En el caso de intervenciones de urbanismo táctico, como las del Barrio Vital San Felipe, se encontró que los sensores sencillos de bajo costo funcionan aceptablemente bien, aún considerando las fallas ocurridas durante el mes de septiembre.

Tabla 8 | **Ventajas y desventajas de los sensores de bajo costo**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Bajo costo, cercano a los 600 USD	Requiere procesos de ajuste para convertir el número de partículas a concentración
Se puede contar con un número mayor de puntos de medición a las estaciones de referencia, por lo que puede complementar dicha red y llevar a cabo un monitoreo más robusto	Variabilidad de modelos, marcas y características que han impedido la estandarización
Debido a su fácil manejo, es posible ubicarlos en escalas barriales, calle o para medir exposición personal	Mayor cantidad de datos atípicos, por lo que requiere un proceso de validación más profundo
Identifica diferentes tamaños de partículas	Requiere un detalle o análisis periódico de control de datos para determinar su correcto funcionamiento
De fácil manejo	Tiempo de vida corto que puede ser cercano a un año o menos dependiendo de la marca

Fuente: elaboración propia con base en la información disponible en el Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (SIATA) (AMVA 2018).

Uso de modelos de estimación de emisiones por fuentes vehiculares

El uso de modelos para cuantificar emisiones vehiculares es fundamental en la evaluación del impacto ambiental del transporte. Los modelos de simulación permiten estimar de manera precisa las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos (Egmond y Kesseboom 1985). Herramientas como el MOVES (*Motor Vehicle Emission Simulator*), desarrollado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés), son esenciales para realizar proyecciones basadas en variables como el tipo de vehículo y las condiciones de operación (USEPA 2019). Además, otros estudios indican que la calibración y validación de estos modelos son esenciales para garantizar su precisión y utilidad en la formulación de políticas ambientales (Lee et al. 2021). Estos enfoques integran datos en tiempo real y permiten a las ciudades desarrollar estrategias más efectivas para reducir las emisiones y mejorar la calidad del aire.

Además de los anteriores, el modelo COPERT (*Computer Programme to Calculate Emisiones from Road Transport*) es una herramienta ampliamente utilizada para estimar las emisiones de gases contaminantes provenientes del transporte por carretera. Este modelo, desarrollado por la Agencia Europea de Medio Ambiente, permite calcular las emisiones con base en parámetros como el tipo de vehículo, la distancia recorrida y las características del combustible utilizado. El modelo COPERT proporciona un enfoque sistemático para la evaluación de las emisiones, lo cual facilita la comparación entre diferentes escenarios de transporte y políticas ambientales (Ntziachristos et al. 2009). Para el barrio San Felipe, contar con modelos como este para la estimación los efectos hubiese permitido tener un impacto base estimado, con el cual comparar el impacto estimado a través de observaciones.

La gestión de la calidad del aire en los micro territorios

En el proceso de acompañar la intervención de urbanismo táctico, se encontró de utilidad integrar el concepto de microterritorio en los Barrios Vitales. La gestión de la calidad del aire a nivel de microterritorio se ha convertido en un enfoque crucial para abordar los problemas de contaminación atmosférica en áreas urbanas (Brunt et al. 2017). Este enfoque reconoce que la calidad del aire puede variar significativamente dentro de distancias cortas, influenciada por factores locales como el tráfico, la topografía y las actividades industriales. La implementación de estrategias de gestión a escala de microterritorio permite intervenciones más precisas y efectivas, como la creación de zonas de bajas emisiones, la optimización de la ventilación urbana y la promoción de infraestructura verde. El proyecto del Barrio San Felipe contó con ese enfoque durante la intervención de urbanismo

táctico, al escuchar a las personas residentes o visitantes sobre las mejores ideas a poner en práctica, quienes, de manera intuitiva, cuentan ya con una perspectiva de microterritorio.

Además, este enfoque microterritorial puede facilitar la implementación de soluciones basadas en la naturaleza, como la infraestructura verde urbana, que ha demostrado ser efectiva en la mitigación de la contaminación del aire a nivel local (Abhijith et al. 2017). En otras condiciones de implementación de proyectos, esto permite ampliar la gama de intervenciones en el mediano plazo. En última instancia, la gestión de la calidad del aire a nivel de microterritorio no solo contribuye a ciudades más saludables y habitables, sino que también proporciona un marco para abordar las desigualdades ambientales, promover la justicia ambiental en entornos urbano y la priorización de acciones en la planificación territorial y la adición de espacios verdes públicos en zonas urbanas (Figura 20) (Molina-Gómez et al. 2022).

Figura 20 | Aspectos de la gestión de la calidad del aire en los microterritorios



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Este trabajo, donde participaron dos entidades del distrito y WRI Colombia, muestra la relación sólida y de confianza entre instituciones, lo que puede abonar el camino para futuras alianzas. El trabajo articulado entre el gobierno, la comunidad, ONGs, y otros actores involucrados ha sido fundamental para el éxito y avance del proyecto de Barrios Vitales. Esta colaboración permitió una mejor coordinación de esfuerzos y recursos, al facilitar la implementación de intervenciones más efectivas y pertinentes a las necesidades de la comunidad. Además, fomentó el intercambio de conocimientos y experiencias entre las partes implicadas, al enriquecer la capacidad técnica institucional y promover un enfoque integral y participativo.

Barreras y soluciones en el Barrio Vital San Felipe

- Aunque se presentaron algunos retrasos en el inicio del proyecto, se identificaron y anticiparon posibles obstáculos en la fase de ejecución. Por parte del equipo, se presentó flexibilidad y adaptabilidad para ajustar el plan de trabajo y las estrategias para obtener los resultados esperados.
- En el proyecto, una de las barreras fue la suficiencia de recursos para el trabajo en campo. Para superar la falta de recursos, se establecieron canales claros y abiertos de comunicación entre los miembros del equipo y las partes interesadas.
- Los cambios en el personal de apoyo del proyecto fueron obstáculos constantes. Sin embargo, con apoyo y liderazgo se logró generar compromiso entre las personas directivas de las entidades y las partes interesadas para superar barreras organizacionales y externas.

Reflexiones metodológicas a partir de los resultados técnicos

A partir del proyecto fue posible avanzar en el entendimiento de los factores que impactan en la variabilidad de los datos, tales como las condiciones meteorológicas, el tráfico vehicular, las actividades industriales y comerciales, entre otros. Esta variabilidad se evidenció al analizar los patrones de concentración de contaminantes en diferentes momentos del día o en distintos puntos del territorio. Así, fue posible identificar que los niveles de calidad del aire están fuertemente influenciados por las condiciones locales, como la densidad de tráfico o la presencia de zonas verdes.

Este análisis permite entender mejor cómo se comporta el territorio en términos de calidad del aire y facilita la identificación de las problemáticas y desafíos que enfrentan los Barrios Vitales, al ofrecer una base sólida para la toma de decisiones y la implementación de soluciones efectivas. Durante el desarrollo del proyecto, emergieron elementos, retos y barreras en el reconocimiento de la información necesaria para identificar el método más conveniente para medir los impactos en calidad del aire según el tipo de proyecto, especialmente con respecto a emparejar la temporalidad de la intervención y las frecuencias de las mediciones de sus posibles efectos.

Las instituciones participantes pudieron visualizar que, para incidir positivamente en la calidad del aire, las estrategias de intervención del Barrio Vital pueden dirigirse también hacia las fuentes de contaminación atmosférica en los barrios. Surgieron ideas como la construcción de corredores que fomenten la movilidad activa con vehículos de cero o bajas emisiones y la reconversión tecnológica del tren motriz de los vehículos en circulación, entre otros.

Evaluación de indicadores de calidad del aire

- En el indicador de emisiones vehiculares, se observa un posible aumento en las emisiones posterior a la intervención, aunque la metodología tiene debilidades, por lo que puede no ser conclusiva. Falló el no tener un barrio contrafactual medido al mismo tiempo, por lo que no se pudo aislar el efecto del aumento del tráfico vehicular general por la reactivación económica (7,3 por ciento) que siguió al retiro de restricciones de la pandemia por COVID-19.
- La medición del indicador relacionado con la reducción de la exposición a contaminantes en microambientes refleja que es fundamental analizar los datos que determinan el funcionamiento del microsensor. Esto debió ir acompañado del desarrollo de modelos estadísticos que permitieran concluir el comportamiento de los datos recolectados por el equipo. Como no se pudieron hacer comparaciones interanuales de las mediciones, se optó por aplicar la metodología de diferencias en diferencias, con el cual es posible separar el efecto de la recuperación económica del 2022. La evaluación pudo ser más robusta, pero muestra una posible tendencia a la reducción de la concentración de $PM_{2,5}$ que puede atribuirse más claramente a la intervención de urbanismo táctico y otros fenómenos particulares del barrio.
- El indicador de concentración atmosférica multi-barrial muestra una reducción de contaminantes entre 2022-2023. Sin embargo, este comportamiento no puede asociarse a intervenciones barriales específicas debido a la influencia de factores externos como condiciones meteorológicas, dinámicas regionales y variables inherentes al monitoreo local. La ausencia de patrones consistentes y significativos a escala multi-barrial demostró la inviabilidad de evaluar el impacto de políticas focalizadas en este nivel espacial. El principal aporte del estudio reside en evidenciar esta limitación estructural en los diseños de evaluación a microescala, al subrayar la necesidad de enfoques metodológicos más robustos.

- La metodología de diferencias en diferencias, empleada para identificar la concentración a microambientes, se desarrolló porque las mediciones no se pudieron hacer de forma continua y durante los años de evaluación. Sin embargo, para ejercicios que quieran replicar la estimación de este indicador, se sugiere asegurar una campaña de medición continua que cubra al menos antes de la intervención (línea base), durante la intervención y posterior a intervención. La medición debe incluir los mismos meses que la línea base, además de uno o más contrafactuales de barrios con características iniciales similares, pero sin intervenciones de Barrios Vitales.

Concentraciones atmosféricas en la estación Las Ferias

Durante los años 2022 y 2023, la calidad del aire registrada en la estación de monitoreo Las Ferias muestra patrones de variabilidad en la concentración de partículas finas y gases contaminantes como el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el ozono (O_3), con una notable influencia de factores como el tráfico vehicular, las condiciones meteorológicas y las actividades industriales. En particular, dada la ubicación en una zona de alta densidad vehicular, se registraron niveles elevados de $PM_{2,5}$, PM_{10} , especialmente en periodos de alta congestión y en días con baja ventilación. Estas partículas, provenientes en su mayoría del tráfico y la construcción, alcanzaron concentraciones críticas durante las horas pico, afectando la salud respiratoria de las y los habitantes cercanos.

El NO_2 muestra también picos altos en la estación de Las Ferias, debido principalmente a las emisiones de vehículos y fuentes industriales, especialmente en horas de la mañana y la tarde. En cuanto al O_3 , se observaron incrementos en los niveles durante los meses más cálidos de ambos años, cuando la radiación solar favorece su formación, particularmente en la tarde. La combinación de estos contaminantes representa un desafío para la salud pública en la ciudad, afectando

principalmente a personas con enfermedades respiratorias, lo que subraya la necesidad de medidas más efectivas para mitigar la contaminación y mejorar la calidad del aire en Bogotá.

