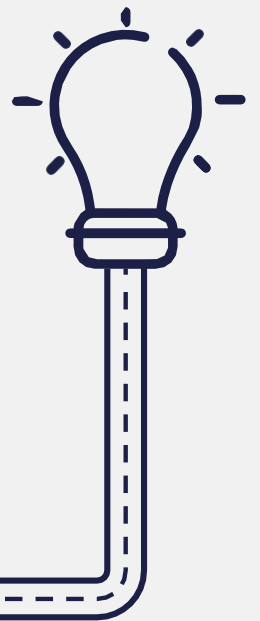


MEMORIAS[×] MOVI-INNOVA

2023



SECRETARÍA DE
MOVILIDAD



SEGUNDA EDICIÓN

SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD

Deyanira Ávila Moreno

Secretaria Distrital de Movilidad

Óscar Julián Gómez Cortés

Subsecretario de Política de Movilidad

Alimar Benítez Molina

Directora de Inteligencia para la Movilidad

Equipo técnico MOVI-INNOVA

Jeimmy Lizeth Enciso Garcia

Yamile Hernández Toro

Diego Uribe Cuéllar

Sandra Patricia Cuervo Andrade

Edición

Sandra Patricia Cuervo Andrade

Jeimmy Lizeth Enciso Garcia

Yamile Hernández Toro

Diego Uribe Cuéllar

Diseño y diagramación

Angela María Rodríguez

Bogotá, enero 2024

ISSN: 2981-6785

Secretaría Distrital de Movilidad

Carrera 13 # 37-35

Bogotá D.C.

PREFACIO



La innovación implica la transformación constante de las organizaciones frente a la manera de abordar sus necesidades. En el caso de la innovación pública, se refiere a la creación e inclusión de cambios en los servicios del Estado para mejorar la calidad en la prestación de servicios, optimizar los recursos disponibles y ampliar coberturas.

La movilidad, ha sido un factor vital en la evolución y desarrollo de nuestras sociedades. Desde sus inicios, el ser humano ha buscado constantemente mejorar su capacidad para desplazarse de un lugar a otro de manera más eficiente y segura. Sin embargo, en la actualidad, los desafíos relacionados con la movilidad son mucho más complejos.

Esperamos que estas memorias inspiren a los lectores a reflexionar sobre su papel como parte de la solución a las problemáticas identificadas y a unirse a la construcción de una mejor movilidad para todos.

¡Confiamos que la exploración de estas páginas sea el inicio hacia un futuro de la movilidad innovadora y transformadora!

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	5
2. Seguridad Vial.....	6
• Programa Niñas y Niños Primero: Movilidad escolar segura y sostenible en Bogotá	7
• Caracterización de la infraestructura vial para ciclistas en la ciudad de Bogotá mediante herramientas SIG.....	13
3. Logística	18
• Emmet Mobility: Sistema de distribución y entrega de comida, paquetes y mercancía a través de vehículo eléctrico autónomo y teleoperado	19
4. Movilidad Sostenible.....	27
• La Red Muévete Mejor y la promoción del Plan Integral de Movilidad Sostenible - PIMS	28
• Programa de Movilidad Sostenible de Promigas S.A. E.S.P	33
• Espacio público saludable con enfoque en la primera infancia- rutas alternativas de movilidad	38
• Casos de éxito de economía circular en el empleo de RCD para mejorar la movilidad de Bogotá.....	47
• Mezclas tibias: una solución amigable para la movilidad en Bogotá.....	56
• Mezclas asfálticas sostenibles: Aprovechamiento del plástico de un solo uso para mejorar la movilidad en Bogotá	62
• BICI Infraestructura vial en Bogotá: Un estudio de caso con colectivos y ciclistas urbanos	68
• Uflou – Creamos comunidades para promover la movilidad sostenible.....	77
5. Tránsito y Transporte	83
• Pictograma Prudencia.....	84
• El control como herramienta para optimizar el uso del espacio público en las Zonas de parqueo pago. Una mirada de las acciones implementadas por los agentes civiles de tránsito y transporte.....	87
• Porcentaje de participación de la malla vial con alto tráfico para la determinación del índice de cogestión	93
6. Tecnologías en Movilidad.....	100
• Estimación de la evasión zonal a través de análisis de anomalías operativas.....	101
• Estructura dinámica y congestión en la red de movilidad de la ciudad de Bogotá	111
• Monitoreo de velocidad de vehículos usando flujo óptico y el Kalman filter.....	117



INTRODUCCIÓN

MOVI-INNOVA, estrategia que impulsa la innovación y el conocimiento en movilidad en Bogotá y la región, ha experimentado una evolución significativa desde sus inicios en 2020. En un principio fue concebida como una feria interna en los años 2020 y 2021, liderada por la Dirección de Inteligencia para la Movilidad y enmarcada en la Política de Gestión del Conocimiento y la Innovación del Modelo Integrado de Planeación y Gestión MIPG, la cual se ha venido fortaleciendo con la participación de grupos de valor en diferentes categorías y temáticas relacionadas con movilidad.

En 2022, el alcance de MOVI-INNOVA se expandió para incluir no solo a otras entidades del sector, sino también a la academia, marcando un hito importante en su trayectoria. Finalmente, en 2023, la convocatoria se extendió aún más, atrayendo a una diversidad de grupos de valor como empresas privadas, entidades públicas, academia y ciudadanía. Esta edición recibió 37 postulaciones, de las cuales se seleccionaron 26 propuestas sobresalientes que abordaron una amplia gama de desafíos en la movilidad urbana.

La participación en MOVI-INNOVA 2023 fue diversa: el 50 % de entidades públicas, el 23 % de empresas privadas, el 15 % de la academia y el 12 % de la ciudadanía. Con temáticas que abarcaron la Movili-

dad Sostenible (50 %), Tecnologías Emergentes (19 %), Tránsito y Transporte (15.4 %), Seguridad Vial (11.6 %) y Soluciones Logísticas (4 %).

Un momento significativo fue el panel de discusión ‘¿Cómo nos movemos hoy en Bogotá Región?’ moderado por Alimar Benítez, Directora de Inteligencia para la Movilidad de la Secretaría Distrital de Movilidad. Diversos actores participaron en el panel, incluyendo representantes académicos, ciudadanos, el sector privado y público. Este espacio facilitó un diálogo enriquecedor sobre los motivadores de la movilidad y su impacto en la calidad de vida, explorando también la colaboración intersectorial y las implicaciones tecnológicas y de sostenibilidad. Así mismo, se contó con la participación de la conferencista Jennifer Corredor, Directora Científica de MABTEC, quien proporcionó una visión integral sobre la transformación digital en la construcción.

Entidades clave como Transmilenio, Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial, Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público, y la Secretaría Distrital de Movilidad, junto con universidades y empresas privadas, participaron activamente, evidenciando un compromiso colectivo para abordar los desafíos de movilidad en Bogotá y la región.



SEGURIDAD VIAL

Programa Niñas y Niños Primero: Movilidad escolar segura y sostenible en Bogotá

Diana Carolina Duran Forero, Jhon Freddy Domínguez Fuentes, Nathaly Patiño González, Jhon Alexander González Mendoza

-Secretaría Distrital de Movilidad-

dcduran@movilidadbogota.gov.co,
jdominguez@movilidadbogota.gov.co,
npatino@movilidadbogota.gov.co,
jagonzalez@movilidadbogota.gov.co

Resumen

El Programa Niñas y Niños Primero implementado desde la Secretaría de Movilidad, articula ocho estrategias en pro de consolidar una movilidad escolar segura y sostenible en Bogotá para las niñas, niños y adolescentes. Su implementación se lidera desde diferentes dependencias de la Secretaría, utilizando diversas metodologías y procesos, y contando con resultados específicos. Desde el año 2020, entre las ocho estrategias se ha logrado beneficiar a más de 1.200.000 estudiantes, impactando sus vidas no solo desde los viajes y entornos seguros, sino también en términos de apropiación de la ciudad, de inclusión y de la adopción de hábitos seguros y sostenibles. A través del Plan de Movilidad Sostenible y Segura se ha plasmado la sostenibilidad de este Programa lo que permitirá consolidar una ciudad cuidadora, innovadora y sostenible que priorice y proteja a sus niñas, niños y adolescentes.

1. Introducción

Atendiendo una problemática en la que entre 2018 y 2022 ocurrieron en promedio 35 siniestros fatales de niñas, niños y adolescentes entre 0 y 18 años, y 1737 niñas, niños y adolescentes lesionados en siniestros viales, y en la que se ha reportado que 40% de los estudiantes no se siente seguro en sus entornos escolares, desde la Secretaría de Movilidad se implementa el Programa Niñas y Niños Primero que integra ocho estrategias encaminadas a generar entornos y viajes seguros y sostenibles para las niñas, niños y adolescentes de los colegios distritales de Bogotá. Para su implementación, la Secretaría de Movilidad cuenta con un equipo de más de 500



personas que se encargan de la planeación, implementación y seguimiento y con las que ha logrado beneficiar a más de 1.200.000 niñas, niños y adolescentes desde el año 2020. Estas estrategias son:

	Ciempiés Caminos Seguros, que mediante caravanas a pie acompaña de manera divertida y segura los recorridos al colegio.
	Al Colegio en Bici realiza acompañamientos al colegio en bicicleta, enseña a los niños de movilidad sostenible y de seguridad vial promoviendo la actividad física.
	Biciparceros para los estudiantes adolescentes con bici propia, mediante los Guías-Parceros supervisa los polígonos donde se mueve esta población hacia sus colegios.
	Guardacaminos es el proyecto más reciente y busca promover que las entradas y salidas al colegio sean más seguras, mediante cierres temporales e intermitentes en las vías de acceso a los colegios.
	Moviparque enseña comportamientos y roles de los actores viales, mediante un parque itinerante que simula una ciudad a escala.
	Ruta Pila verifica las condiciones de las rutas escolares para que estén al día con las condiciones técnico-mecánicas y normatividad vigente;
	El Carril Escolar implementa carriles segregados y exclusivos para el tránsito de buses escolares en la autopista norte y calle 80.
	Zonas Escolares interviene los entornos y la infraestructura vial de los colegios, mediante señalización, promoviendo la seguridad vial.

2. Objetivos

El objetivo del Programa de Niñas y Niños Primero es generar entornos y viajes seguros y sostenibles para las niñas, niños y adolescentes de los colegios distritales de Bogotá. Lo anterior a través de una serie de estrategias enfocadas en cuatro objetivos específicos:

1. Promover que los viajes hacia y desde los colegios sean seguros, sostenibles, activos y divertidos - A través de Ciempiés, Al Colegio en Bici y BiciParceros, estrategias que se implementan en conjunto con la Secretaría de Educación.
2. Mejorar los entornos físicos de las instituciones educativas para que sean seguros y mitiguen los riesgos de siniestralidad vial en la interacción con otros actores en la vía. - Por medio de estrategias como Guardacaminos y Zonas Escolares.
3. Generar las condiciones y los controles para que los viajes en vehículos de transporte escolar sean más rápidos y seguros - Con la estrategia ruta pila y los carriles escolares.
4. Propiciar la adopción de comportamientos seguros y sostenibles por parte de niñas, niños y adolescentes, así como la comunidad educativa en general, a través de estrategias pedagógicas.