Recomendaciones para futuros proyectos

El proyecto de urbanismo táctico en San Felipe fue una intervención orientada a la reorganización del espacio urbano para ordenar el flujo vehicular, mejorar la accesibilidad peatonal, y favorecer el encuentro entre personas y espacios de la comunidad. No consideró medidas dirigidas puntualmente a mejorar la calidad del aire. Sin embargo, se adquirió experiencia al ser el primer proyecto en Bogotá en donde se evaluaron indicadores de impacto de calidad del aire y a partir del cual se propuso una metodología que puede ser replicable para otras ciudades de Colombia y otros países de Latinoamérica. Servirá también para medir efectos de otras políticas y proyectos, como los de Zonas Urbanas por un Mejor Aire,

mediciones de material particulado generado por grandes proyectos de infraestructura, la recuperación de la malla vial y las intervenciones expandidas de los demás Barrios Vitales a intervenir en los próximos años.

La implementación de ejercicios como este permite contar con indicadores de impacto en la calidad del aire, para una evaluación precisa de los proyectos en términos de sus efectos en el aire y la salud pública. Además, posibilita el monitoreo de la eficacia de las medidas de control de la contaminación, al fortalecer la información y la conciencia sobre los riesgos asociados. Esto impulsa respuestas adecuadas de los sectores público y privado para prevenir enfermedades respiratorias y mejorar la salud comunitaria. Para reforzar esto, es fundamental integrar la calidad del aire en todas las etapas de los proyectos, al brindar capacitación, recursos y mejores prácticas en la toma de decisiones. De esta manera, se contribuye a la creación de entornos urbanos más saludables y sostenibles.



Bibliografía

Abhijith, K., P. Kumar, J. Gallagher, A. McNabola, R. Baldauf, F. Pilla, B. Broderick, S. Di Sabatino y B. Pulvirenti. 2017. "Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review". *Atmospheric Environment* 162:71-86.

Alcaldía Mayor de Bogotá. 2021. "Documento Técnico de Soporte del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá". Bogotá. https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/dts_librov_programas_y_proyectos_090921.pdf

AMVA (Área Metropolitana del Valle de Aburrá). 2018. "SIATA (Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá)". Obtenido de Monitoreo de la calidad del aire a partir de sensores de bajo costo: www.siata.gov.co

Brunt, H., J. Barnes, S. Jones, J. Longhurst, G. Scally y E. Hayes. 2017. "Air pollution, deprivation and health: understanding relationships to add value to local air quality management policy and practice in Wales, UK". *Journal of Public Health* 39(3):485-497.

Comunicación Personal. 2024. Comunicación personal entre autores y SDA (Secretaría Distrital de Ambiente). Bogotá, Colombia. 12 de marzo.

Comunicación Personal. 2021. Comunicación personal entre autores y SDA (Secretaría Distrital de Ambiente). Bogotá, Colombia. Septiembre.

Comunicación Personal. 2022. Comunicación personal entre autores, SDA (Secretaría Distrital de Ambiente) y SDM (Secretaría Distrital de Movilidad). Bogotá, Colombia. Septiembre.

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 2022. "Boletín de Indicadores Económicos de Colombia 2022". Bogotá: DANE.

Egmond, N.D. y H. Kesseboom. 1985. "A numerical meso-scale model for long-term average NOx and NO2-concentration". *Atmospheric Environment* 19(4): 587-595.

García, M. 2021. "Community engagement in air quality monitoring". *Journal of Environmental Management*.

Hernández, C. N., A. Ávila y D.G. Cerda. 2023. "Impacto de la movilidad urbana en la calidad del aire de la zona metropolitana de San Luis Potosí, México". *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(1), 17718.

Lee, S.-B., K. Kim, B.-E. Park y G.-N. Bae. 2021. "A Fast Method for Estimating the Emission Factors of Air Pollutants from In-Use Vehicles Fleet". *MDPI and ACS Style* 11(16), 7206.

Lydon, M. y A. García. 2015. *Tactical Urbanism: Short-term Action for Long-term Change*. Washington DC: Island Press.

Molina-Gómez, N., L. Varon-Bravo, R. Sierra-Parada y P. López-Jiménez. 2022. "Urban growth and heat islands: A case study in micro-territories for urban sustainability". *Urban Ecosyst* 25:1379-1397.

MITECO (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico). 2021. "Directrices para la creación de Zonas de Bajas Emisiones (ZBE)". Documento de trabajo. Madrid, España: MITECO. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/directricesparalacreaciondezonasdebajasemisiones_tcm30-533017.pdf

Nalakurthi, N., I. Abimbola, T. Ahmed, I. Anton, K. Riaz, Q. Ibrahim, A. Banerjee, A. Tiwari y S. Gharbia. 2024. "Challenges and Opportunities in Calibrating Low-Cost Environmental Sensors". *Sensors (Basel, Switzerland)* 24(11), 3650.

Navas, C. 2024. "Promoviendo la reducción de emisiones a través de medidas de gestión de movilidad." Blog: Banco Interamericano de Desarrollo. Agosto 13. <https://blogs.iadb.org/transporte/es/promoviendo-la-reduccion-de-emisiones-a-traves-de-medidas-de-gestion-de-movilidad/>

Ntziachristos, L., D. Gkatzoflias, C. Kouridis y Z. Samaras. 2009. "COPERT: A European Road Transport Emission Inventory Model". Conference paper: Information Technologies in Environmental Engineering, Proceedings of the 4th International ICSC Symposium, ITEE 2009, Thessaloniki, Greece, May 28-29. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-88351-7_37

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2006. "Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre". Documento de trabajo. Ginebra: OMS. <https://iris.who.int/handle/10665/69478>

Ramon, M., A.P. Ribeiro, C. Theophilo, E.G. Moreira, P.B. Camargo, C.A. Pereira, E.F. Saraiva, A.R. Tavares, A.G. Dias, D. Nowak y M.L. Ferreira. 2023. "Assessment of four urban forest as environmental indicator of air quality: a study in a brazilian megacity". *Urban Ecosyst* 26(1): 197-207.

Romero, G., y F. Grajales. 2023. "Propuesta metodológica para evaluar el impacto de la exposición ambiental por intervenciones urbanas usando microsensores de calidad del aire. Centro de Información y Modelamiento Ambiental de Bogotá – CIMAB". Documento de trabajo. Bogotá: Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá.

SDM (Secretaría Distrital de Movilidad). 2021. "Portal de Barrios Vitales". Obtenido de Secretaría Distrital de Movilidad: https://www.movilidadbogota.gov.co/web/barrios_vitales

SDA (Secretaría Distrital de Ambiente). 2022. "Informe anual de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C.". Documento de trabajo. Bogotá, D.C.: SDA. <http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/Informe%20anual%202022.pdf>

Speck, J. 2018. *Walkable City Rules: 101 Steps to Making Better Places*. Island Press.

USEPA. 2019. *Motor Vehicle Emission Simulator: MOVES*. Office of Transportation and Air Quality. US Environmental Protection Agency. Ann Arbor, MI. 2019.

Zhang, L., P. Tan y J. Diehl. 2017. "A conceptual framework for studying urban green spaces effects on health". *Journal of Urban Ecology*, 3(1).

Apéndices

Apéndice A. Resúmenes horarios de aforos vehiculares

Aforo 1

Tabla A-1 | **Análisis de volúmenes vehiculares para el acceso norte Cl. 76 con Kr. 20b**

LUGAR DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: CL_76_X_KR_20B

FECHA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: 02/02/2021

PERIODO HORARIO	FLUJO 1: NORTE A SUR (N-S)							FLUJO 2: NORTE DESVIO A OESTE (N-W)						
	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA
05:00 - 06:00	213	16	6	0	0	113	24	13	0	0	0	0	4	1
06:00 - 07:00	403	34	9	0	0	237	39	24	0	2	0	1	14	1
07:00 - 08:00	614	36	25	0	0	369	61	36	0	5	0	0	18	3
08:00 - 09:00	668	30	28	0	0	368	36	71	0	4	0	0	19	4
09:00 - 10:00	699	23	19	1	1	291	26	115	0	6	0	0	23	3
10:00 - 11:00	651	19	20	0	0	290	24	95	0	6	0	0	27	6
11:00 - 12:00	638	17	28	0	0	348	42	107	0	2	0	0	26	5
12:00 - 13:00	602	20	22	1	0	302	32	70	0	3	0	0	30	4
13:00 - 14:00	652	15	31	0	0	276	31	69	0	3	0	0	29	5
14:00 - 15:00	654	17	26	0	0	281	26	65	0	5	0	0	25	0
15:00 - 16:00	582	16	30	0	0	310	29	57	0	5	0	0	20	2
16:00 - 17:00	540	29	22	1	0	286	41	38	0	5	0	0	9	2
17:00 - 18:00	478	28	27	1	0	315	53	46	0	2	0	0	34	3
18:00 - 19:00	428	30	11	0	0	223	44	26	0	2	0	0	10	0
19:00 - 20:00	308	32	4	1	0	115	15	23	0	0	0	0	10	4
20:00 - 21:00	227	27	3	1	0	72	9	7	0	0	0	0	6	2
SUMATORIA	8357	389	311	6	1	4196	532	862	0	50	0	1	304	45

Fuente: elaboración propia.

Tabla A-2 | **Análisis de volúmenes vehiculares para el acceso oriente Cl. 76 con Kr. 20b**

LUGAR DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: CL_76_X_KR_20B

FECHA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: 02/02/2021

PERIODO HORARIO	FLUJO 3: ESTE A OESTE (E-W)							FLUJO 4: ESTE A SUR (E-S)						
	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA
05:00 - 06:00	29	0	0	0	0	22	2	24	0	1	0	0	15	15
06:00 - 07:00	80	0	2	0	0	55	16	76	0	3	0	0	75	35
07:00 - 08:00	179	2	8	0	0	93	22	144	0	2	0	0	107	94
08:00 - 09:00	247	3	7	0	0	102	19	224	0	3	0	0	92	69
09:00 - 10:00	278	1	7	0	0	122	19	284	0	12	0	0	107	47
10:00 - 11:00	241	0	8	0	0	141	15	302	0	10	0	0	124	35
11:00 - 12:00	265	1	8	0	0	173	24	310	0	10	1	0	129	40
12:00 - 13:00	249	0	8	0	0	173	25	310	0	8	0	0	177	62
13:00 - 14:00	310	0	6	0	0	168	25	269	0	24	2	0	172	56
14:00 - 15:00	311	0	3	0	0	188	25	317	0	10	0	0	126	40
15:00 - 16:00	311	0	7	0	0	169	26	341	0	15	1	0	134	61
16:00 - 17:00	259	0	11	0	0	240	34	266	0	6	0	0	160	43
17:00 - 18:00	274	0	8	0	0	311	55	422	0	7	0	0	189	81
18:00 - 19:00	204	0	4	0	0	209	35	209	0	8	0	0	144	79
19:00 - 20:00	234	0	6	0	0	185	23	165	0	1	0	0	107	96
20:00 - 21:00	116	0	4	0	0	79	25	119	0	1	0	0	90	54
SUMATORIA	3587	7	97	0	0	2430	390	3782	0	121	4	0	1948	907

Fuente: elaboración propia.