3. Justificación

El Programa Niñas y Niños Primero busca proteger a las niñas, niños y adolescentes de Bogotá, generando entornos y viajes seguros y sostenibles para ellas y ellos, mitigando la siguiente problemática:

- 9 de cada 10 viajes al colegio son a pie, en bicicleta o transporte público, evidenciando un mayor uso de estos modos para ir al colegio por parte de niñas, niños y adolescentes de estratos 1, 2 y 3, quienes posiblemente no tienen otra alternativa de movilidad al colegio.
- Riesgos en la vía que entre 2018 y 2022, han dejado en promedio 35 siniestros viales fatales de niñas, niños y adolescentes entre 0 y 18 años, siendo el grupo entre 12 y 18 años donde se concentró la mayoría de las víctimas. En cuanto a siniestros con lesionados, el promedio es de 1.737 coincidiendo con el grupo etario entre 12 y 18 años como el más afectado.
- Asimismo, a partir de la Encuesta de Clima Escolar de 2017, el 40% de los estudiantes ha manifestado que no se siente seguro en sus entornos escolares.
- Muchas veces todo lo anterior desencadena en que 2 de cada 100 niños desertan de la educación anualmente.



4. Alcance

Los proyectos que hacen parte del Programa Niñas y Niños Primero se enfocan en población infantil y adolescente de Bogotá, con un fuerte énfasis en el entorno urbano, aunque también se ha tenido incidencia en la zona rural de la ciudad. El alcance y objetivos específicos de cada proyecto varía, sin embargo, todos tienen una proyección a 2035 en la que se busca consolidar una ciudad cuidadora, segura y sostenible para esta población.

5. Metodología

Cada una de las estrategias que componen el Programa Niñas y Niños Primero cuenta con un equipo de la Secretaría de Movilidad que se encarga de la

planeación, diseño, implementación y seguimiento de cada estrategia, siguiendo una metodología particular.

La operación de Ciempiés, Al Colegio en Bici y BiciParceros, es planeada e implementada en conjunto con la Secretaría de Educación (SED) en el marco del convenio Interadministrativo CO1.PCCN-TR.3015940/SED-SAP-DBE- CONVINTER- 05-2023. Para iniciar la operación en los colegios, se cumplen los siguientes pasos:

1. Desde la SED se realiza la articulación con los colegios distritales que deben contar con el interés y la disposición para ser parte de las iniciativas.
2. Entre la SED y el Colegio se deben brindar espacios para llevar a cabo convocatorias, talleres,

reuniones y actividades con estudiantes, acudientes y enlaces de la IED, para socializar las estrategias e identificar a los estudiantes interesados.

3. Una vez se cuente con estudiantes interesados, se solicita la información para georreferenciar los hogares y diseñar los recorridos de Ciempiés y Al Colegio en Bici y los Polígonos seguros en el caso de BiciParceros.
4. Para los interesados en Al colegio en Bici y BiciParceros se realiza el taller de la bicicleta, para validar las habilidades en bicicleta.
5. Una vez aprobado el taller, los acudientes de los estudiantes interesados en participar en Ciempiés, Al Colegio en Bici y BiciParceros deben firmar el acuerdo de corresponsabilidad en el autorizan la participación de cada estudiante.
6. Una vez los estudiantes ya están aprobados, el equipo de monitores en el caso de ciempiés y de guías en el caso de Al Colegio en Bici, contratados por la Secretaría de Movilidad, se realizan los acompañamientos diarios por los recorridos trazados, recogiendo y dejando a los niños en los puntos de encuentro acordados.
7. Los monitores de Ciempiés usan juegos como herramienta pedagógica en el recorrido, fortaleciendo la apropiación de la ciudad y los conocimientos en seguridad vial.
8. Adicionalmente, se realizan safaris y ciclo expediciones que son salidas extracurriculares a pie y en bicicleta, con las niñas, niños y adolescentes de los proyectos a lugares culturales para promover apropiación y conocimiento de Bogotá.

Por su parte, la metodología para implementar Guardacaminos, parte del interés de los colegios para acoger la estrategia. El equipo de guardacaminos visita las sedes de las instituciones educativas para presentar la estrategia, una vez se cuenta con el interés del colegio, éste se compromete a conseguir un equipo de voluntarios de la comunidad educativa. En paralelo, desde la Secretaría de Movilidad se analizan los conflictos viales en las vías aledañas del colegio y se diseña un esquema de cierre para

generar cruces seguros en los horarios de entrada y salida. En este diseño se tienen en cuenta variables como los sentidos viales, el tipo de vía, el paso del SIP y de peatones, la señalización, el flujo vehicular, el número y los horarios de ingreso y salida de estudiantes, entre otros. Una vez se cuenta con el equipo de voluntarios, son capacitados por la Secretaría de Movilidad en la realización de los cierres y se entrega el kit Guardacaminos que contiene los elementos para el cierre.

Las Zonas escolares buscan disminuir las velocidades en los entornos escolares, buscando evitar siniestros viales en los entornos. Lo anterior a través de ajustar el diseño de las vías de acuerdo con el contexto y la vulnerabilidad de los usuarios a partir de intervenciones tipo señalización horizontal y vertical, elementos de segregación, dispositivos de reducción de velocidad e incluso el mejoramiento de espacios peatonales y ciclistas. Para el diseño e implementación de cada zona, la Secretaría Distrital de Movilidad realiza una evaluación de cada localidad, basándose en análisis geográficos y estadísticos que permiten identificar zonas con problemática de siniestralidad que deban ser atendidas de manera prioritaria.

Ruta Pila, implementa actividades que van desde la planeación, agendamiento e implementación de jornadas educativas hasta operativos de revisión y control de vehículos escolares en diferentes escenarios de la ciudad, buscando prevenir siniestros viales en el servicio de transporte escolar, en cumplimiento del Acuerdo Distrital 281 de 2007. Las actividades inician una fase de prevención, seguida de una fase de control y seguimiento donde se realizan operativos a gran escala en las instituciones educativas, corredores viales y empresas de transporte para verificar el estado de los vehículos y la documentación.

Bogotá hoy cuenta con dos carriles escolares donde se habilita la circulación preferencial de buses escolares en las horas pico de la mañana. La implementación de estos carriles se realizó en corredores principales de la ciudad como la Autopista Norte y la Calle 80, luego de un análisis robusto y pilotaje de cada corredor. El carril de la autopista norte inició en 2017 a partir de la Resolución 012 de 2017, y el de la calle 80 en 2022.



Finalmente, Moviparque enseña comportamientos y roles de los actores viales, mediante un parque itinerante que simula una ciudad a escala. Esta estrategia hace parte de la oferta de pedagogía enfocada en niñas, niños, adolescentes y la comunidad educativa en general con la que cuenta la Secretaría de Movilidad. Se implementa desde la Oficina Asesora de Comunicaciones donde se dispone un equipo de 34 personas que implementan diversas actividades pedagógicas en instituciones educativas, buscando favorecer y garantizar el desarrollo integral de las niñas, niños y adolescentes como actores de la vía, tanto a nivel de conocimientos sobre la normativa, reglamentación y señalización vial, como a nivel de hábitos, comportamientos, conductas, y valores individuales y colectivos, promoviendo el respeto, la corresponsabilidad y autorregulación en la movilidad.

6. Resultados

Ciempies caminos seguros: En 2022 se operaron 42 caminos seguros en 24 colegios, beneficiando a 2.410 niñas, niños y adolescentes con esta estrategia. De los 2.410 estudiantes beneficiados, 2.172 se encuentran entre los 5 y los 13 años y 238 de 14 en adelante. Adicionalmente, 1266 son niñas y 1144.

Al colegio en Bici y BiciParceros: En 2022 se beneficiaron 8.516 estudiantes, de los cuales 6.005 se encuentran entre los 5 y los 13 años y 2.511 de 14 en adelante. Adicionalmente, 3.450 son niñas y 5.066 son niños.

Guardacaminos: Durante 2022, se logró presentar la estrategia en 699 sedes de colegios distritales de la zona urbana, de las cuales 20 sedes completaron la fase de implementación, beneficiando aproximadamente a 15.000 estudiantes de estas instituciones.

Zonas escolares: Entre 2020 y marzo de 2023 se han beneficiado 1.238 instituciones educativas con intervenciones de zonas escolares en las vías aledañas, mediante la implementación de 1.821 desarrollos con diferentes dispositivos de señalización, beneficiando a casi 1.000.000 niñas, niños y adolescentes.

Ruta pila: Entre 2021 y marzo de 2023 se han realizado 208 visitas a Instituciones educativas y se han revisado 14.001 vehículos de transporte especial escolar controlados mediante el programa Ruta Pila, beneficiando a 213.454 niñas, niños y adolescentes.

Carriles escolares: El Carril escolar Autopista Norte beneficia a cerca de 2400 rutas que diariamente llevan a cerca de 100.000 estudiantes hacia 68 instituciones educativas en el borde norte. El Carril Priorizado de Calle 80, beneficia a cerca de 16.000 estudiantes.

Actividades pedagógicas: Entre 2020 y abril de 2023 se han desarrollado 1.217 acciones pedagógicas en instituciones educativas en las que han participado 100.556 niñas, niños, adolescentes y jóvenes y 8.971 adultos o cuidadores de estos menores, logrando establecer compromisos por parte de los participantes en la construcción de entornos más seguros y la promoción de la cultura ciudadana, necesarios para un sistema de movilidad seguro.

7. Conclusiones

El Programa Niñas y Niños Primero apunta a consolidar una ciudad cuidadora, innovadora y sostenible que priorice y proteja a sus niñas, niños y adolescentes. El impacto no se ve solamente en las niñas, niños y adolescentes beneficiarios cada año con cada proyecto, sino en la transformación a largo plazo de la ciudad a través de apostarle hoy a la niñez, a una niñez que adopta comportamientos seguros, que utiliza los modos sostenibles y que puede apropiarse y acercarse a la ciudad a través de estas estrategias.

8. Impactos a corto, mediano y largo plazo

Los impactos en el corto plazo se enfocan en reducir la siniestralidad vial de las niñas, niños y adolescentes, promover hábitos sostenibles y seguros en la vía y generar bienestar y felicidad. En el mediano e incluso corto plazo estas prácticas tienen incidencia sobre la salud física y mental de los beneficiarios, fortalecimiento de las comunidades, entornos y del tejido social. Igualmente, buscando dar una sostenibilidad en el largo plazo, los proyectos se incluyeron dentro del Plan Maestro de Movilidad Sostenible y Segura adoptado mediante el Decreto 497 de 2023. En este se definieron las siguientes metas de impacto a 2035, sobre la seguridad vial en los entornos escolares y bienestar de las niñas, niños y adolescentes:

Tabla 1. Metas del Programa 3: Movilidad segura y sostenible en entornos escolares

PROYECTO	META
Fortalecimiento del proyecto Ciempiés Caminos Seguros: Caminando hacia/ desde el colegio	67.210 niñas y niños beneficiarios
Fortalecimiento del proyecto Pedaleando al Colegio: Al Colegio en Bici	121.487 niñas y niños beneficiarios
Fortalecimiento del proyecto Biciparceros	67.821 niñas y niños beneficiarios
Guardacaminos: Consolidación de corredores y accesos seguros y eficientes para niñas y niños	176.700 niñas y niños beneficiarios
Acciones pedagógicas en educación vial y cultura para la movilidad dirigidas a niñas, niños y adolescentes de instituciones educativas públicas y privadas de la ciudad.	600.000 niñas y niños beneficiarios
Movilidad segura en vehículos de transporte escolar – Ruta Pila	30.000 vehículos de transporte escolar revisados por parte del proyecto Ruta Pila
Instituciones educativas intervenidas con señalización de zona escolar	8.000 instituciones educativas intervenidas en el periodo

Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad.Documento técnico de soporte etapa de formulación Plan de Movilidad Sostenible y Segura de Bogotá. 2023

9. Agradecimientos

Este Programa es el resultado de los esfuerzos y visiones de múltiples dependencias y equipos de la Secretaría Distrital de Movilidad que han hecho posible la implementación de los proyectos de movilidad escolar segura y sostenible y sus impactos sobre el bienestar de las niñas, niños y adolescentes en la ciudad. Por lo que es importante reconocer y extender un agradecimiento a cada uno de los equipos que lo hacen posible y a las personas que los lideran: Jack David Hurtado Casquete y Juan Felipe Otálora del proyecto Ruta pila, el equipo de gerentes por la implementación de los carriles escolares, Andrés Fabián Contento Muñoz y Sergio Andrés Jiménez Malagón que lideran la estrategia pedagógica, Juan Camilo Rodríguez Cárdenas y el equipo de zonas escolares, y a los equipos de Guardacaminos, Ciempiés, Al Colegio en Bici y BiciParceros, estos tres últimos en conjunto con equipo de la Secretaría de Educación.