Aforo 2

Tabla A-3 | **Análisis de volúmenes vehiculares para el acceso norte Cl. 74 con Kr. 20b**

LUGAR DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: CL_74_X_KR_20B

FECHA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: 2/9/2021

PERIODO HORARIO	FLUJO 5: NORTE DESVIO A ESTE (N-E)							FLUJO 6: NORTE A SUR (N-S)						
	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA
16:00 - 17:00	243	3	11	0	0	108	3	497	24	30	1	0	290	58
17:00 - 18:00	241	1	4	0	0	126	1	481	27	21	0	0	435	81
18:00 - 19:00	163	1	1	0	0	104	3	458	34	5	0	0	341	65
SUMATORIA	647	5	16	0	0	338	7	1436	85	56	1	0	1066	204

Fuente: elaboración propia.

Tabla A-4 | **Análisis de volúmenes vehiculares para el acceso occidente Cl. 74 con Kr. 20b**

LUGAR DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: CL_74_X_KR_20B

FECHA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: 09/02/2021

PERIODO HORARIO	FLUJO 7: OESTE A ESTE (O-E)							FLUJO 8: OESTE A SUR (O-S)						
	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA
16:00 - 17:00	274	4	5	0	0	115	18	70	0	2	0	0	30	6
17:00 - 18:00	259	3	2	0	0	113	27	43	0	10	0	0	41	6
18:00 - 19:00	228	2	0	0	0	56	21	40	0	2	0	0	18	4
SUMATORIA	761	9	7	0	0	284	66	153	0	14	0	0	89	16

Fuente: elaboración propia.

Aforo 3

Tabla A-5 | **Análisis de volúmenes vehiculares para el acceso sur Cl. 74 con Kr. 20c**

LUGAR DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: CL_74_X_KR_20C

FECHA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: 09/02/2021

PERIODO HORARIO	FLUJO 9: SUR A NORTE (S-N)							FLUJO 10: SUR A ESTE (S-E)						
	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA
16:00 - 17:00	170	0	11	0	0	75	1	73	1	4	0	0	32	0
17:00 - 18:00	200	0	5	0	0	64	0	59	0	2	0	0	24	0
18:00 - 19:00	138	0	2	0	0	47	0	56	0	0	0	0	12	0
SUMATORIA	508	0	18	0	0	186	1	188	1	6	0	0	68	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla A-6 | **Análisis de volúmenes vehiculares para el acceso occidente Cl. 74 con Kr. 20c**

LUGAR DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: CL_74_X_KR_20C

FECHA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: 09/02/2021

PERIODO HORARIO	FLUJO 11: OESTE A NORTE (O-N)							FLUJO 12: OESTE A ESTE (O-E)						
	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA
16:00 - 17:00	15	0	1	0	0	8	2	281	0	2	0	0	109	10
17:00 - 18:00	17	0	1	0	0	9	1	222	0	5	0	0	104	8
18:00 - 19:00	11	0	0	0	0	5	0	205	1	1	0	0	56	8
SUMATORIA	43	0	2	0	0	22	3	708	1	8	0	0	269	26

Fuente: elaboración propia.

Aforo 4

Tabla A-7 | **Análisis de volúmenes vehiculares para el acceso norte Cl. 75 con Kr. 22**

LUGAR DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: CL_75_X_KR_22

FECHA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: 09/02/2021

PERIODO HORARIO	FUJO 13: NORTE A SUR (N-S)							FUJO 14: NORTE A OESTE (N-O)						
	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA
16:00 - 17:00	30	0	1	0	0	11	5	24	0	3	0	0	14	2
17:00 - 18:00	13	0	0	0	0	17	6	9	0	3	0	0	11	0
18:00 - 19:00	10	0	0	0	0	9	8	13	0	0	0	0	15	1
SUMATORIA	53	0	1	0	0	37	19	46	0	6	0	0	40	3

Fuente: elaboración propia.

Tabla A-8 | **Análisis de volúmenes vehiculares para el acceso sur Cl. 75 con Kr. 22**

LUGAR DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: CL_75_X_KR_22

FECHA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: 2/9/2021

PERIODO HORARIO	FUJO 15: SUR A OESTE (S-O)							FUJO 16: NORTE A SUR (N-S)						
	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA
16:00 - 17:00	12	0	0	0	0	2	3	24	0	3	0	0	17	5
17:00 - 18:00	17	0	0	0	0	12	0	20	0	0	0	0	13	7
18:00 - 19:00	9	0	0	0	0	9	2	11	0	0	0	0	14	9
SUMATORIA	38	0	0	0	0	23	5	55	0	3	0	0	44	21

Fuente: elaboración propia.

Tabla A-9 | **Análisis de volúmenes vehiculares para el acceso oriente Cl. 75 con Kr. 24**

LUGAR DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: CL_75_X_KR_22

FECHA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: 2/9/2021

PERIODO HORARIO	FLUJO 17: ESTE A SUR (E-S)							FLUJO 18: ESTE A OESTE (E-O)							FLUJO 19: ESTE A NORTE (E-N)						
	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA
16:00 - 17:00	9	0	0	0	0	6	0	67	0	8	0	0	27	8	14	0	1	0	0	4	2
17:00 - 18:00	4	0	0	0	0	4	0	69	0	5	0	0	56	10	18	0	1	0	0	8	1
18:00 - 19:00	1	0	1	0	0	1	0	60	1	0	0	0	28	10	3	0	0	0	0	2	1
SUMATORIA	14	0	1	0	0	11	0	196	1	13	0	0	111	28	35	0	2	0	0	14	4

Fuente: elaboración propia.

Aforo 5

Tabla A-10 | Análisis de volúmenes vehiculares para el acceso norte Cl. 76 con Kr. 24

LUGAR DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: CL_76_X_KR_24

FECHA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: 09/02/2021

PERIODO HORARIO	FLUJO 20: NORTE A SUR (N-S)							FLUJO 21: NORTE A OESTE (N-O)						
	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA
16:00 - 17:00	626	15	31	0	0	266	22	38	0	4	0	0	10	2
17:00 - 18:00	528	16	15	0	0	318	31	20	0	3	0	0	5	0
18:00 - 19:00	366	18	17	0	0	222	18	21	0	2	0	0	5	0
SUMATORIA	1520	49	63	0	0	806	71	79	0	9	0	0	20	2

Fuente: elaboración propia.

Tabla A-11 | Análisis de volúmenes vehiculares para el acceso sur Cl. 76 con Kr. 24

LUGAR DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: CL_76_X_KR_24

FECHA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: 09/02/2021

PERIODO HORARIO	FLUJO 22: SUR A NORTE (S-N)						
	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA
16:00 - 17:00	639	11	15	0	0	156	56
17:00 - 18:00	649	12	9	0	0	196	81
18:00 - 19:00	472	8	4	1	0	164	78
SUMATORIA	1760	31	28	1	0	516	215

Fuente: elaboración propia.

Tabla A-12 | Análisis de volúmenes vehiculares para el acceso oriente Cl. 76 con Kr. 24

LUGAR DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: CL_76_X_KR_24

FECHA DE LA TOMA DE INFORMACIÓN: 09/02/2021

PERIODO HORARIO	FLUJO 23: ESTE A SUR (E-S)							FLUJO 24: ESTE A OESTE (E-O)							FLUJO 25: ESTE A NORTE (E-N)						
	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA	LIVIANO	BUS	CAMIÓN C2	CAMIÓN C3	CAMIÓN >=C4	MOTOCICLETA	BICICLETA
16:00 - 17:00	241	0	11	1	0	148	4	71	0	10	0	0	61	12	29	0	1	0	0	10	2
17:00 - 18:00	253	0	9	0	0	188	2	60	2	4	0	0	58	0	31	0	1	0	0	13	8
18:00 - 19:00	237	0	5	0	0	159	6	45	0	3	0	0	57	1	27	0	0	0	0	14	11
SUMATORIA	731	0	25	1	0	495	12	176	2	17	0	0	176	13	87	0	2	0	0	37	21

Fuente: elaboración propia.

Apéndice B. Valores para extrapolación de flujos a 24 horas respecto a 7 a.m.

Tabla B-1 | Valores para extrapolación de flujos a 24 horas respecto a 7 a.m. Lunes a viernes

HORA	ALIMENTADOR	ARTICULADO	BIARTICULADO	BICICLETA	BUS	CAMIÓN PEQ	CAMIÓN MED	CAMIÓN GRA	INTERMUNICIPAL	LIVIANOS	MOTOCICLETAS
0	3,252166912	0,205531953	0,045387561	0,039627346	0,100358966	0,168485253	0,736871997	5,626545589	0,239842147	0,223345411	0,065254531
1	1,276441695	0,173519211	0,004285626	0,022019948	0,036720583	0,158424539	0,781153047	4,999635992	0,17734518	0,152231051	0,03399414
2	1,357441567	0,146837748	0,023779134	0,02431106	0,030470936	0,188687872	0,933194712	5,786357911	0,159213839	0,1263589	0,027757893
3	2,41984648	0,22413876	0,058866137	0,030131102	0,094215162	0,262026973	1,116166103	10,00478902	0,319944922	0,164798515	0,038235914
4	1,30583577	1,170176663	0,493441681	0,139117512	0,38690209	0,442890329	1,770487508	16,328121	1,239123824	0,288286302	0,102634144
5	1,11926175	1,202170134	0,999962313	0,759105242	0,853522255	0,819320251	3,211279594	14,28122442	1,605630718	0,67008234	0,473504897
6	1,065634291	1,018028984	0,966132557	1,27704645	1,079398791	0,928907396	1,727330843	3,330977463	1,457072578	0,950547514	0,955792102
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1,309231273	1,018275943	1,067084061	0,68093872	0,946639424	1,20602942	2,309334284	4,487468079	1,151665762	1,031863944	0,721822655
9	1,081737872	0,90446182	1,062888567	0,512418489	0,839002366	1,284981225	1,748261464	2,365615526	1,036329368	1,076820564	0,61482128
10	0,775671932	0,691740023	0,560036859	0,428878601	0,765752122	1,448524108	3,07057674	14,95842241	1,184107477	1,02782693	0,573221352
11	0,62678669	0,644374927	0,454647427	0,395253091	0,767092453	1,483760136	2,992893215	13,09960081	0,902864157	1,045204771	0,617540074
12	0,623656796	0,595858866	0,393442661	0,397894972	0,796465773	1,363592416	2,520372765	12,0181255	0,954588013	1,06628877	0,615833191
13	0,564188778	0,587657137	0,397689041	0,428156399	0,802340631	1,301938106	2,609576975	11,50431903	0,906322626	1,077317842	0,628764142
14	0,67234641	0,603739248	0,414357277	0,407148613	0,843669526	1,407623824	2,915354841	13,00185148	1,019613789	1,114674345	0,61484974
15	0,618300807	0,707419039	0,513337583	0,461354268	0,998425348	1,420939065	2,810726991	13,15043229	1,158996476	1,040284509	0,656997207
16	0,725951483	0,901229793	0,807765296	0,69381049	0,925557609	1,291764084	2,367314669	10,53514356	0,99743883	1,038807897	0,746682053
17	0,727180492	1,054864207	1,015899629	1,165810611	0,900185919	1,002145462	1,376952673	3,096092374	1,191130894	1,079430405	1,052391955
18	0,806639241	1,031481013	1,097082561	0,945349083	0,846691811	0,778184634	1,174437911	1,29702122	1,13717259	0,98802893	0,905393048
19	0,828944951	0,995664108	1,079485606	0,486658424	0,739939506	0,583682237	1,28226067	7,436313921	1,024637333	0,962910152	0,578740194
20	1,282777635	1,039015341	1,020985621	0,32443841	0,688797502	0,472051482	0,907283483	11,21301275	0,965082778	0,898269459	0,430974257
21	2,04441545	0,831432439	0,814987266	0,295867483	0,593707197	0,34684279	0,736139877	7,907729305	0,783081442	0,748228256	0,432990041
22	1,418113428	0,765766357	0,745895394	0,300923346	0,479680356	0,259717156	0,622170951	7,508434999	0,645118454	0,540640273	0,325610441
23	1,400028094	0,839022772	0,401837147	0,096769666	0,313885334	0,200698371	0,840022751	7,974722844	0,373052309	0,352954928	0,134140834

Fuente: elaboración propia.