Caracterización de la infraestructura vial para ciclistas en la ciudad de Bogotá mediante herramientas SIG

Diana María Jurado Gordo

-Universidad La Gran Colombia-

Diana.jurado@ugc.edu.co

Resumen

La propuesta de investigación “Caracterización de la infraestructura vial para ciclistas en la ciudad de Bogotá mediante herramientas SIG”, surge como ejercicio académico realizado con los estudiantes del curso Fotogrametría y SIG del programa de ingeniería Civil de la Universidad la Gran Colombia, sede Bogotá. Este ejercicio consiste en el levantamiento de datos a partir de rutas frecuentes utilizadas por ciclistas. La información capturada corresponde a el tipo de infraestructura vial para ciclistas utilizada en la ruta y aspectos relacionados con inseguridad, mantenimiento de bicicletas, tránsito con precaución, comercio informal, señalización y entornos agradables; estos datos son capturados en tiempo real y muestran un diagnóstico de la ruta transitada.

1. Empatizar

El incremento de los viajes en bicicleta después del confinamiento por la pandemia Covid 19, ha sido considerable, como también lo han sido las situaciones de inseguridad, accidentalidad, incremento de comercio informal en torno a este fenómeno; cabe anotar que la gestión por parte de la alcaldía de Bogotá está orientada a la utilización de la bicicleta como medio de transporte. Por lo tanto, resulta como necesidad principal la planeación de los viajes realizados a diario en bicicleta, de tal forma que, como usuarios de este vehículo, se vele por la integridad física, la seguridad, y las mejores condiciones en la utilización de este medio de transporte.



Para poder realizar este ejercicio es necesario la toma de esta información oportuna y actualizada, donde los datos capturados tengan una vigencia conforme a lo que requiere el usuario en la realización de los viajes en bicicleta y las condiciones que ofrecen cada una de sus rutas en diferentes horarios, relacionando aspectos como accidentalidad, señalización, seguridad, rapidez, mantenimiento de la infraestructura, conectividad, presencia de comercio informal y presencia de comercio relacionado al mantenimiento de bicicletas.

Con el fin de realizar esta caracterización y brindar al ciclista información oportuna para la realización de sus viajes, surge la idea de capturar información en tiempo real a partir de datos tomados mediante la utilización de dispositivos móviles y de forma periódica para mostrar al ciclista las condiciones en las cuales se encuentra la ruta que va a realizar en cuanto a los aspectos ya mencionados.

2. Definir

Actualmente los ciclistas de la ciudad de Bogotá realizan sus viajes sin tener información actualizada relacionada con seguridad, accidentalidad, estado de la infraestructura, comercio informal en ruta, mantenimiento de bicicletas, señalización y entornos propicios para movilizarse. Por lo tanto se plantea realizar el levantamiento de esta información mediante una aplicación en tiempo real que permita al usuario reportar datos relacionados con accidentalidad, seguridad, estado de la infraestructura, señalización, comercio informal, mantenimiento de bicicletas, puntos de tránsito con precaución y entornos propicios para la realización de viajes, aportando vigencia a estos datos, para permitir una mejor efectividad en la selección de la ruta a realizar y permitiendo una caracterización del estado de la infraestructura vial para ciclistas en los aspectos antes mencionados.

La información Cartográfica en la plataforma IDECA (Infraestructura de datos espaciales de registro capital) cuenta con información global referente al tema, o cual ocasiona que el cargue de información global no permita la selección de una ruta puntualizada en tiempo real que brinde al usuario información actualizada para lograr una mejor optimiza-

ción en los tiempos de respuesta. A raíz del convenio vigente entre la universidad la Gran Colombia y la Infraestructura de Datos Espaciales del Distrito Capital (IDECA), se ha venido realizando la socialización de este proyecto entre los gremios asociados a la utilización de bicicletas en la ciudad de Bogotá, con el fin de llevar a la práctica esta propuesta y robustecer la aplicación actual con la cual cuenta el distrito, llamada “mapas Bogotá Bici”.

3. Idear

Las etapas de este proceso son:

1. Captura de información: Capturar información en campo referente a las rutas más utilizadas por los ciclistas en la ciudad de Bogotá, discriminando estas por día y hora con el fin de hacer la caracterización de las mismas en los siguientes aspectos: Tipo de ciclo infraestructura, accidentalidad, seguridad, señalización, conectividad, estado, presencia de comercio informal, comercio relacionado al mantenimiento de bicicletas, puntos de ciclo parqueadero y de bicicletas compartidas, puntos de congestión de ciclistas y entornos agradables
2. Representación cartográfica: Elaboración de productos cartográficos (Visor geográfico, cartografía y aplicación) para la óptima planeación de las rutas en bicicleta por día y hora.
3. Caracterización de rutas. Caracterización y análisis de datos en los siguientes aspectos: Accidentalidad, seguridad, señalización, conectividad, estado de la cicloinfraestructura, presencia de comercio informal, comercio relacionado al mantenimiento de bicicletas, puntos de ciclo parqueadero y de bicicletas compartidas, puntos de congestión de ciclistas y entornos agradables. Indicadores de seguridad, accidentalidad, comercio informal, señalización, conectividad, estado del ciclo infraestructura y entornos agradables por día y hora
4. Análisis de resultados: Caracterización de las rutas más utilizadas por los ciclistas, por día y hora, a partir de los aspectos anteriormente mencionados, el medio de divulgación de esta información será a través de un visor geográfico.

4. Plan de implementación para el desarrollo de la idea

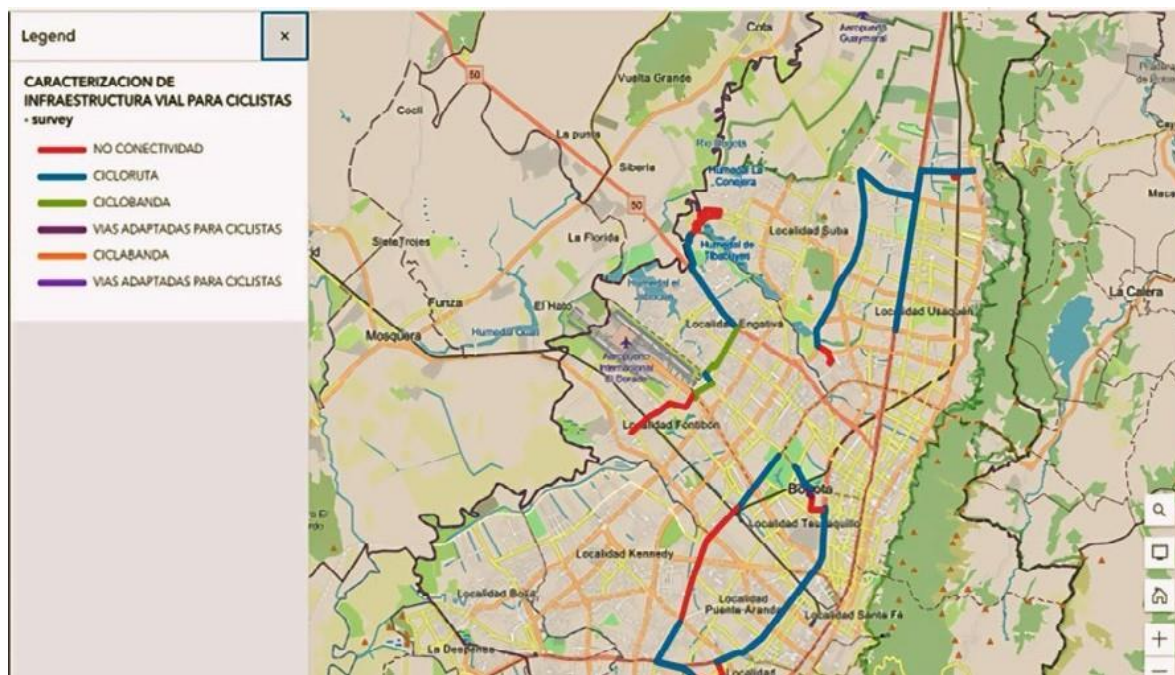
Fase 1. Diseño y alistamiento de información.

- 1.1 Inventario información cartográfica existente-fuente IDECA y servicios geográficos.
- 1.2 Análisis de información secundaria en la cual se pueda evidenciar los puntos donde existe más tránsito de bicicletas por días y horas.
- 1.3 Diseño aplicación Web en Survey 123 para captura de información en campo.
- 1.4 Diseño Catálogo de objetos para elaboración de productos cartográficos.

Fase 2. Captura de información en campo

- 2.1 Selección de rutas recorridos frecuentes: Definición de actores, diseño instrumento, muestra.
- 2.2 Aplicación instrumento para selección de rutas recorridos frecuentes.
- 2.3 Captura de información en rutas recorridos frecuentes mediante la aplicación web Survey 123.

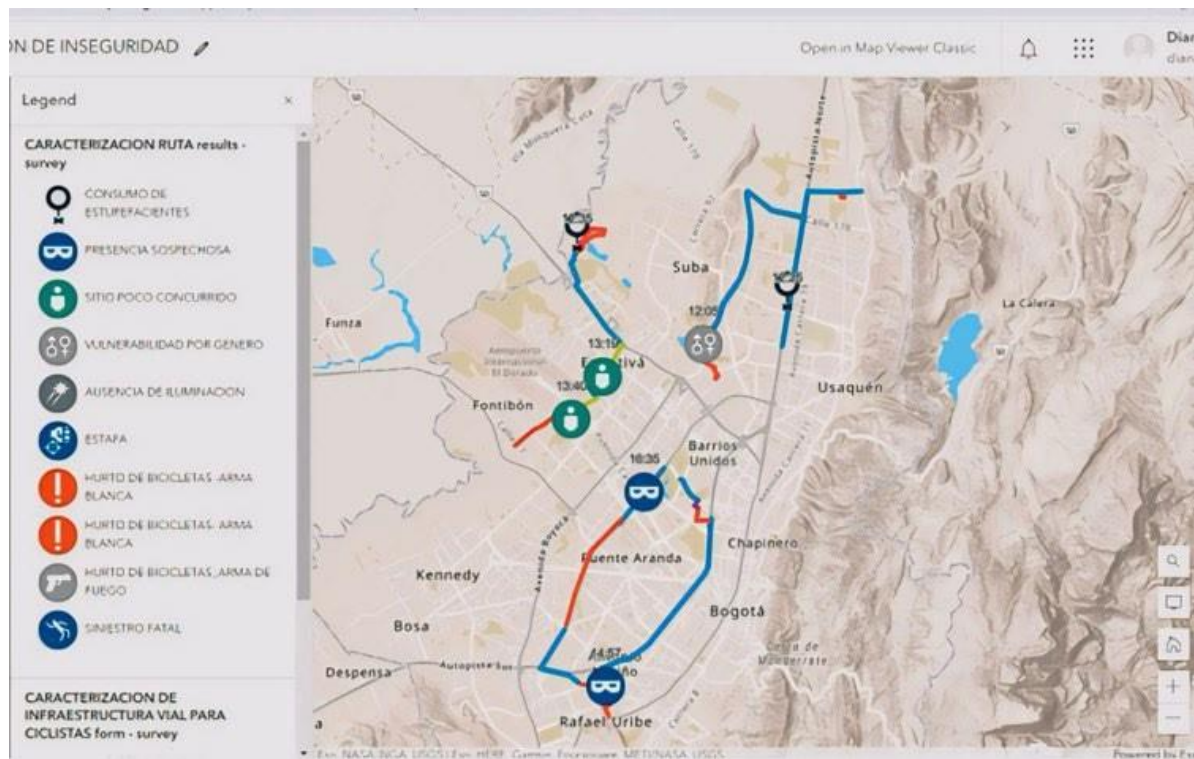
Figura 1.