Tabla B-2 | Valores para extrapolación de flujos a 24 horas respecto a 7 a.m. Sábado

HORA	ALIMENTADOR	ARTICULADO	BIARTICULADO	BICICLETA	BUS	CAMIÓN PEQ	CAMIÓN MED	CAMIÓN GRA	INTERMUNICIPAL	LIVIANOS	MOTOCICLETAS
0	1,825425341	0,099486877	0,085074586	0,061580582	0,158341837	0,194369762	0,533764169	0,793283594	0,80482926	0,428283855	0,135409347
1	0,454320557	0,001421169	0,053143306	0,043515594	0,072923163	0,179278496	0,298998371	0,569992763	0,295982386	0,343490286	0,086723767
2	0,034228873	0,005049731	0,004211616	0,034304638	0,061357601	0,206403732	0,25997926	0,701967118	0,424245551	0,317067094	0,066154218
3	0,235708083	0,089482312	0,015630711	0,047328653	0,109062156	0,254710455	0,410940675	1,083525566	0,600206873	0,331734276	0,074753196
4	0,658566196	0,354095481	0,23171706	0,124403864	0,349866002	0,389224851	0,591866312	1,602923527	1,425689658	0,340374951	0,122455248
5	0,962300415	0,65186095	0,703772144	0,702027961	0,840657018	0,678895355	1,104955195	1,783344764	1,627959027	0,485479753	0,507851563
6	0,980677552	0,84895534	1,108860225	1,287605092	1,133670114	0,929819096	1,331482428	1,25692531	1,240337934	0,807331918	0,968018197
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	0,838926548	0,958814919	1,031210068	0,654244323	1,02291237	1,097478741	1,327648192	1,154344499	1,17596055	1,07851128	0,819589414
9	0,694002643	0,849771535	0,926094255	0,51854348	1,103764224	1,176915223	1,408018308	1,321476597	1,1674847	1,116661113	0,727583803
10	0,718218574	0,732859345	0,599921122	0,445725276	0,949077415	1,161603371	1,350237683	1,453531669	0,939435317	1,110762103	0,695114853
11	0,721887969	0,754078688	0,689497984	0,464198112	0,935503638	1,145306486	1,369855785	1,372898928	0,887493456	1,20347546	0,780152113
12	0,619790567	0,827046207	0,693381847	0,566777783	0,949229552	1,077093503	1,163131687	1,446345473	0,908793233	1,164616117	0,842775882
13	0,566374988	0,868287996	0,828739333	0,581702716	0,881262514	1,10265579	0,947406516	1,350927951	0,918154563	1,217261425	1,02399077
14	0,622476169	0,885975377	0,759347237	0,531237161	0,89994269	0,88074623	0,875510493	1,568576276	1,076024856	1,183675921	0,882225697
15	0,629372453	0,873791633	0,779449292	0,438877785	0,903125623	0,816069512	0,666013828	1,406883515	1,111192514	1,208568433	0,882068072
16	0,593362452	0,827726059	0,922437501	0,480376262	0,84756081	0,681462912	0,518929561	1,236301733	1,023200831	1,178592145	0,786832893
17	0,537826909	0,815913208	0,974295393	0,546215859	0,906699725	0,608990767	0,473615059	0,938371325	1,015702919	1,185193456	0,831170317
18	0,57731458	0,77931151	0,926683541	0,461159804	0,876159953	0,515661272	0,395478643	0,814177118	1,121951338	1,155784474	0,740096556
19	0,633756082	0,793140079	0,956161432	0,2917266	0,814976696	0,44433566	0,292731091	0,771047277	1,121578444	1,159079302	0,621499847
20	0,716545896	0,730734897	0,757744675	0,222082639	0,763659566	0,378600412	0,242770081	0,509189479	1,108034937	1,037404538	0,538699368
21	0,665298823	0,659575104	0,74188511	0,202267495	0,601315439	0,278724933	0,204633516	0,55333237	1,032399295	0,954575203	0,492784142
22	1,040320641	0,872046431	1,3724615	0,246492506	0,605962288	0,301808137	0,360262593	0,925360139	1,438836646	0,809240513	0,555946138
23	0,856699746	0,594026467	0,717212799	0,1306554	0,403542886	0,226152334	0,344689398	0,9227007	0,869032894	0,599544291	0,284828068

Fuente: elaboración propia.

Tabla B-3 | **Valores para extrapolación de flujos a 24 horas respecto a 7 a.m. Domingo**

HORA	ALIMENTADOR	ARTICULADO	BIARTICULADO	BICICLETA	BUS	CAMIÓN PEQ	CAMIÓN MED	CAMIÓN GRA	INTERMUNICIPAL	LIVIANOS	MOTOCICLETAS
0	1,31324959	0,078888937	0,033742245	0,008287925	0,19049961	0,315114918	2	13,5	0,061688312	0,299350921	0,241714044
1	1,715812598	0,173429313	0,056932883	0,004982426	0,108696686	0,309714227	1,583333333	13	0,045454545	0,235500968	0,178469805
2	1,571038659	0,171463799	0,031598394	0,002632058	0,103664041	0,275904574	1,75	11	0,025974026	0,15745412	0,094325699
3	2,087680094	0,24655508	0,058566143	0,010125081	0,159807679	0,339769705	1,666666667	26,5	0,061688312	0,175142338	0,091705355
4	0,656370893	0,509309136	0,242299233	0,025495067	0,369634518	0,594850917	3	65	0,36038961	0,285899171	0,190687471
5	0,946019668	0,842612293	0,774306111	0,196702489	0,800143964	0,755568189	1,880952381	8,952399279	0,520744555	0,440922685	0,607630879
6	0,960956661	0,876743702	0,97442535	0,578360887	0,994507069	1,011175644	1,196428571	2,714020455	0,800708482	0,831298945	1,023287526
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	0,841366846	0,77436522	0,821836784	0,985540566	0,977935714	0,958497184	2,005952381	2,585169255	1,037776896	1,199066968	0,926980774
9	0,914006512	0,902936378	1,023766274	0,909311119	0,941976326	1,06866331	1,339285714	1,682912644	1,04440565	1,47570429	1,0519722
10	1,068553725	1,018990987	0,829697636	0,67685383	1,056801739	1,148533541	2,19047619	9,936172075	1,062441055	1,633269567	1,061887645
11	0,774106065	0,802677962	0,65671131	0,615865317	0,929849781	1,043099543	2,333333333	10,74110861	1,020471369	2,07144641	1,254484981
12	0,711496487	0,814181597	0,621877405	0,326477698	0,930436358	1,018163442	1,384920635	8,128053174	0,927141783	2,706302068	1,191097566
13	0,653770873	0,841929089	0,709206481	0,273672492	1,080354423	0,830161889	1,299603175	6,257414994	0,841886354	3,50116999	1,457393195
14	1,022733659	1,176671857	0,927066867	0,178743806	1,195381546	0,872358838	1,061507937	5,868430673	0,879338345	3,814333668	1,30688726
15	0,666224839	0,844325081	0,690314328	0,192436803	1,185948551	0,783159627	1,359126984	6,281232968	0,888788697	4,96220588	1,392269144
16	0,64215636	0,841543447	0,842150379	0,180830553	1,105938706	0,759841221	1,265873016	5,483690132	0,928664887	12,67871186	1,59716121
17	0,58895478	0,870985657	0,926583411	0,195233133	1,109834295	0,663012069	0,376984127	1,63207538	0,960107344	14,82518818	1,919722077
18	0,867810922	1,135460956	1,269006451	0,171821247	1,095397878	0,685048716	0,166666667	1,094346968	0,880523725	16,01760356	1,900956956
19	0,943319248	1,153628378	1,312821274	0,098482044	0,944040704	0,622183261	0,442460317	4,005218111	0,813807501	8,382365353	1,388699829
20	1,065376712	0,943044315	0,947829507	0,071930473	0,992277635	0,72041931	0,726190476	8,329706759	0,880595896	1,991010119	1,198562283
21	1,127298558	0,620290733	0,647691899	0,057021079	0,692753885	0,585009558	2,25	24	0,435064935	1,580752666	0,973345354
22	0,929914816	0,619510768	0,801278947	0,048296668	0,543273721	0,519259177	1,083333333	25,5	0,194805195	1,034654452	0,595399526
23	0,418257914	0,265598791	0,207402722	0,014092427	0,322546306	0,516875925	1,166666667	22,5	0,146103896	0,702863433	0,290359367

Fuente: elaboración propia.

Apéndice C. Desagregación de cada grupo típico de aforo en subcategorías vehiculares utilizadas

Tabla C-1 | Desagregación de cada grupo típico de aforo en subcategorías vehiculares utilizadas en el inventario de emisiones de Bogotá del año base 2020 y su respectiva participación porcentual

GRUPO DE AFORO	SUBCATEGORÍA SEGÚN INVENTARIO BOGOTÁ	NOMBRE SUBCATEGORÍA	% PARTICIPACIÓN INVENTARIO 2020
AL	AL_DSEL	Alimentadores a diésel	50%
	AL_ELEC	Alimentadores eléctricos	37%
	AL_GNV	Alimentadores a gas natural	13%
AT	AT_DSEL	Articulados a diésel	83%
	AT_GNV	Articulados a gas natural	17%
BA	BA_DSEL	Biarticulados a diésel	58%
	BA_GNV	Biarticulados a gas natural	42%
BS (BUS)	BS_DSEL	Buses/Busetones a diésel	42%
	BS_ELEC	Buses/Busetones eléctricos	1%
	BS_GNV	Buses/Busetones a gas natural	1%
	ESB_GAS	Buses especiales a gasolina	7%
	ESB_GNV	Buses especiales a gas natural	2%
	ESB_DSEL	Buses especiales a diésel	47%
C2	C2_DSEL	C2 Pequeño y C2 Grande a diésel	64%
	C2_GAS	C2 Pequeño y C2 Grande a gasolina	33%
	C2_GNV	C2 Pequeño y C2 Grande a gas natural	3%
C3	C3_DSEL	C3 a diésel	100%
	C3_GNV	C3 a gas natural	0%
	C3_GAS	C3 a gasolina	0%
C4+ (>=C4)	C4+_GAS	C4 o superior a gasolina	0%
	C4+_GNV	C4 o superior a gas natural	0%
	C4+_DSEL	C4 o superior a diésel	100%
L (LIV)	AUT_DSEL	Automóviles a diésel	0%
	AUT_ELEC	Automóviles eléctricos	0%
	AUT_GAS	Automóviles a gasolina	62%
	AUT_GNV	Automóviles a gas natural	0%
	CC_DSEL	Camionetas/Camperos a diésel	5%
	CC_ELEC	Camionetas/Camperos eléctricos	0%
	CC_GAS	Camionetas/Camperos a gasolina	30%
	CC_GNV	Camionetas/Camperos a gas natural	0%
	TX_GAS	Taxis a gasolina	1%
	TX_GNV	Taxis a gas natural	2%
	TX_ELEC	Taxis eléctricos	0%
	ESL_DSEL	Especiales livianos a diésel	0%
	ESL_GNV	Especiales livianos a gas natural	0%
	ESL_GAS	Especiales livianos a gasolina	0%
	ESL_ELC	Especiales livianos eléctricos	0%
M	M_GAS	Motos a gasolina	100%
	M_ELEC	Moto eléctrica	0%

Fuente: elaboración propia.

Apéndice D. Factores de emisión utilizados por Bogotá

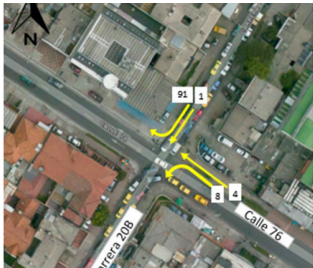
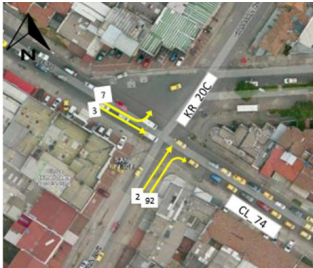
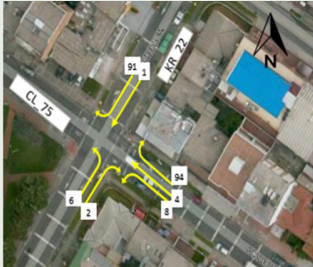
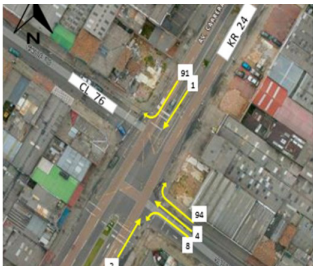
Tabla D-1 | Factores de emisión utilizados por Bogotá para la estimación de emisiones bottom-up de fuentes móviles por combustión

SUBCATEGORÍA	FACTORES DE EMISIÓN (G/KM)					
	CO	VOC	NOX	SO2	PM10	PM2.5
AL_DSEL	1,31E+01	1,55E-01	7,73E+00	1,25E-01	7,62E-02	6,86E-02
AL_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
AL_GNV	1,79E+00	6,68E-02	4,60E-05	2,51E-02	1,21E-06	1,09E-06
AT_DSEL	1,31E+01	1,09E-01	1,58E+01	2,77E-01	6,65E-02	5,98E-02
AT_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
AT_GNV	1,79E+00	6,68E-02	4,60E-05	2,51E-02	1,21E-06	1,09E-06
AUT_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
AUT_DSEL	1,39E+00	7,90E-01	1,01E+00	5,60E-01	9,70E-02	8,92E-02
AUT_GAS	9,19E+00	7,11E+00	1,47E+00	6,20E-02	2,49E-02	2,24E-02
AUT_GNV	1,30E+01	5,00E+00	3,70E+00	0,00E+00	3,00E-03	3,00E-03
BA_DSEL	7,73E+00	1,15E-01	1,65E+01	2,50E-02	6,29E-02	5,66E-02
BA_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
BA_GNV	1,79E+00	6,68E-02	4,60E-05	2,51E-02	1,21E-06	1,09E-06
BS_DSEL	1,09E+01	9,68E-02	1,11E+01	2,28E-02	1,31E-01	1,18E-01
BS_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
BS_GNV	1,79E+00	6,68E-02	4,60E-05	2,51E-02	1,21E-06	1,09E-06
C2_DSEL	1,78E+00	4,88E-01	4,53E+00	1,36E-03	8,95E-01	8,05E-01
C2_GAS	1,20E+02	9,37E+00	2,52E+00	7,42E-03	5,53E-02	4,97E-02
C2_GNV	9,03E+00	6,28E-02	8,26E-01	6,38E-04	1,32E-03	1,19E-03
C3_DSEL	1,27E+01	1,33E+00	1,10E+01	2,26E-03	1,65E+00	1,49E+00
C3_GAS	2,69E+02	1,24E+01	3,68E+00	9,41E-03	1,02E-01	9,16E-02
C3_GNV	5,39E+00	3,16E-02	1,97E-01	1,18E-03	5,29E-03	4,76E-03
C4+_DSEL	3,63E+00	9,23E-01	1,12E+01	1,94E-03	1,70E+00	1,53E+00
C4+_GAS	3,63E+02	1,67E+01	4,95E+00	1,13E-02	1,01E-01	9,09E-02
C4+_GNV	5,39E+00	3,16E-02	1,97E-01	1,18E-03	5,29E-03	4,76E-03
CC_DSEL	1,09E+01	2,82E-01	3,83E+00	1,60E-02	2,73E-01	2,51E-01
CC_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CC_GAS	1,73E+01	5,02E-01	2,32E+00	8,18E-02	2,10E-02	1,84E-02
CC_GNV	4,00E+01	4,00E+00	3,00E+00	0,00E+00	3,00E-03	3,00E-03
ESB_DSEL	3,98E+01	2,41E-01	1,94E+01	2,30E-02	2,41E-01	2,17E-01
ESB_GAS	6,94E+01	4,44E+00	4,12E+00	7,97E-02	4,18E-02	3,77E-02
ESB_GNV	3,94E+02	9,06E-01	5,91E+00	1,96E-03	9,10E-03	8,19E-03
INT_DSEL	3,98E+01	2,41E-01	1,94E+01	2,30E-02	2,41E-01	2,17E-01
INT_GAS	6,94E+01	4,44E+00	4,12E+00	7,97E-02	4,18E-02	3,77E-02
INT_GNV	3,94E+02	9,06E-01	5,91E+00	1,96E-03	9,10E-03	8,19E-03
M_GAS	3,53E+01	2,79E+00	7,61E-01	4,94E-02	1,26E-02	1,13E-02
M_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TX_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TX_GAS	9,19E+00	7,11E+00	1,47E+00	6,20E-02	2,49E-02	2,24E-02
TX_GNV	1,30E+01	5,00E+00	3,70E+00	0,00E+00	3,00E-03	3,00E-03

Fuente: elaboración propia.

Apéndice E. Movimientos vehiculares en puntos de aforo – línea base

Tabla E-1 | Movimientos vehiculares en puntos de aforo y longitud de tramos respectivos – línea base

LUGAR DE AFORO	IMAGEN	CONSECUTIVO FLUJO VEHICULAR	MOVIMIENTO RILSA	DISTANCIA DENTRO DEL BARRIO (KM)
1 Calle 76 con Carrera 20B		1	1	0,11
		2	91	0,400
		3	4	0,060
		4	8	0,465
2 Calle 74 con Carrera 20B		5	5	0,155
		6	1	0,225
		7	3	0,160
		8	93	0,225
3 Calle 74 con Carrera 20C		9	2	0,645
		10	92	0,100
		11	7	0,410
		12	3	0,410
4 Calle 75 con Carrera 22		13	1	0,320
		14	91	0,190
		15	6	0,195
		16	2	0,330
		17	8	0,210
		18	4	0,520
		19	94	0,100
5 Calle 76 con Carrera 24		20	1	N.C.
		21	91	N.C.
		22	2	0,730
		23	8	N.C.
		24	4	P.C.
		25	94	0,280

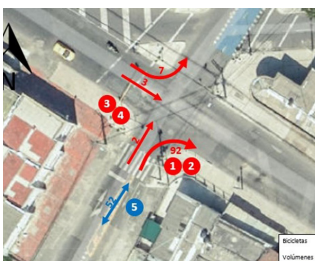
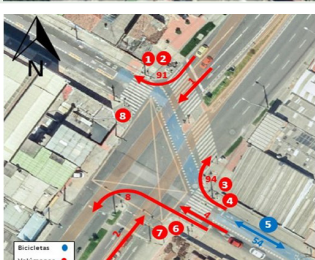
Fuente: elaboración propia a partir de información de SDM (Com. Pers. 2021).

N.C.: Flujo vehicular "No Corresponde" al barrio vital San Felipe

P.C.: Flujo vehicular "Previamente Considerado" en otro aforo del barrio vital San Felipe

Apéndice F. Movimientos vehiculares en puntos de aforo - evaluación posterior a la intervención

Tabla F-1 | Movimientos vehiculares en puntos de aforo y longitud de tramos respectivos - evaluación-posterior a la intervención

LUGAR DE AFORO	IMAGEN	CONSECUTIVO FLUJO VEHICULAR	MOVIMIENTO RILSA	DISTANCIA DENTRO DEL BARRIO (KM)
1 Calle 76 con Carrera 20B		1	1	0,11
		2	91	0,400
		3	4	0,060
		4	8	0,465
2 Calle 74 con Carrera 20B		5	5	0,155
		6	1	0,225
		7	3	0,160
		8	93	0,225
3 Calle 74 con Carrera 20C		9	2	0,645
		10	92	0,100
		11	7	0,410
		12	3	0,410
4 Calle 75 con Carrera 22		13	5	0,330
		14	6	0,195
5 Calle 76 con Carrera 24		15	1	N.C.
		16	91	N.C.
		17	2	0,730
		18	8	N.C.
		19	4	P.C.
		20	94	0,280

Fuente: Fuente: elaboración propia a partir de información de SDM (Com. Pers. 2021).