Fuente: Elaboración estudiantes Universidad la Gran Colombia, programa de ingeniería Civil.

Fase 3. Análisis de datos y caracterización de rutas.

- 3.1 Diagnóstico rutas con puntos para mantenimiento de bicicletas.
- 3.2 Diagnóstico rutas estados infraestructura vial para ciclistas.
- 3.3 Diagnóstico rutas estado señalización y conectividad.
- 3.4 Diagnóstico rutas presencia de comercio informal y puntos con mantenimiento para bicicletas.
- 3.5 Caracterización de rutas por concepto de accidentalidad por día y hora.
- 3.6 Caracterización de rutas por concepto de inseguridad por día y hora.



Fuente: Elaboración estudiantes Universidad la Gran Colombia, programa de ingeniería Civil.

Fase 4. Productos cartográficos.

4.1 Implementación de la aplicación web survey 123-mapas Bogotá Bici.

4.2 Visor geográfico caracterización infraestructura vial para ciclistas.

4.2.1 Análisis de requerimientos

4.2.2 Diseño

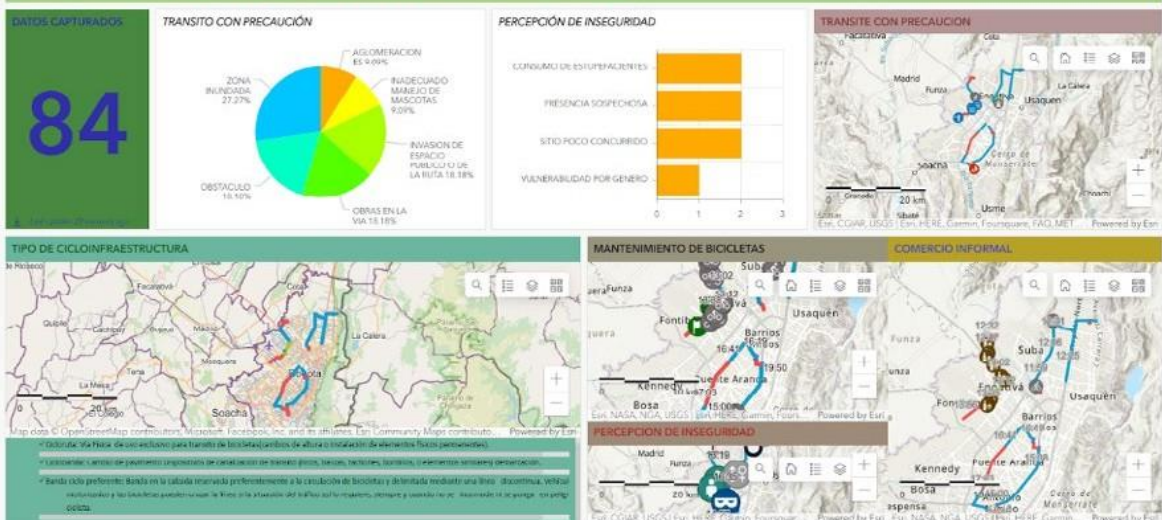
4.2.3 Desarrollo

4.2.4 Pruebas de funcionamiento.



Fuente: Elaboración estudiantes Universidad la Gran Colombia, programa de ingeniería Civil.

CARACTERIZACION DE INFRAESTRUCTURA VIAL PARA CICLISTAS



Fuente: Elaboración estudiantes Universidad la Gran Colombia, programa de ingeniería Civil.

5. Resultados esperados

- Selección de rutas correspondientes a recorridos frecuentes realizados por ciclistas en la ciudad de Bogotá.
- Elaboración e implementación de un catálogo de objetos disponible en la aplicación para el levantamiento de información en campo lo cual permita la caracterización de infraestructura vial para ciclistas.
- Diseño de una aplicación web la cual permita la captura de información en campo, relacionada con la caracterización de infraestructura vial para ciclistas a partir de las rutas frecuentes.
- Visualización de la caracterización de infraestructura vial para ciclistas mediante un visor geográfico y un tablero de control, donde se muestre de forma cuantitativa y cualitativa de los escenarios anteriormente mencionados.





LOISITICA

Emmet Mobility: Sistema de distribución y entrega de comida, paquetes y mercancía a través de vehículo eléctrico autónomo y teleoperado

Alexander Nieves

-Emmet Mobility-

emmet.mobility@gmail.com

Resumen

Emmet es un sistema de distribución de alimentos, paquetes y mercancía a través de vehículo eléctrico autónomo y teleoperado, 100% eléctrico. Genera energía eléctrica a través de paneles solares mientras se desplaza por la ciudad. Reemplaza vehículos de combustión y evita que los conductores estén en las vías ayudando a cuidar el medio ambiente y evitando siniestros viales salvando vidas. Emmet realiza la entrega de alimento a cada cliente mientras se moviliza por la ciudad, los usuarios utilizan una plataforma móvil por donde realizan los pedidos y el sistema marca trayectorias de origen y destino, puede operar tanto de día como de noche gracias a las baterías recargables que reciben energía de los paneles solares y de los puntos de recarga, el vehículo es capaz de movilizarse por hasta 60 Km con una sola carga y su velocidad máxima es de 40Km/h la cual puedes disminuirse en zonas de baja velocidad y su capacidad de carga máxima es de 500 Kg.

1. Introducción

La logística de última milla tiene limitantes en tener múltiples vehículos sean bicicletas, motos o motocarros transitando al tiempo por áreas y espacios angostos, Emmet y su sistema de inteligencia artificial tiene la capacidad de gestionar múltiples vehículos autónomos u operados desde un centro de control sin que existan accidentes entre ellos, mejores trayectorias lo que reduce tiempos de desplazamiento y que pueden operar 24 horas continuas, aprovechando así todo el día y lograr entregar paquetes, mercancías y alimentos.



2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Implementar vehículos Emmet en la ciudad de Bogotá para realizar operaciones de logística de última milla en menos tiempo y sin conductores en su interior evitando siniestros viales.

2.2 Objetivos específicos

Desarrollar un vehículo eléctrico sostenible con capacidad para cargar y desplazarse por un entorno real.

Desarrollar un sistema de Inteligencia Artificial IA que pueda a través de cámaras y sensores puestos en un vehículo, controlar sus movimientos en una vía con otros vehículos, obstáculos y peatones.

Construir un contenedor con lockers que puedan llevar mercancías, documentos, alimentos, mascotas, productos o cualquier otro elemento con la posibilidad de controlar su temperatura sea para mantener refrigerado o caliente.

Diseñar y desarrollar un sistema de paneles solares que se desplacen para capturar la radiación solar mientras el vehículo se desplaza por la ciudad.

Crear un sistema de pantallas para generar publicidad alrededor del vehículo e ir proyectando contenido visual mientras se desplaza.

Desarrollar un nuevo sistema de vigilancia móvil 360° que puede ayudar a monitorear un entorno.

3. Justificación

En las grandes ciudades la logística es un desafío y el tráfico genera que los tiempos empeoren todo, las grandes compañías de logística pierden cientos de millones de dólares en vehículos y en conductores que trabajan en horarios, que deben tomar descansos, que sufren accidentes de tránsito, que los vehículos no pueden ingresar en barrios de calles estrechas y la logística de última milla es un desafío completo.

Algunas soluciones actuales están limitadas en su capacidad para generar más autonomía por km y se debe a que no tienen un sistema de generación de energía que pueda alimentar al mismo vehículo, así como que esa energía generada se almacena en baterías para utilizarse en la noche.

El hecho de que los vehículos actuales (bicicletas, motos y motocarros) deban ser conducidos por un ser humano genera varias problemáticas, para empezar el comportamiento en la vía es cuestionable debido a maniobras peligrosas e incumplimiento de las normas de tránsito, el no respeto por los peatones, variables como el consumo de sustancias alucinógenas y el cansancio puede generar microsueños y todo ello se traduce en siniestros viales y pérdidas de vidas que van en contra de la política cero de la ciudad de Bogotá.

Vehículos de tamaño reducido donde el conductor ocupa un espacio que debería ser ocupado por paquetes o mercancía vuelven la logística de última milla ineficiente, espacio y capacidades de carga que el vehículo de Emmet posee con una capacidad de carga de hasta 500Kg.

Es por ello que desarrollamos a Emmet un vehículo eléctrico autostenible e inteligente que puede controlarse de manera autónoma o teleoperado según lo requiera el cliente desde un centro de operaciones y este ir a un punto de origen, recoger diferentes paquetes y mercancía en cada uno de sus casilleros y llevarlos por la mejor ruta a través de un algoritmo de la mejor trayectoria hasta cada uno de sus destinos y realizar la entrega puerta a puerta de manera rápida, eficiente, sin contaminar y lo puede realizar 24 horas al día los 7 días de la semana y los 365 días del año sin prácticamente detenerse. La tecnología actualmente cuenta con más de 5 patentes que protegen cada una de las partes, funcionalidades, software, mecanismos y métodos relacionados.

La oportunidad de generar soluciones a varias compañías que requieren realizar entregas en la logística de última milla que mejore tiempos y recursos que puede llegar a ingresos de USD \$8.500 millones al año.

4. Marco Teórico

La movilidad inteligente hace parte de la logística 4.0 y llega para mejorar la movilidad en las ciudades, haciéndolas más seguras y eficientes. Los vehículos autónomos o teleoperados son una solución para las ciudades inteligentes del presente donde se requiere disminuir el tráfico, utilizar vehículos eléctricos y con buena capacidad para cargar y transportar mercancía desde un origen hasta un destino.

Las tecnologías que se implementan en vehículos como Emmet son:

- Global Position System (GPS): Es un sistema de radionavegación que proporciona servicios seguros de posicionamiento, cronometría y navegación gratuita e ininterrumpida.
- Radio Detection and Ranging (RADAR): detecta las distancias por onda de radio.
- Light Detection and Ranging (LIDAR): este dispositivo permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o terreno usando un haz de láser pulsado.
- Visión computarizada [2]

Existen 6 niveles de automatización de vehículos como se presenta en la *Figura 1* y Emmet utiliza el nivel 5 donde el vehículo es capaz de controlarse por completo, pero con la opción de que el conductor que se encuentra a distancia en un centro de operación pueda tomar el control del vehículo, el entorno se conoce por completo gracias a las tecnologías que utiliza y se implementan en el vehículo.