N.C.: Flujo vehicular "No Corresponde" al barrio vital San Felipe

P.C.: Flujo vehicular "Previamente Considerado" en otro aforo del barrio vital San Felipe

Apéndice G. Desagregación de flujos vehiculares en categorías

Tabla G-1 | Desagregación de flujos vehiculares en categorías - Extrapolados a 24 horas - Punto de Aforo 1

GRUPO DE AFORO	MOVIMIENTO VEHICULAR				SUBCATEGORÍAS BOTTOM-UP	PARTICIPACIÓN EN GRUPO DE AFORO	CONSECUTIVO FLUJO VEHICULAR			
	1	91	4	8			1	2	3	4
LIVIANO	9951	955	4052	4156	AUT_GAS	62%	6170	592	2512	2577
					CC_DSEL	5%	498	48	203	208
					CC_GAS	30%	2985	287	1216	1247
					TX_GAS	1%	100	10	41	42
					TX_GNV	2%	199	19	81	83
BUS	462	0	11	0	BS_DSEL	42%	194	0	5	0
					BS_ELEC	1%	5	0	0	0
					BS_GNV	1%	5	0	0	0
					ESB_GAS	7%	32	0	1	0
					ESB_GNV	2%	9	0	0	0
					ESB_DSEL	47%	217	0	5	0
CAMIÓN C2	362	60	113	125	C2_DSEL	64%	231	38	72	80
					C2_GAS	33%	119	20	37	41
					C2_GNV	3%	11	2	3	4
CAMIÓN C3	6	0	0	4	C3_DSEL	100%	6	0	0	4
CAMIÓN >=C4	1	1	0	0	C4+_DSEL	100%	1	1	0	0
MOTOCICLETA	4624	325	2538	2072	M_GAS	100%	4624	325	2538	2072

Fuente: elaboración propia.

Tabla G-2 | Desagregación de flujos vehiculares en categorías - Extrapolados a 24 horas - Punto de Aforo 2

GRUPO DE AFORO	MOVIMIENTO VEHICULAR				SUBCATEGORÍAS BOTTOM-UP	PARTICIPACIÓN EN GRUPO DE AFORO	CONSECUTIVO FLUJO VEHICULAR			
	5	1	3	93			5	6	7	8
LIVIANO	4287	8880	4772	1178	AUT_GAS	62%	0	0	0	0
					CC_DSEL	5%	0	0	0	0
					CC_GAS	30%	0	0	0	0
					TX_GAS	1%	0	0	0	0
					TX_GNV	2%	0	0	0	0
BUS	48	426	65	0	BS_DSEL	42%	0	0	0	0
					BS_ELEC	1%	0	0	0	0
					BS_GNV	1%	0	0	0	0
					ESB_GAS	7%	0	0	0	0
					ESB_GNV	2%	0	0	0	0
					ESB_DSEL	47%	0	0	0	0
CAMIÓN C2	159	445	71	40	C2_DSEL	64%	0	0	0	0
					C2_GAS	33%	0	0	0	0
					C2_GNV	3%	0	0	0	0
CAMIÓN C3	0	16	0	0	C3_DSEL	100%	0	16	0	0
CAMIÓN >=C4	0	0	0	0	C4+_DSEL	100%	0	0	0	0
MOTOCICLETA	1733	4811	1749	471	M_GAS	100%	1733	4811	1749	471

Fuente: elaboración propia.

Tabla G-3 | Desagregación de flujos vehiculares en categorías - Extrapolados a 24 horas - Punto de Aforo 3

GRUPO DE AFORO	MOVIMIENTO VEHICULAR				SUBCATEGORÍAS BOTTOM-UP	PARTICIPACIÓN EN GRUPO DE AFORO	CONSECUTIVO FLUJO VEHICULAR			
	2	92	7	3			9	10	11	12
BUS	3054	1281	268	4917	AUT_GAS	62%	1894	794	166	3048
					CC_DSEL	5%	153	64	13	246
					CC_GAS	30%	916	384	80	1475
					TX_GAS	1%	31	13	3	49
					TX_GNV	2%	61	26	5	98
	0	15	0	1	BS_DSEL	42%	0	6	0	0
					BS_ELEC	1%	0	0	0	0
					BS_GNV	1%	0	0	0	0
					ESB_GAS	7%	0	1	0	0
					ESB_GNV	2%	0	0	0	0
CAMIÓN C2	161	58	15	34	ESB_DSEL	47%	0	7	0	0
					C2_DSEL	64%	103	37	10	22
					C2_GAS	33%	53	19	5	11
CAMIÓN C3	0	0	0	0	C2_GNV	3%	5	2	0	1
CAMIÓN >=C4	0	0	0	0	C3_DSEL	100%	0	0	0	0
MOTOCICLETA	1155	481	125	1677	C4+_DSEL	100%	0	0	0	0
					M_GAS	100%	1155	481	125	1677

Fuente: elaboración propia.

Tabla G-4 | Desagregación de flujos vehiculares en categorías - Extrapolados a 24 horas - Punto de Aforo 4

GRUPO DE AFORO	MOVIMIENTO VEHICULAR							SUBCATEGORÍAS BOTTOM-UP	PARTICIPACIÓN EN GRUPO DE AFORO	CONSECUTIVO FLUJO VEHICULAR						
	1	91	6	2	8	4	94			13	14	15	16	17	18	19
LIVIANO	502	405	218	414	149	1200	245	AUT_GAS	62%	311	251	135	0	0	0	152
								CC_DSEL	5%	25	20	11	0	0	0	12
								CC_GAS	30%	151	122	65	0	0	0	73
								TX_GAS	1%	5	4	2	0	0	0	2
								TX_GNV	2%	10	8	4	0	0	0	5
BUS	0	0	0	0	0	1	0	BS_DSEL	42%	0	0	0	0	0	0	0
								BS_ELEC	1%	0	0	0	0	0	0	0
								BS_GNV	1%	0	0	0	0	0	0	0
								ESB_GAS	7%	0	0	0	0	0	0	0
								ESB_GNV	2%	0	0	0	0	0	0	0
								ESB_DSEL	47%	0	0	0	0	0	0	0
CAMIÓN C2	14	45	0	42	1	117	15	C2_DSEL	64%	9	29	0	0	0	0	10
								C2_GAS	33%	5	15	0	0	0	0	5
								C2_GNV	3%	0	1	0	0	0	0	0
CAMIÓN C3	0	0	0	0	0	0	0	C3_DSEL	100%	0	0	0	0	0	0	0
CAMIÓN >=C4	0	0	0	0	0	0	0	C4+_DSEL	100%	0	0	0	0	0	0	0
MOTOCICLETA	179	221	49	264	88	460	66	M_GAS	100%	179	221	49	264	88	460	66

Fuente: elaboración propia.

Tabla G-5 | Desagregación de flujos vehiculares en categorías - Extrapolados a 24 horas - Punto de Aforo 5

GRUPO DE AFORO	MOVIMIENTO VEHICULAR						SUBCATEGORÍAS BOTTOM-UP	PARTICIPACIÓN EN GRUPO DE AFORO	CONSECUTIVO FLUJO VEHICULAR					
	1	91	2	8	4	94			20	21	22	23	24	25
LIVIANO	10896	648	11331	4341	1239	521	AUT_GAS	62%	6756	402	7025	0	0	0
							CC_DSEL	5%	545	32	567	0	0	0
							CC_GAS	30%	3269	194	3399	0	0	0
							TX_GAS	1%	109	6	113	0	0	0
							TX_GNV	2%	218	13	227	0	0	0
BUS	262	0	187	0	2	0	BS_DSEL	42%	110	0	79	0	0	0
							BS_ELEC	1%	3	0	2	0	0	0
							BS_GNV	1%	3	0	2	0	0	0
							ESB_GAS	7%	18	0	13	0	0	0
							ESB_GNV	2%	5	0	4	0	0	0
							ESB_DSEL	47%	123	0	88	0	0	0
CAMIÓN C2	465	61	222	168	147	15	C2_DSEL	64%	298	39	142	0	0	0
							C2_GAS	33%	153	20	73	0	0	0
							C2_GNV	3%	14	2	7	0	0	0
CAMIÓN C3	0	0	1	16	0	0	C3_DSEL	100%	0	0	1	16	0	0
CAMIÓN >=C4	0	0	0	0	0	0	C4+_DSEL	100%	0	0	0	0	0	0
MOTOCICLETA	4241	149	2531	2406	964	166	M_GAS	100%	4241	149	2531	2406	964	166

Fuente: elaboración propia.

Apéndice H. Ejemplo de estimación de emisiones contaminantes vehiculares

Tabla H-1 | Ejemplo de estimación de emisiones contaminantes vehiculares por combustión para un día hábil en el barrio San Felipe - punto de aforo 1

SUBCATEGORÍAS BOTTOM-UP	NOMBRE SUBCATEGORÍA	FLUJO VEHICULAR	VEHÍCULOS POR SUBCATEGORÍA	LONGITUD TRAMO/ FLUJO (KM)	FACTORES DE EMISIÓN (G/KM)						EMISIÓN (T/DÍA HÁBIL)					
					CO	VOC	NOX	SO2	PM10	PM2.5	CO	VOC	NOX	SO2	PM10	PM2.5
AUT_GAS	Automóviles a Gasolina	1	6170	0,11	9,19	7,11	1,47	0,062	0,0249	0,0224	0,00624	0,00483	0,00100	0,00004	0,00002	0,00002
		2	592	0,4	9,19	7,11	1,47	0,062	0,0249	0,0224	0,00218	0,00168	0,00035	0,00001	0,00001	0,00001
		3	2512	0,06	9,19	7,11	1,47	0,062	0,0249	0,0224	0,00139	0,00107	0,00022	0,00001	0,00000	0,00000
		4	2577	0,465	9,19	7,11	1,47	0,062	0,0249	0,0224	0,01101	0,00852	0,00176	0,00007	0,00003	0,00003
CC_DSEL	Camionetas/ Camperos a Diesel	1	498	0,11	10,9	0,282	3,83	0,016	0,273	0,251	0,00060	0,00002	0,00021	0,00000	0,00001	0,00001
		2	48	0,4	10,9	0,282	3,83	0,016	0,273	0,251	0,00021	0,00001	0,00007	0,00000	0,00001	0,00000
		3	203	0,06	10,9	0,282	3,83	0,016	0,273	0,251	0,00013	0,00000	0,00005	0,00000	0,00000	0,00000
		4	208	0,465	10,9	0,282	3,83	0,016	0,273	0,251	0,00105	0,00003	0,00037	0,00000	0,00003	0,00002
CC_GAS	Camionetas/ Camperos a Gasolina	1	2985	0,11	17,3	0,502	2,32	0,0818	0,021	0,0184	0,00568	0,00016	0,00076	0,00003	0,00001	0,00001
		2	287	0,4	17,3	0,502	2,32	0,0818	0,021	0,0184	0,00198	0,00006	0,00027	0,00001	0,00000	0,00000
		3	1216	0,06	17,3	0,502	2,32	0,0818	0,021	0,0184	0,00126	0,00004	0,00017	0,00001	0,00000	0,00000
		4	1247	0,465	17,3	0,502	2,32	0,0818	0,021	0,0184	0,01003	0,00029	0,00135	0,00005	0,00001	0,00001

SUBCATEGORÍAS BOTTOM-UP	NOMBRE SUBCATEGORÍA	FLUJO VEHICULAR	VEHÍCULOS POR SUBCATEGORÍA	LONGITUD TRAMO/ FLUJO (KM)	FACTORES DE EMISIÓN (G/KM)						EMISIÓN (T/DÍA HÁBIL)					
					CO	VOC	NOX	SO2	PM10	PM2.5	CO	VOC	NOX	SO2	PM10	PM2.5
TX_GAS	Taxis a Gasolina	1	100	0,11	9,19	7,11	1,47	0,062	0,0249	0,0224	0,00010	0,00008	0,00002	0,00000	0,00000	0,00000
		2	10	0,4	9,19	7,11	1,47	0,062	0,0249	0,0224	0,00004	0,00003	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000
		3	41	0,06	9,19	7,11	1,47	0,062	0,0249	0,0224	0,00002	0,00002	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		4	42	0,465	9,19	7,11	1,47	0,062	0,0249	0,0224	0,00018	0,00014	0,00003	0,00000	0,00000	0,00000
TX_GNV	Taxis a Gas Natural	1	199	0,11	13	5	3,7	0	0,003	0,003	0,00028	0,00011	0,00008	0,00000	0,00000	0,00000
		2	19	0,4	13	5	3,7	0	0,003	0,003	0,00010	0,00004	0,00003	0,00000	0,00000	0,00000
		3	81	0,06	13	5	3,7	0	0,003	0,003	0,00006	0,00002	0,00002	0,00000	0,00000	0,00000
		4	83	0,465	13	5	3,7	0	0,003	0,003	0,00050	0,00019	0,00014	0,00000	0,00000	0,00000
BS_DSEL	Buses/Busetones a Diesel	1	194	0,11	10,9	0,0968	11,1	0,0228	0,131	0,118	0,00023	0,00000	0,00024	0,00000	0,00000	0,00000
		2	0	0,4	10,9	0,0968	11,1	0,0228	0,131	0,118	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		3	5	0,06	10,9	0,0968	11,1	0,0228	0,131	0,118	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		4	0	0,465	10,9	0,0968	11,1	0,0228	0,131	0,118	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BS_ELEC	Buses/Busetones a Eléctricos	1	5	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		2	0	0,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		3	0	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		4	0	0,465	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BS_GNV	Buses/Busetones a GNV	1	5	0,11	1,79	0,0668	0,000046	0,0251	0,00000121	0,00000109	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		2	0	0,4	1,79	0,0668	0,000046	0,0251	0,00000121	0,00000109	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		3	0	0,06	1,79	0,0668	0,000046	0,0251	0,00000121	0,00000109	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		4	0	0,465	1,79	0,0668	0,000046	0,0251	0,00000121	0,00000109	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ESB_GAS	Buses especiales a Gasolina	1	32	0,11	69,4	4,44	4,12	0,0797	0,0418	0,0377	0,00025	0,00002	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000
		2	0	0,4	69,4	4,44	4,12	0,0797	0,0418	0,0377	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		3	1	0,06	69,4	4,44	4,12	0,0797	0,0418	0,0377	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		4	0	0,465	69,4	4,44	4,12	0,0797	0,0418	0,0377	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ESB_GNV	Buses especiales a GNV	1	9	0,11	394	0,906	5,91	0,00196	0,0091	0,00819	0,00040	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000
		2	0	0,4	394	0,906	5,91	0,00196	0,0091	0,00819	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		3	0	0,06	394	0,906	5,91	0,00196	0,0091	0,00819	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		4	0	0,465	394	0,906	5,91	0,00196	0,0091	0,00819	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

SUBCATEGORÍAS BOTTOM-UP	NOMBRE SUBCATEGORÍA	FLUJO VEHICULAR	VEHÍCULOS POR SUBCATEGORÍA	LONGITUD TRAMO/ FLUJO (KM)	FACTORES DE EMISIÓN (G/KM)						EMISIÓN (T/DÍA HÁBIL)					
					CO	VOC	NOX	SO2	PM10	PM2.5	CO	VOC	NOX	SO2	PM10	PM2.5
ESB_DSEL	Buses especiales a Diesel	1	217	0,11	39,8	0,241	19,4	0,023	0,241	0,217	0,00095	0,00001	0,00046	0,00000	0,00001	0,00001
		2	0	0,4	39,8	0,241	19,4	0,023	0,241	0,217	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		3	5	0,06	39,8	0,241	19,4	0,023	0,241	0,217	0,00001	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000
		4	0	0,465	39,8	0,241	19,4	0,023	0,241	0,217	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
C2_DSEL	C2 Pequeño y C2 Grande a diésel	1	231	0,11	1,78	0,488	4,53	0,00136	0,895	0,805	0,00005	0,00001	0,00012	0,00000	0,00002	0,00002
		2	38	0,4	1,78	0,488	4,53	0,00136	0,895	0,805	0,00003	0,00001	0,00007	0,00000	0,00001	0,00001
		3	72	0,06	1,78	0,488	4,53	0,00136	0,895	0,805	0,00001	0,00000	0,00002	0,00000	0,00000	0,00000
		4	80	0,465	1,78	0,488	4,53	0,00136	0,895	0,805	0,00007	0,00002	0,00017	0,00000	0,00003	0,00003
C2_GAS	C2 Pequeño y C2 Grande a gasolina	1	119	0,11	120	9,37	2,52	0,00742	0,0553	0,0497	0,00158	0,00012	0,00003	0,00000	0,00000	0,00000
		2	20	0,4	120	9,37	2,52	0,00742	0,0553	0,0497	0,00095	0,00007	0,00002	0,00000	0,00000	0,00000
		3	37	0,06	120	9,37	2,52	0,00742	0,0553	0,0497	0,00027	0,00002	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000
		4	41	0,465	120	9,37	2,52	0,00742	0,0553	0,0497	0,00230	0,00018	0,00005	0,00000	0,00000	0,00000
C2_GNV	C2 Pequeño y C2 Grande a gas natural	1	11	0,11	9,03	0,0628	0,826	0,000638	0,00132	0,00119	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		2	2	0,4	9,03	0,0628	0,826	0,000638	0,00132	0,00119	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		3	3	0,06	9,03	0,0628	0,826	0,000638	0,00132	0,00119	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		4	4	0,465	9,03	0,0628	0,826	0,000638	0,00132	0,00119	0,00002	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
C3_DSEL	C3 a diésel	1	6	0,11	12,7	1,33	11	0,00226	1,65	1,49	0,00001	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000
		2	0	0,4	12,7	1,33	11	0,00226	1,65	1,49	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		3	0	0,06	12,7	1,33	11	0,00226	1,65	1,49	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		4	4	0,465	12,7	1,33	11	0,00226	1,65	1,49	0,00002	0,00000	0,00002	0,00000	0,00000	0,00000
C4+_DSEL	C4 o superior a diésel	1	1	0,11	3,63	0,923	11,2	0,00194	1,7	1,53	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		2	1	0,4	3,63	0,923	11,2	0,00194	1,7	1,53	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		3	0	0,06	3,63	0,923	11,2	0,00194	1,7	1,53	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
		4	0	0,465	3,63	0,923	11,2	0,00194	1,7	1,53	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
M_GAS	Motos a Gasolina	1	4624	0,11	35,3	2,79	0,761	0,0494	0,0126	0,0113	0,01796	0,00142	0,00039	0,00003	0,00001	0,00001
		2	325	0,4	35,3	2,79	0,761	0,0494	0,0126	0,0113	0,00459	0,00036	0,00010	0,00001	0,00000	0,00000
		3	2538	0,06	35,3	2,79	0,761	0,0494	0,0126	0,0113	0,00538	0,00042	0,00012	0,00001	0,00000	0,00000
		4	2072	0,465	35,3	2,79	0,761	0,0494	0,0126	0,0113	0,03401	0,00269	0,00073	0,00005	0,00001	0,00001
EMISIÓN TOTAL (tonelada /día hábil)											0,112148	0,022690	0,009478	0,000324	0,000242	0,000219

Fuente: elaboración propia.

Apéndice I. Hoja de vida indicador calidad del aire 2022

Caja I-1 | Hoja de vida indicador emisión de contaminantes 2022 y 2023

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.		BOGOTÁ		HOJA DE VIDA INDICADOR DE CALIDAD DEL AIRE		WORLD RESOURCES INSTITUTE	
PROYECTO:		Barrios Vitales		FECHA DE ELABORACIÓN:		2/11/2022	
BARRIO / TRAMO:		San Felipe					
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR							
NOMBRE DEL INDICADOR	Emisión de contaminantes del aire			CONTAMINANTE ESPECÍFICO		PM _{2.5}	
OBJETIVO DEL INDICADOR	Medir la eventual reducción en la emisión de contaminantes criterio, especialmente por fuentes móviles, en la zona cercana a la intervención			TIPO DE INTERVENCIÓN		Urbanismo táctico	
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR	Este indicador buscar establecer la variación en la cantidad de emisiones contaminantes generadas, especialmente por fuentes móviles, derivada de la implementación de alguna intervención que propende beneficios para una población objeto, en este caso la población residente y flotante del Barrio Vital San Felipe.						
FUENTE DE INFORMACIÓN	* Información SDM de aforo vehicular realizado en punto(s) representativo(s) de la zona, antes (línea base) y después (evaluaciones) de la intervención * Información SDA de factores locales de emisión para diferentes categorías vehiculares						
METODOLOGÍA DE CÁLCULO DEL INDICADOR	Fórmula						
	$\% \text{ variación emisiones veh. } = \left(\frac{\text{emisiones veh. evaluación (t/año)}}{\text{emisiones veh. línea base (t/año)}} - 1 \right) * 100$						
	Componentes						
	% variación emisiones _i =	Porcentaje de reducción de emisiones vehiculares del contaminante i posterior a la intervención					
	emisiones vehiculares _i evaluación =	Emisiones del contaminante i calculadas para el momento de evaluación del indicador (toneladas/año)					
emisiones vehiculares _i línea base =	Emisiones del contaminante i calculadas para el momento de levantamiento de línea base del indicador (toneladas/año)						
i =	Tipo de contaminante: PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO ₂ , NO _x , CO, COV						
PERIODICIDAD	ANUAL	JUSTIFICACIÓN PERIODICIDAD					
El desarrollo de aforos vehiculares requiere de recursos humanos (para ejecutar de manera propia) o presupuestales (para ejecutar mediante tercero), razón por la cual generalmente no es viable que se desarrollen con frecuencia, en este sentido se programa una periodicidad anual y se asume que un (1) solo aforo es representativo de todo el año. De tener la oportunidad de realizar más de un aforo antes de la intervención, los aforos de evaluación deben realizarse en las mismas épocas del año para que sean representativos del periodo de tiempo que se quiere cubrir (bimestral, trimestral, semestral) para comparar en similares condiciones a las de línea base.							
VIDA ÚTIL DEL INDICADOR	Inicio	Final	UNIDAD DE MEDIDA		toneladas/año emitidas de PM _{2.5}		
	2021	2023					
LÍNEA BASE DEL INDICADOR							
AÑO	FECHA DEL AFORO VEHICULAR		EMISIÓN ESTIMADA EN LÍNEA BASE				
2021	febrero 2 y 9 de 2021		0,4204				
EVALUACIONES DEL INDICADOR							
AÑO	FECHA DEL AFORO VEHICULAR		EMISIÓN ESTIMADA		VARIACIÓN RESPECTO A LÍNEA BASE		
2022	No realizado		No estimado		No estimado		
AÑO	FECHA DEL AFORO VEHICULAR		EMISIÓN ESTIMADA		VARIACIÓN RESPECTO A LÍNEA BASE		
2023	febrero 28 de 2023		0,4512		7,35%		
SEGUIMIENTO GRÁFICO							
Emisión estimada de PM _{2.5} por fuentes móviles (toneladas / año)							
ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL INDICADOR							
La evaluación del indicador para el año 2022 no dispuso de información de aforos vehiculares en la zona de estudio. Para el año 2023 se obtuvo aforo para el martes 28 de febrero en los mismos puntos del aforo de línea base, a partir de esta información se estimó la variación de flujos vehiculares para realizar la comparación. El análisis evidencia un AUMENTO del 7,35% en la emisión de PM_{2.5} atribuida a las fuentes móviles, pese a la reorganización del tráfico vehicular derivada de la intervención mediante urbanismo táctico en el Barrio San Felipe, lo cual tiene una explicación preliminar en que para 2021 aún estaban vigentes algunas restricciones derivadas de la atención de la pandemia por COVID-19.							
OBSERVACIONES:							
1) Los aforos realizados en febrero de 2023 solo tiene conteo para 3 horas en los cinco puntos, a diferencia de los aforos de línea base en los que el punto de mayor tráfico tenía conteo para 17 horas y los restantes cuatro tenían conteo de 3 horas. Esta situación puede incrementar levemente la incertidumbre ya que hay mayor dependencia de los valores de extrapolación de flujos vehiculares a las 24 horas del día. 2) La extrapolación de emisiones a periodo anual para la evaluación de seguimiento se realizó de la misma manera que para la evaluación de línea base.							