Figura 1. Niveles de automatización de vehículos

					
01		23		45	
Sin automatización	Asistencia al conductor	Automatización parcial	Automatización condicional	Alta automatización	Automatización completa
Autonomía Cero. El conductor realiza todas las tareas de conducción.	El vehículo es controlado por el conductor, pero algunas funciones de asistencia a la conducción pueden estar incluidas en el diseño del vehículo.	El vehículo tiene funciones automáticas combinadas, como la aceleración y la dirección, pero el conductor debe permanecer comprometido con la tarea de conducción y monitorear el entorno en todo momento.	El conductor es una necesidad, pero no se requiere para monitorear el entorno. Debe estar listo para tomar el control del vehículo en todo momento frente a un aviso del sistema.	El vehículo es capaz de realizar todas las funciones de conducción bajo ciertas condiciones. El conductor tiene la opción de controlar el vehículo.	El vehículo es capaz de realizar todas las funciones de conducción en todas las condiciones. El conductor tiene la opción de controlar el vehículo.

Fuente: Elaboración propia basado en Society Automotive Engineers (SAE), 2014.



Se hace necesario crear bases normativas, regulatorias y estándares para impulsar estas tecnologías, es importante la participación de autoridades regionales y nacionales, así como las empresas constructoras de vehículos, los centros de innovación y universidades, de manera tal que las normativas no solo vayan a la par del progreso tecnológico, sino que incluso generan incentivos para su desarrollo favoreciendo la colaboración entre las empresas.

A nivel global, los Acuerdos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), adoptados en 1958, 1997 y 1998, proporcionan el marco legal tanto para el Foro Mundial para la Armonización de la Reglamentación sobre Vehículos (Grupo de trabajo WP.29) como para el Foro Mundial para la Seguridad Vial (Grupo de Trabajo WP.1), y han generado progresos importantes para la homologación de las condiciones de seguridad de los vehículos y la armonización de las normas de tránsito, el comportamiento de los usuarios de la carretera, vehículos e infraestructura respectivamente. Recientemente dentro de este marco internacional y bajo el alero de las Naciones Unidas, se han adoptado resoluciones que sirven de guía para el despliegue seguro de vehículos automatizados, ofreciendo recomendaciones para garantizar la interacción segura entre vehículos automatizados, otros vehículos y, en general, todos los usuarios de la carretera. En el año 2018, también se formó el Grupo de Trabajo sobre Vehículos Automatizados/Autónomos y Conectados (GRVA), entidad conformada por los principales países fabricantes de automóviles que son partes contratantes de los Acuerdos de Naciones Unidas de los años 1958 y 1998 [3].

El amparo del WP.29, se lograron importantes acuerdos sobre sistemas de apoyo a la conducción, tales como sistemas avanzados de frenado de emergencia; sistema automático de mantenimiento de carril (ALKS); y adopción de un proyecto de Reglamento de la ONU sobre ciberseguridad y sistema de gestión de ciberseguridad. A futuro se esperan acuerdos similares para la protección de los sistemas de conducción automatizados (FRAV), seguridad cibernética (y actualizaciones de software), entre otros desarrollos tecnológicos (UNECE, 2018) [3].

En el caso de América Latina coexistan vehículos altamente informatizados e incluso autónomos haciendo uso del mismo espacio vial con otros de tecnología de comienzo del siglo pasado, lo cual re-

presentará un enorme reto regulatorio y normativo para las autoridades para asegurar un flujo expedito y seguro para todos los usuarios de las vías [3].

Lo anterior es coincidente con los resultados de una Encuesta Delphi desarrollada por el BID en el año 2020, sobre los posibles impactos de la introducción de Vehículos de Conducción Automatizada (VCA)3 en la movilidad de las ciudades de América Latina y el Caribe, observando que para los 13 expertos consultados de 14 países de la región, entre los que se contaban funcionarios de gobierno, industria y de la academia, el principal factor que incidirá en la decisión de adquirir un VCA es a parte de su costo de adquisición (promedio 6) y la eficiencia del sistema (5,8), la seguridad real y percibida en el sistema, con una nota promedio de 5,7, incluso por sobre variables como costo de mantenimiento, infraestructura vial y tecnológica disponible, incentivos, diseño y prestaciones del vehículo, en una escala que va de 1 a 7, siendo 1 nada importante y 7 sumamente importante (BID, 2020) [8].

5. Metodología

Se realizó un procedimiento de desarrollo de tecnología que tuvo los siguientes pasos:

1. Identificación de problemáticas y deficiencias del sector de logística de último kilómetro

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo para identificar las principales problemáticas del sector de logística de último kilómetro. Se realizaron estudios comparativos de sistemas similares en vehículos autónomos utilizados para la distribución y entrega de paquetes, con el fin de detectar deficiencias y áreas de mejora.

2. Diseño del vehículo utilizando software CAD

Se empleó software CAD de vanguardia para el diseño del vehículo. Este proceso incluyó la conceptualización y desarrollo de los componentes estructurales y funcionales, garantizando la optimización del diseño para su eficiencia y funcionalidad.

3. Construcción de sistemas y subsistemas

Se procedió a la construcción detallada de los diversos sistemas y subsistemas del vehículo. Estos incluyen, pero no se limitaron a:

- Control y potencia.
- Transmisión.
- Almacenamiento de energía.
- Generación de energía.
- Pantallas, sensores, cámaras y radar.
- Comunicación.
- Contenedores y casilleros.
- Teleoperación e Inteligencia Artificial (IA).

4. Pruebas en laboratorio

Se llevaron a cabo pruebas exhaustivas en un entorno de laboratorio controlado. Estas pruebas se enfocaron en validar el rendimiento, la funcionalidad y la integración de los sistemas y subsistemas del vehículo, asegurando su correcto funcionamiento antes de las pruebas en condiciones reales.

5. Pruebas en vías de la ciudad de Bogotá

Una vez validado en el entorno de laboratorio, se procedió a realizar pruebas en vías reales de la ciudad de Bogotá. Estas pruebas permitieron evaluar el desempeño del vehículo en situaciones del mundo real y su adaptación al entorno urbano.

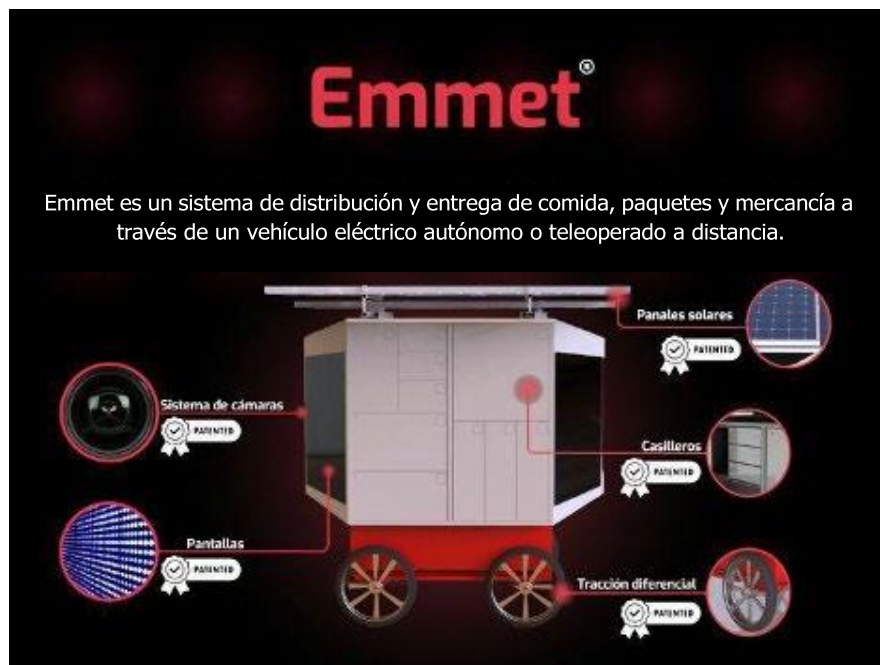
6. Establecimiento del modelo de negocio

Finalmente, se estableció un modelo de negocio integral que abarcó aspectos económicos, operativos y estratégicos para la implementación efectiva del vehículo en el sector de logística de último kilómetro.

6. Resultados

Se obtiene un vehículo eléctrico terrestre autónomo y teleoperado con un grupo de 5 patentes de invención que protegen los sistemas, mecanismos, procedimientos, software y métodos en cada una de sus funcionalidades como se puede observar en la *Figura 2*.

Figura 2. Vehículo Desarrollado y sus 5 patentes de invención

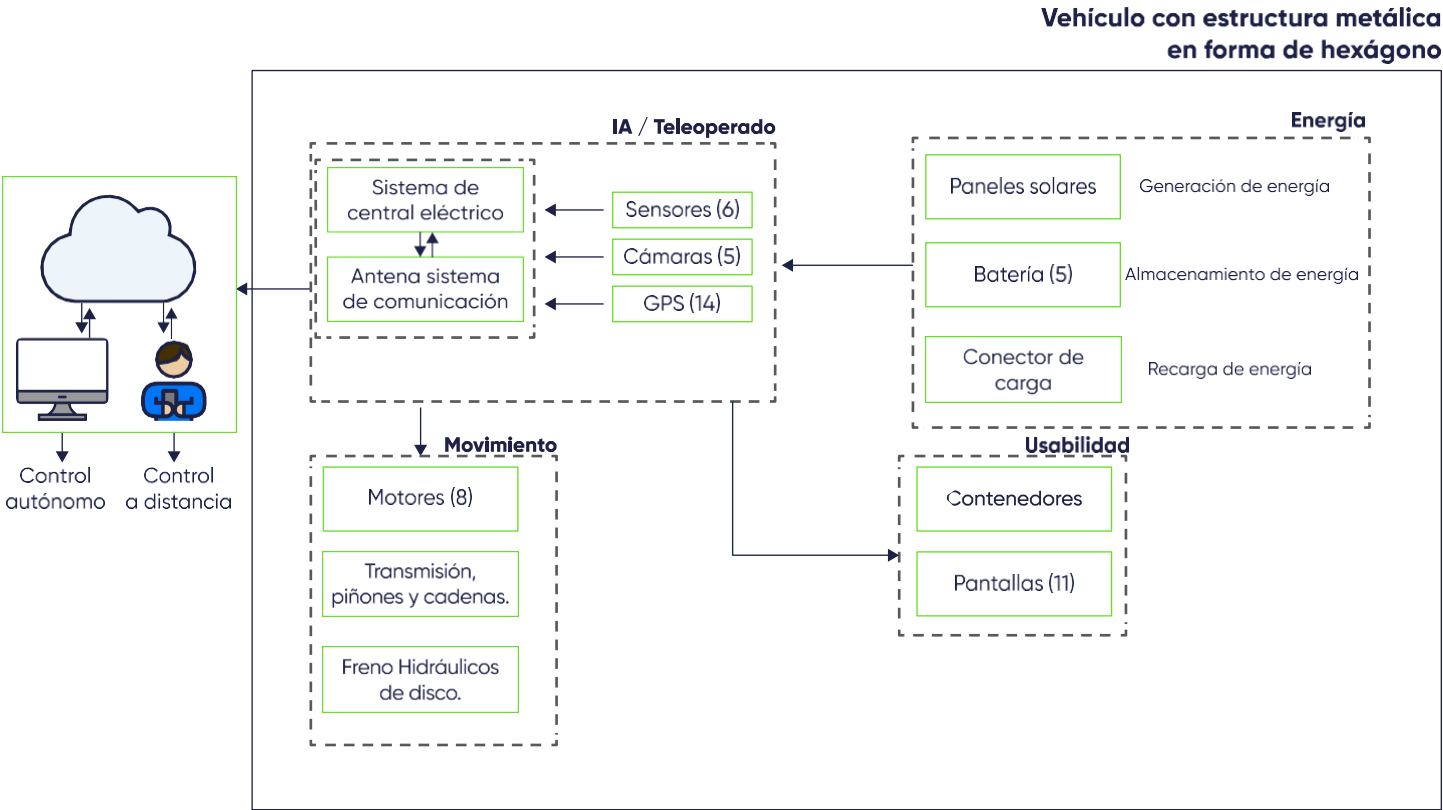


Fuente: Propia.

El vehículo se compone de cuatro grandes sistemas (ver figura 4), el de Control por IA y Teleoperado, Energía, Movimiento y Usabilidad conformado en una estructura metálica de forma hexagonal, en los sistemas se integra el sistema de visión artificial con las cámaras que con visión 360° patentado, las pantallas aprovechan 4 de los 6 lados para proyectar contenido en tiempo real y buscar un ingreso por publicidad para el costo del servicio de Emmet que se encuentra patentado.

Los contenedores a los que se tienen acceso por ambos costados laterales permiten el acceso al usuario a través de un sistema de verificación y seguridad y un mecanismo que permite su apertura y cierre patentado. Los paneles solares conforman el sistema de generación de energía donde el vehículo aprovecha su movilidad por la ciudad para capturar radiación solar y cuando se detiene lo utiliza para expandir el sistema de ambos paneles para capturar aún más radiación solar desplazando hacia los laterales patentados.

Figura 4. Sistemas del vehículo Desarrollado



Fuente: Propia.

Finalmente, un sistema de desplazamiento que permite mover el vehículo a partir de un sistema de tracción en las cuatro llantas de manera diferencial patentado que asegura la rotación en el eje central del vehículo logrando el movimiento omnidireccional patentado del vehículo.

La estructura funcional de cada subsistema que conforman cada sistema hace que el vehículo se relacione entre sí conectados al control electrónico y al sistema de comunicación que hace posible el control a distancia del vehículo transmitiendo video y control de los movimientos.

En la figura 5 se presentan las características del vehículo Emmet y en la figura 6 las especificaciones técnicas. Estas características en el vehículo hacen de este una solución completa, moderna, novedosa e innovadora que ayuda a prevenir siniestros viales, contribuir con el planeta al ser 100% eléctrico y que genera energía solar almacenando en las baterías, con posibilidad de operar 24 horas al día los 365 días del año, que con un tamaño reducido y una gran capacidad de carga y una gran autonomía lo hace bastante competitivo y con la posibilidad de transportar de manera segura documentos, paquetes, mercancías y otros elementos como alimentos.

Figura 5. Características del vehículo Emmet



Fuente: Propia.

Figura 6. se presentan las especificaciones técnicas de un vehículo Emmet.

Características Técnicas	
Características	Especificaciones
Capacidad de carga	500 Kg
Autonomía	60 Km
Velocidad Máxima	40 Km/h
Sensores	Si
Radar	Si
Cámaras	Si, Visión 360°
Sistema de rotación	Omnidireccional
Sistema de control	Autónomo a través de IA o Teleoperado por conductor
Dimensiones	1.6m x 1m x 160m (Alto x Ancho x Largo)
Baterías	Si, recargables
Peso del vehículo Emmet	130 Kg
Garantía	2 años
Soporte y asistencia	De por vida
GPS	Si, de alta precisión

Servicio de alquiler o compra
+57 313 374 63 69

@emmet_mobility

www.emmetmobility.com

contact@emmetmobility.com

Fuente: Propia.

7. Conclusiones

Emmet es un vehículo de movilidad sostenible eléctrico que puede ser controlado a distancia por un operador o de manera autónoma desde un punto de origen a un punto de destino, permitirá que la logística de última milla sea más eficiente.

A través de un algoritmo de inteligencia artificial que toma las imágenes desde las cámaras que se encuentran instaladas en el vehículo Emmet puede reconocer su entorno gracias a sensores y radar LIDAR que lleva el vehículo con lo que podrá controlar los movimientos del vehículo en cualquiera de sus direcciones, así como reconocer obstáculos, señales de tránsito, obstáculos y otros vehículos y actores viales.

Con el fin de transportar mercancías, documentos, alimentos, mascotas, productos o cualquier otro elemento de manera segura y con la posibilidad de controlar su temperatura sea para mantener refrigerado o caliente el elemento, un sistema de verificación y seguridad para mantener el elemento a transportar siempre en el casillero asignado hasta que el cliente lo retire al momento que llegue el vehículo Emmet.

Consumir energía eléctrica mientras un vehículo eléctrico se desplaza es la constante, lograr generar energía mientras el vehículo está en movimiento o detenido es vital para tener un sistema de logística con un nivel alto de autonomía y eficiencia que Emmet posee en sus dos paneles y sistema de generación control y almacenamiento de energía.

Para ayudar a mantener el sistema de Emmet se utiliza la publicidad como fuente de ingresos gracias a las cuatro pantallas que lleva el vehículo en sus cuatro de sus seis lados, publicidad en imágenes y videos de compañías, marcas y campañas.

8. Impactos a corto, mediano y largo plazo

Impactos a Corto Plazo

La logística de última milla evolucionaría con el uso del vehículo de Emmet en su operación ya que realiza las mismas tareas que actualmente cualquier otro sistema realiza, pero lo haría con mayor eficiencia en la operación y en el uso de energía, abaratando el servicio de logística y mejorando la operación.

Impactos a Mediano Plazo

A mediano plazo con más vehículos Emmet en las vías de una o varias ciudades ayudan a:

- Disminuir la contaminación ya que son vehículos 100% eléctricos que llevan paneles solares para recargar el vehículo.
- Disminuir el tiempo en entregas de domicilios y envíos.
- Disminuir la ocupación en las vías de la ciudad de Córdoba con vehículos de tamaño reducido y con capacidad de carga de 500Kg.
- Generar grandes tiempos de autonomía.
- Disminuir costos de operación en logística.
- Aumentar la modernización de la ciudad en implementación de soluciones inteligentes para logística.

Impactos a Largo Plazo

Con un sistema de logística utilizando una gran flota de vehículos Emmet las muertes por siniestros viales disminuye en gran medida ya que no se tendrán tantos vehículos en la vía y porque el comportamiento vial está controlado por el algoritmo de inteligencia artificial. La disminución considerable de CO2 y otros gases producidos por las actuales flotas de vehículos contaminantes generando un impacto positivo al medio ambiente. Emmet al ser vehículos de tamaño reducido, pero con gran capacidad de carga es capaz de aumentar la productividad de la logística de última milla.

9. Referencias bibliográficas

[1] DREW, "Eficiencia, seguridad y optimización". {En línea}. {sin fecha} disponible en: (<https://www.wear drew.co/ss4i/robots-colaborativos/vehiculos-autonomos>).

[2] UBICALO, "VEHÍCULOS AUTÓNOMOS: ¿QUÉ SON Y CUÁL ES SU PAPEL EN LA LOGÍSTICA EN EL FUTURO?". {En línea}. {sin fecha} disponible en: (<https://www.ubicalo.com.mx/blog/vehiculos-autonomos/>).

[3] FACILITACIÓN, COMERCIO Y LOGÍSTICA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, "Vehículos autónomos y energías alternativas para la logística post pandemia". {En línea}. {2021} disponible en: (https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47385/1/S2100543_es.pdf).



MOVILIDAD SOSTENIBLE



La Red Muévete Mejor y la promoción del Plan Integral de Movilidad Sostenible - PIMS

Valentina Acuña García,
Diana Lucía Riascos Solarte,
Liliana Esther Álvarez Salcedo,
Faber Herney Guavita Ocampo,
Laura Andrea Salazar Correa,
Oswaldo Camargo Becerra,
Alejandro Salamanca Mora

-Secretaría Distrital de Movilidad /
Red muévete mejor-

muevetemejor@movilidadbogota.gov.co

Resumen

El Plan Integral de Movilidad Sostenible - PIMS es un instrumento desarrollado por la Secretaría Distrital de Movilidad, que facilita a las organizaciones la implementación de actividades para promover la movilidad sostenible entre sus trabajadoras/es o estudiantes. Con el fin de promover su implementación, la Secretaría cuenta con la red empresarial Red Muévete Mejor, que desde finales de 2016 promueve la movilidad sostenible en organizaciones, a través de un acompañamiento integrado principalmente por asesoría técnica, capacitación, creación de herramientas, publicaciones, eventos de reconocimiento y actividades de sensibilización. En la actualidad la Red ha logrado aprobar 161 PIMS para 131 organizaciones, lo que significa que al menos 160.000 personas han recibido mensajes, capacitación y beneficios asociados a la promoción de la movilidad sostenible.

1. Introducción

En Bogotá, de acuerdo con la Encuesta de Movilidad 2019 (SDM, 2019), aproximadamente el 55% de los viajes que se realizan a diario, son viajes con motivo trabajo y estudio. Es necesaria una articulación entre los sectores público, privado y académico para promover una mayor conciencia sobre los impactos de la movilidad y hacer la transición hacia una movilidad más activa y sostenible.

Entre los múltiples impactos o externalidades negativas de la movilidad, se pueden encontrar:

- La emisión de Gases de Efecto Invernadero y de material particulado.



- El uso inequitativo del espacio urbano por parte de los diferentes actores viales.
- La contaminación auditiva y del aire.
- Los gastos monetarios.
- El sedentarismo.

La transformación de los hábitos de viaje por parte de las personas que trabajan o estudian, es un factor clave para la mitigación de dichos impactos, y una manera de llegar a estas personas, es a través de sus entidades, empresas y universidades. La Red Muévete Mejor surge en 2016 como una estrategia innovadora de divulgación de la Secretaría Distrital de Movilidad que abre el campo para el encuentro y el aprendizaje conjunto y colaborativo en las organizaciones.

Habiendo detectado cuáles son las principales líneas de trabajo que las organizaciones pueden promover (caminata, uso de la bicicleta o del transporte público, carro compartido, teletrabajo, flexibilización de horarios) y las estrategias para motivar el cambio (comunicación, capacitación y adecuación de infraestructura), la Red creó el Plan Integral de Movilidad Sostenible PIMS y en 2019 estableció mediante el Decreto Distrital 037 su presentación obligatoria para las entidades públicas distritales y voluntaria para empresas privadas y universidades.

El PIMS es un instrumento que facilita en las organizaciones hacer la gestión de sus acciones de promoción de la movilidad sostenible, partiendo de la realización de un diagnóstico de movilidad (mediante aplicación de una encuesta), de donde se obtiene información acerca de los impactos en términos de sedentarismo, huella de carbono, gastos de dinero, tiempo y combustible.

2. Objetivos

La Red Muévete Mejor promueve la construcción, presentación e implementación del Plan Integral de Movilidad Sostenible - PIMS en entidades públicas, empresas privadas y universidades para facilitar la adopción de hábitos de movilidad sostenible en los viajes con motivo trabajo o estudio, de tal manera que las personas:

- Reduzcan los viajes
- Usen modos de transporte no motorizados.
- Usen de manera eficiente los modos motorizados.