Fuente: elaboración propia.

Apéndice J. Hoja de vida indicador calidad del aire 2024

Caja J-1 | Hoja de vida indicador concentración atmosférica 2022 y 2023

 BOGOTÁ		HOJA DE VIDA INDICADOR DE CALIDAD DEL AIRE PROYECTO: Barrios Vitales BARRIO / TRAMO: San Felipe FECHA DE ELABORACIÓN: 8/05/2024				 WORLD RESOURCES INSTITUTE									
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR															
NOMBRE DEL INDICADOR		Concentración atmosférica de contaminantes criterio (Impacto en la calidad del aire de la ciudad)				CONTAMINANTE ESPECÍFICO		PM ₁₀							
OBJETIVO DEL INDICADOR		Medir la eventual reducción de la concentración atmosférica de contaminantes criterio en la zona cercana a la intervención en la ciudad de Bogotá				TIPO DE INTERVENCIÓN		Urbanismo táctico							
DESCRIPCIÓN DEL INDICADOR		Este indicador busca establecer la variación en la concentración atmosférica de contaminantes criterio que se registra en la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá RMCAB específicamente en la estación "Las Ferias", derivada de la implementación de alguna intervención que propende beneficios para una población objeto, en este caso la población residente y flotante del Barrio Vital San Felipe.													
FUENTE DE INFORMACIÓN		Información de concentración atmosférica de contaminantes y de comportamiento de parámetros meteorológicos, generada por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá RMCAB específicamente en la estación "Las Ferias" que es la más cercana a la zona de la intervención.													
METODOLOGÍA DE CÁLCULO DEL INDICADOR		Fórmula													
		%reducción [] contaminantes $i,j,...$ = $\left(1 - \frac{[] \text{contaminantes}_{i,j,...} \text{ evaluación } (\mu/m^3)_{i,j,...}}{[] \text{contaminantes}_{i,j,...} \text{ línea base } (\mu/m^3)_{i,j,...}} \right) \times 100$													
		Componentes													
		% reducción [] contaminantes $i,j,...$ =				Porcentaje de reducción de la concentración atmosférica local de contaminantes $i,j,...$ posterior a la intervención									
		[] contaminantes $i,j,...$ evaluación =				Concentración atmosférica local de contaminantes $i,j,...$ a nivel de inmisión para el momento de evaluación del indicador (μ/m^3)									
PERIODICIDAD		MENSUAL		JUSTIFICACIÓN PERIODICIDAD		[] contaminantes $i,j,...$ línea base =									
						Concentración atmosférica local de contaminantes $i,j,...$ a nivel de inmisión para el momento de levantamiento de línea base del indicador (μ/m^3)									
						$i,j,...$ =									
		Tipo de contaminante: PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO ₂ , NO ₂ , O ₃ y CO y BC													
		Se debe comparar la concentración promedio del contaminante correspondiente al mes del año de línea base (o el inmediatamente anterior) contra concentración promedio del contaminante correspondiente para el mismo mes del año de evaluación; p.e. junio 2021 contra junio 2022, para buscar homogeneidad en la dinámica de ciudad. De haber cambios fuertes en dinámica de ciudad o condiciones meteorológicas se podría establecer línea base análoga y consignar la observación.													
VIDA ÚTIL DEL INDICADOR		Inicio		Final		UNIDAD DE MEDIDA		Microgramos por metro cúbico de PM ₁₀ μ/m^3 PM ₁₀							
		Marzo de 2022		Diciembre de 2023											
LÍNEA BASE DEL INDICADOR															
LÍNEA BASE		2021	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
CONCENTRACIÓN			N.M.	25	N.M.	20	14	18	12	20	21	25	29	30	21,4
INDICADOR POST INTERVENCIÓN															
EVALUACIÓN		2022	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
CONCENTRACIÓN			INTERVENCIÓN		20	25	21	24	17	23	31	14	31,0	35,0	24,1
VARIACIÓN					N.M	25,0%	50,0%	33,3%	41,7%	15,0%	47,6%	-44,0%	6,9%	16,7%	21,4%
EVALUACIÓN		2023	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
CONCENTRACIÓN			28,0	36,0	31,0	28,0	22,0	14,0	14,0	18,0	22,0	16,0	25,0	29,0	21,9
VARIACIÓN			N.M	44,0%	N.M	40,0%	57,1%	-22,2%	16,7%	-10,0%	4,8%	-36,0%	-13,8%	-3,3%	3,7%
SEGUIMIENTO GRÁFICO															
Concentración atmosférica de PM ₁₀															
■ 2021 ■ 2022 ■ 2023															
ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL INDICADOR															
La evaluación del indicador para los meses del año 2022 muestran un aumento en las concentraciones con respecto a la línea base, mientras que para el año 2023, las concentraciones tienden a disminuir después de junio a excepción de septiembre y octubre, es posible que esta diferencia se pueda originar por la reactivación y estabilización de la zona. Para poder determinar que el proyecto hubiera tenido un impacto significativo en las estaciones de referencia, debe ser evaluado a mayor profundidad ya que por la distancia de la estación, así como el área del proyecto y tipo de intervención pueden influir otras variables en la concentración real de la zona de estudio															
OBSERVACIONES:															
1) La concentración atmosférica de contaminantes corresponde a la registrada por la estación de "Las Ferias" de la RMCAB, ya que es la estación que tiene mayor cercanía y representatividad de la zona de la intervención															

Fuente: elaboración propia.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Ross de WRI para Ciudades Sostenibles por su generoso apoyo como financiador, el cual hizo posible la elaboración de esta nota práctica. Así como a Fernando Páez director de WRI Colombia por su incondicional apoyo en lograr esta publicación.

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al equipo revisor externo por su valioso tiempo, dedicación y experticia en la revisión de esta nota práctica.

Agradecemos especialmente a Karen Johana Blanco, consultora en calidad del aire y cambio climático; a la Dra. Nidia Isabel Molina Gómez, directora de la Maestría en Gestión Ambiental de la Pontificia Universidad Javeriana y experta en calidad del aire; a Jaime Rueda, Coordinador en Colombia del programa CALAC+; a Andrea Bizberg, Asesora Técnica Regional y de Compromiso Político para LATAM; a Juan Gabriel Sepúlveda Corzo, Líder Técnico de Barrios Vitales en la Secretaría Distrital de Movilidad; y a Martha Deyanira García, consultora independiente experta en calidad del aire. Sus aportes y recomendaciones fueron fundamentales para enriquecer y fortalecer el contenido de este documento.

ACERCA DE WRI COLOMBIA

El Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés) trabaja para mejorar la vida de las personas, proteger y restaurar la naturaleza, y estabilizar el clima. Como una organización de investigación independiente, utilizamos nuestros datos, experiencia y alcance global para incidir en políticas y catalizar cambios en sistemas como los alimentos, la tierra y el agua; la energía; y las ciudades. Nuestro equipo de más de 2,000 personas trabaja directamente en más de una docena de países prioritarios y con socios en más de 50 naciones.

ACERCA DE LA AUTORÍA

WRI

Sandra Meneses Martínez, se desempeñó como Coordinadora de Calidad del Aire en WRI Colombia.

Contacto: sandramilena7929@gmail.com

Daniel Cano Gómez, Gerente de proyectos en WRI Colombia.

Contacto: daniel.cano@wri.org

Beatriz Cárdenas González, Directora Global de Calidad del Aire en WRI.

Contacto: beatriz.cardenas@wri.org

Secretaría Distrital de Ambiente

John Freddy Grajales, se desempeñó como líder técnico del Centro de Información y Modelamiento Ambiental CIMAB (2020-2023).

Contacto: frajales11@gmail.com

Gustavo Alfonso Romero Cruz, se desempeñó como profesional técnico del Centro de Información y Modelamiento Ambiental CIMAB (2020-2023).

Contacto: gustavws@gmail.com

Edison Yesid Ortiz Duran, Líder técnico del Sistema de Información y Modelamiento Ambiental (Actual).

Contacto: edison.ortiz@ambientebogota.gov.co

Ana Milena Quinchara Hernández, Líder técnico del Sistema de Alertas Ambientales de Bogotá SATAB (Actual).

Contacto: ana.quinchara@ambientebogota.gov.co

Secretaría Distrital de Movilidad

Juan Gabriel Sepúlveda Corzo, Líder técnico de Barrios Vitales en la Secretaría Distrital de Movilidad.

Contacto: jsepulveda@movilidadbogota.gov.co

CRÉDITOS FOTOS

Portada, Sandra Meneses Martínez; Pg. 2, Secretaría Distrital de Movilidad; Pg.5, Secretaría Distrital de Movilidad; Pg.6, Sandra Meneses Martínez; Pg.7, Sandra Meneses Martínez; Pg.11, Sandra Meneses Martínez; Pg.16, Sandra Meneses Martínez; Pg.26, Sandra Meneses Martínez; Pg.33, Sandra Meneses Martínez; Pg.41, Sandra Meneses Martínez.



WRI COLOMBIA

Calle 81 No. 11-08, Piso 5
Bogotá, Colombia
WRI.ORG