3. Justificación

La Secretaría Distrital de Movilidad realizó estimaciones de los impactos negativos generados por los viajes de trabajo y estudio con el regreso al hogar a partir de la información obtenida por la Encuesta de Movilidad (2019) y fuentes complementarias. Cada una de las externalidades presentadas se asocian directamente con las huellas o indicadores de resultados planteadas en la Guía Práctica “Cómo construir e implementar un Plan Integral de Movilidad Sostenible - PIMS en las organizaciones” (2018).

Tomando como referencia los factores de emisión para cada modo de transporte suministrados por la Secretaría Distrital de Ambiente, se obtiene como resultado en Bogotá, los viajes de trabajo y estudio, incluyendo los viajes de regreso al hogar, son responsables de emitir diariamente más de 6,000 toneladas de CO₂eq, lo cual se traduce a cerca de 1.5 millones de toneladas al año.

Se puede realizar un ejercicio equiparable con otros contaminantes, principalmente con el material particulado (PM, siglas en inglés) el cual es el más ampliamente asociado con enfermedades cardio-respiratorias causantes de muertes prematuras, incapacidades, ausentismo y falta de productividad laboral. Del ejercicio realizado, manteniendo los factores de actividad y únicamente variando los factores de emisión, se obtuvo que estos viajes generan diariamente 322.7 kg de PM_{2.5} y 358.6kg de PM₁₀, o lo que es lo mismo que 79,068 kg de PM_{2.5} y 87,853 kg de PM₁₀ al año.

Estos impactos ambientales y a la salud pueden mitigarse por medio de la promoción de modos de transporte más limpios, como lo son los modos activos (caminata, bicicleta, otros ciclos), así como del transporte público o la mejora de eficiencia y tecnología de los automotores particulares o evitar viajes por medio del teletrabajo, a través de la implementación y seguimiento de los PIMS.

4. Alcance

La Red Muévete Mejor promueve la construcción e implementación de los PIMS en organizaciones públicas distritales y nacionales, empresas privadas y Universidades. Si bien la invitación se envía a organizaciones con más de 200 trabajadoras/es, se presentan igualmente casos en que organizaciones con menor cantidad de personas lo presentan de manera voluntaria.

5. Metodología

La Red Muévete Mejor brinda acompañamiento a las organizaciones mediante:

- Asesoría Técnica
- Capacitación
- Reconocimiento
- Herramientas específicas
- Publicaciones
- Actividades de sensibilización

La Red proporciona dichos servicios manteniendo un contacto permanente con las organizaciones a través de canales como el correo electrónico, aplicaciones de mensajería instantánea o llamadas telefónicas. La cohesión y la actividad de las organizaciones se logra a través de la oferta de capacitaciones y actividades de sensibilización que se clasifican en dos grandes grupos: masivos y particulares. Las actividades masivas son, por ejemplo, talleres virtuales o presenciales cuya convocatoria está abierta a todas las organizaciones vinculadas a la Red (que alcanzan en la actualidad más de 510) lo que posibilita que interactúen entre sí y generen aprendizajes conjuntos. Las actividades particulares son módulos de capacitación, conferencias o sketch teatrales que se efectúan en las instalaciones de las organizaciones, posibilitando esto un contacto directo con las personas.

Otro elemento que amplía las posibilidades de capacitación son las publicaciones de la Red, Guías prácticas con alta calidad en su diagramación y accesibles a través de internet, mediante las cuales líderes y lideresas de las organizaciones pueden hacer consultas y conseguir información pertinente para la implementación de sus PIMS.

Contar con la disponibilidad de capacitaciones gratuitas es un factor que las organizaciones perciben como un beneficio, sin embargo, es necesario que perciban incentivos relacionados con visibilidad y reconocimiento. Por esta razón, la Red realiza un gran evento anual de premiación de las mejores prácticas realizadas en el marco de los PIMS. Las organizaciones reciben premios, que a su vez son complementados con incentivos que brindan empresas aliadas.

Y con el fin de hacer más sencilla y estandarizada la presentación del PIMS, la Red brinda herramientas sencillas de usar y donde la información de los planes queda almacenada de tal manera que pueda ser consultada y contrastada cada vez que se renueva el PIMS (cuya vigencia es de 2 años). La Red proporciona incluso las piezas de comunicación que pueden utilizar las organizaciones para sus actividades de divulgación. Todo ello bajo la prerrogativa de ofrecer productos atractivos, bien diseñados, prácticos y estandarizados, así como actividades pedagógicas que integren componentes lúdicos y colaborativos.

La Red creó un instrumento que permite procesar los datos obtenidos en la aplicación de la encuesta de diagnóstico, para que las empresas puedan visualizar con claridad cuál es el estado inicial en cuanto a hábitos de movilidad de sus trabajadoras/es y estudiantes, y a partir de allí tomar decisiones acerca de cuáles líneas de trabajo necesitan mayor énfasis para un período de 2 años. Pasado un año de implementación las organizaciones evalúan la gestión de actividades y a los 2 años vuelven a aplicar la encuesta de diagnóstico para verificar el cambio en medido a través de indicadores precisos y estandarizados.

Con el paso de los años se hizo evidente que la existencia de un elemento normativo no es un factor suficiente para llevar a las entidades públicas a realizar el Plan, y mucho menos, para motivar al sector privado. La estrategia de acompañamiento integral que realiza la Red Muévete Mejor es lo que ha permitido sumar voluntades y lograr que en la actualidad, se cuente con 131 organizaciones que tienen equipos de trabajo dedicados a promover la movilidad sostenible implementando diversas estrategias, y ello se traduce en más personas que día a día optan por viajar a pie, en bicicleta,

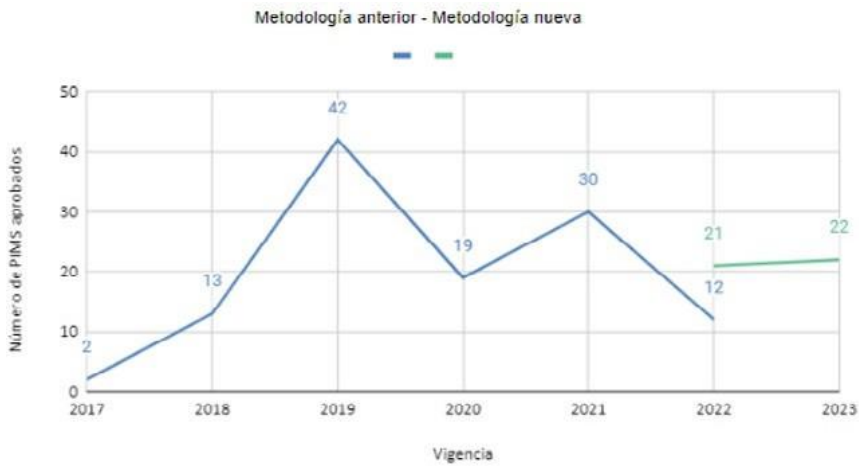
en transporte público o en carro compartido, siendo conscientes de que sus comportamientos ayudan a reducir la emisión de gases de efecto invernadero, a hacer un mejor uso del espacio y a mejorar su calidad de vida.

6. Resultados

- Más de 510 organizaciones vinculadas
- 161 PIMS aprobados de 131 organizaciones (160.000 personas que han recibido los mensajes, actividades y beneficios de la implementación del PIMS en sus organizaciones).
- 61 talleres masivos de capacitación y 841 módulos de capacitación y actividades en las organizaciones

- 7 guías publicadas
- 7 eventos anuales de reconocimiento
- 247.460 viajes en bicicleta reportados por las organizaciones en los primeros jueves de cada mes, denominados los Días de la Movilidad Sostenible. Estas son jornadas que se le propone a las organizaciones que las adopten como un día especial del mes para promover los desplazamientos a pie, en bicicleta o en transporte público.
- En la *figura 1*, se presenta el número de Planes Integrales de Movilidad Sostenible aprobados por año y en la *tabla 2* se encuentran por año y por categoría.

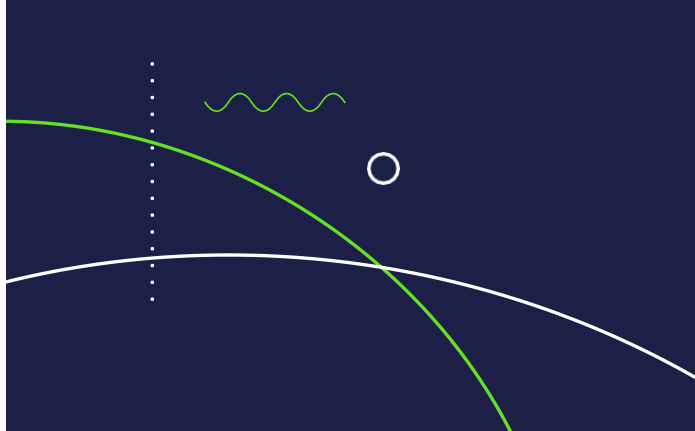
Figura 1: Aprobaciones de PIMS por cada año.



Fuente: Elaboración propia. Subdirección de Transporte Privado Secretaría Distrital de Movilidad 2023

Categoría	2017	2018	2019	2020	2021	2022 M. Anterior	2022 M. Nueva	2023	Total
Centro Comercial					1			1	2
Corporación Pública Administrativa						1			1
Empresa Privada				1	13	2	5	3	24
Entidad Pública Distrital	2	13	40	17	13	7	15	16	123
Entidad Pública Nacional					2		1		3
Órgano de Control			2	1		1			4
Universidad					1	1		2	4
Total	2	13	42	19	30	12	21	22	161

Fuente: Elaboración propia. Subdirección de Transporte Privado Secretaría Distrital de Movilidad 2023



7. Conclusiones

Al crear e implementar Planes Integrales de Movilidad Sostenible (PIMS) en organizaciones y universidades, es posible planificar, asignar recursos, experiencia humana y controlar actividades y estrategias destinadas a reducir las externalidades negativas de los viajes con motivo trabajo y estudio.

Para lograr una Red que logre motivar la transformación de los hábitos de movilidad, se requiere:

- Sensibilidad a las necesidades de las empresas
- Desarrollo de herramientas que faciliten procesos
- Trabajo articulado entre sectores
- Acompañamiento
- Reconocimientos e incentivos
- Abordaje interdisciplinario

8. Impactos a corto, mediano y largo plazo

Corto: Organizaciones y personas que adquieren información sobre las externalidades negativas de los viajes y cómo reducirlas.

Mediano: Organizaciones que adoptan políticas de sostenibilidad que incluyen la transformación de los hábitos de movilidad de sus trabajadoras/es o estudiantes, y personas que gradualmente hacen cambios en sus decisiones acerca del modo a adoptar para viajar al trabajo.

Largo: Organizaciones que aprenden a trabajar de manera colaborativa y personas que adoptan el hábito de evitar viajes o viajar de manera sostenible, mejorando su calidad de vida y contribuyendo a que la ciudad tenga una mejor movilidad.



Programa de Movilidad Sostenible de Promigas S.A. E.S.P.

Silvia Navarro Bula, Sandra Moreno Puerto, Brigitte Alarcón Pérez, Angie Santander Annicchiarico

-Promigas S.A. E.S.P.-

silvia.navarro@promigas.com,
sandra.moreno@promigas.com,
brigitte.alarcon@promigas.com,
sergenpro01e@promigas.com

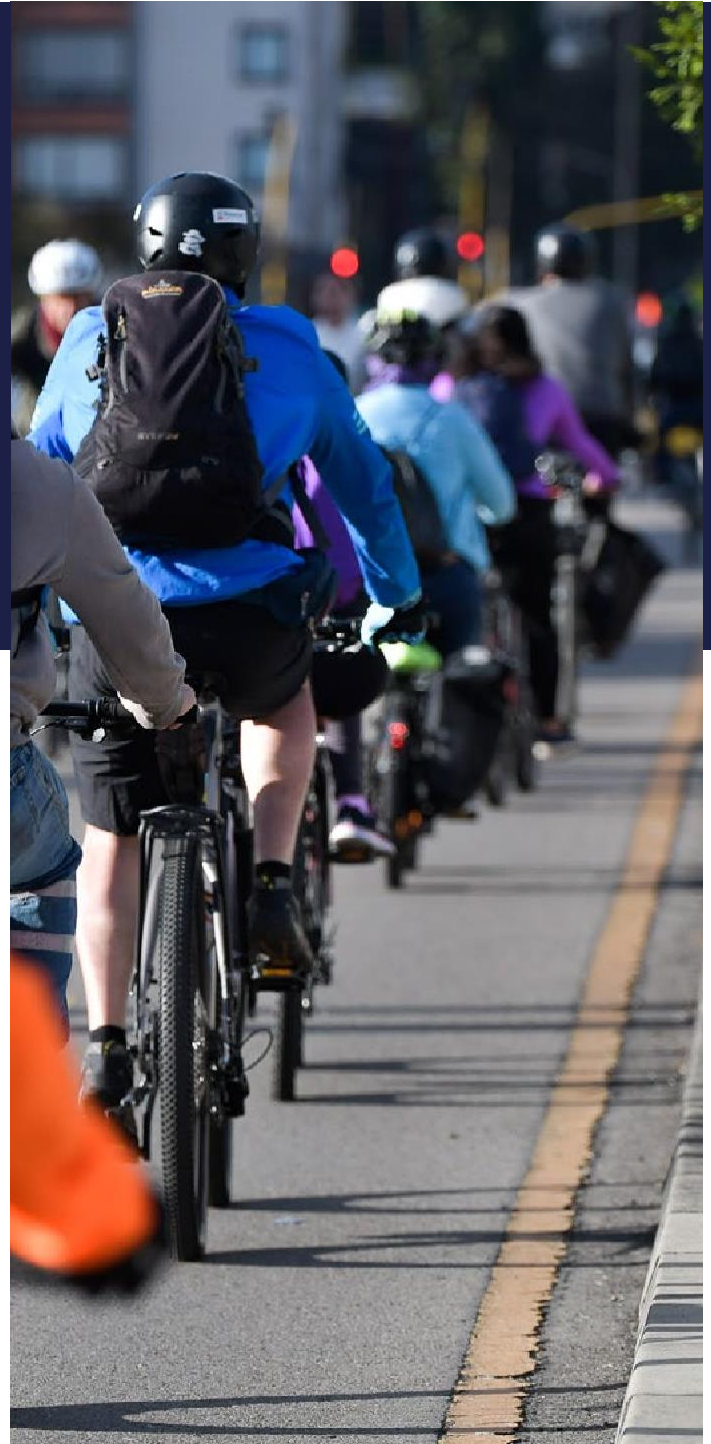
Resumen

La movilidad en el mundo está cambiando y en Promigas, hemos sido pioneros en promover una movilidad sostenible, comprometidos con el cuidado del medio ambiente, con el autocuidado y las relaciones interpersonales cuando compartimos con los demás en un ambiente de sano esparcimiento. Las caminatas, el uso de las bicicletas, las patinetas eléctricas y compartir nuestros vehículos particulares para ir a trabajar, son actividades que Promigas inculca en sus colaboradores a través del programa, que inició en el año 2013 y ha servido de referencia para Barranquilla y para otras empresas como un modelo.

1. Introducción

Debido a una crisis por falta de parqueaderos, se vio la necesidad de implementar un programa para incentivar el uso de carro compartido. Por esta razón en el año 2013, liderado por la Vicepresidencia Financiera y Administrativa, se creó el Programa “Yo comparto mi carro” en el cual se vincularon inicialmente 10 funcionarios y finalizando el año con 60. Se estableció un sistema de incentivos con premios que se rifaban entre los participantes con puntajes destacados. Promigas se vinculó a la Red PEMS (Planes Empresariales de Movilidad Sostenible), liderado por la universidad de los Andes, la Fundación Chevrolet y la ANDI, siendo la primera empresa de Barranquilla en vincularse.

A finales del año 2015 y con la ayuda de la Red PEMS, se aplicó una encuesta para conocer la percepción de los empleados hacia el programa, la motivación



para participar y los medios preferidos para trasladarse desde y hacia el sitio de trabajo, con el objetivo generar una estrategia que permitiera ampliar la participación de los funcionarios. En esta encuesta se concluyó que la cultura organizacional de Promigas estaba orientada al uso de vehículos de una sola ocupación, el 88% de los empleados estaban dispuestos a compartir su carro, pero un 28% se abstenía porque consideraba incómodo viajar con desconocidos, asimismo, se identificó que un 74% no participaba en el programa y de éstos, el 36% manifestó que desconocían quiénes vivían cerca.

En el año 2016, se hace una reformulación cambiando a “Movilidad Sostenible”, el cual está encaminado al cambio en el largo plazo de los hábitos de transporte de los colaboradores, hacia modos sostenibles. Se crearon varias iniciativas para que los funcionarios pudieran participar, tales como, caminar desde y hacia el trabajo, desplazarse en bicicleta, utilizar el transporte público compartido (taxi pooling), compartir el carro y la conversión de vehículos a GNV (Gas Natural Vehicular) que está asociado con el negocio. En esta última iniciativa, adicionalmente a los incentivos en bonos, se obsequia el kit de conversión y bonos de tanqueo para los funcionarios que conviertan su vehículo a GNV. El sistema de premiación cambió a un sistema de puntos dependiendo de la participación en el programa. Los puntos eran entregados al ingreso y salida de las instalaciones y se señalizaba un sitio donde los funcionarios que estaban participando podían reclamarlos.

Para incentivar el uso de carro compartido, así como las caminatas y rutas de bicicleta, se instaló un mapa de la ciudad de Barranquilla en un sitio estratégico del edificio para que todos los funcionarios ubicaron en unas banderillas su dirección colocando su nombre en la misma. Las banderillas eran de colores, para identificar el tipo de transporte utilizado para desplazarse. Aprovechando las herramientas utilizadas para la Información Geográfica del Gasoducto operado y mantenido por Promigas, se dio uso del aplicativo ArcGIS Online, para registrar la dirección de los funcionarios y adicionalmente permitió la comunicación entre los participantes a través de WhatsApp para poder coordinar sus viajes desde y hacia el trabajo. Adicionalmente, la aplicación permitía definir cuál era la mejor ruta para desplazarse.

En el 2017, contando con 147 participantes, se habilitaron duchas para que los funcionarios que se desplazaban a pie o en bicicleta pudieran cambiarse antes de iniciar su jornada laboral, teniendo en cuenta el clima caluroso y húmedo de la ciudad de Barranquilla. Este año se vinculan al programa 11 bicicletas convencionales para préstamo y se adecua un bicicletero para su parqueo.

En el año 2019 ya se contaba con la participación de 183 colaboradores y se obtuvo el reconocimiento por el Foro Económico Mundial (WEF). Por motivos de pandemia, se realizaron actividades virtuales y las únicas iniciativas desarrolladas fueron trasladarse en bicicleta y caminar desde y al trabajo. Es importante destacar que este año, la Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá otorgó el sello plaza de “Buenas Práctica de Seguridad Vial”.

Actualmente se cuenta con la App Try My Ride, con ella se inició la medición de reducción de huella de carbono y ha sido factor clave para optimizar el funcionamiento del Programa. La App permite medir las emisiones de CO2 evitadas por cada usuario participante, entre otros indicadores, como la cantidad de kilómetros, tiempo y dinero ahorrado en desplazamientos, la cantidad de usuarios activos y las conexiones entre usuarios; por otra parte, permite el control de puntos obtenidos para posteriormente llevar a cabo la redención de estos.

En estos momentos se cuenta con una flota de 9 bicicletas convencionales, 19 bicicletas eléctricas y 4 patinetas eléctricas, las cuales se solicitan en préstamo a través de la misma aplicación y cuentan con su respectivo plan de mantenimiento para cumplir con todas las especificaciones de seguridad.

Al finalizar cada año, se lleva a cabo una ceremonia de cierre, en la que se muestra la evolución y resultados del Programa, y se entregan reconocimientos a los participantes destacados, tales como el conductor con más conexiones, el ciclista que haya recorrido más kilómetros, el usuario con más emisiones evitadas de CO2, entre otros.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Implementar estrategias dinámicas con enfoque de largo plazo, para generar un cambio en los hábitos

de transporte de los colaboradores, hacia modos sostenibles y aportar en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, así como en la meta de descarbonización a nivel país.

2.2 Objetivos específicos

- Ofrecer diferentes alternativas de movilidad que puedan utilizar los funcionarios de Promigas, teniendo en cuenta los beneficios tanto para el medio ambiente como para la salud de las personas.
- Aportar en la solución de problemas de movilidad tales como el tráfico, la contaminación atmosférica, aumento de accidentes viales y falta de accesibilidad en vías públicas y parqueaderos.
- Promover la cultura de Movilidad Sostenible en los colaboradores y todas las partes interesadas para lograr alcanzar la meta que tiene Promigas y sus empresas filiales de reducir la huella de carbono y alcanzar la emisión CERO de CO2 para el año 2040.

3. Justificación

A través del Programa de Movilidad Sostenible, Promigas promueve el uso de medios de transporte sostenibles buscando reducir el impacto ambiental y el mejoramiento de la salud física y mental de sus funcionarios; de esta forma contribuye a la movilidad vial de la ciudad, a la reducción de emisiones de CO2 y se proyecta como una empresa líder comprometida con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Con la implementación de este programa, Promigas ha evidenciado el protagonismo de los medios de transporte sostenibles, generando la necesidad de modificar la infraestructura vial de la organización

e incrementando los espacios para parquear bicicletas y patinetas. Adicionalmente, los beneficios económicos y de salud que evidencian los funcionarios, hacen que este programa sea beneficioso para ambas partes.

4. Alcance

El alcance del Programa es la sede principal de Barranquilla y la Estación Arenosa ubicada en Soledad, Atlántico; pueden participar todos los funcionarios de las empresas del portafolio con contrato directo, temporales y estudiantes en práctica. En la sede principal de Barranquilla operan adicionalmente, 4 empresas del portafolio de inversiones de Promigas, que también participan en el programa.

Actualmente se está formulando la iniciativa para implementarse en el mediano plazo, en otras empresas del portafolio como Surtigas (Cartagena), Gases de Occidente (Cali) y Compañía Energética de Occidente (Popayán).

5. Metodología

Para participar en el programa de movilidad sostenible, los funcionarios deben descargar la Aplicación Try My Ride y registrarse con su correo electrónico corporativo. A través de la App los usuarios pueden compartir y unirse a rutas en las diferentes modalidades (carro compartido, bicicleta, patineta, caminando y taxi pooling), reservar bicicletas o patinetas y visualizar los puntos obtenidos mes a mes. El sistema de premiación consiste en ir acumulando puntos para luego ser redimidos en bonos de tiendas y restaurantes establecidos. (ver tabla No. 1) Para redimir se debe contar con mínimo 650 puntos y el máximo de redención es de 2.000 puntos.

Tabla No. 1: Puntos

Modalidad	Puntos Base	Por Conexión
Desplazarse desde/hasta el trabajo caminando	10	1
Desplazarse desde/hasta el trabajo en bicicleta	10	1
Desplazarse desde/hasta el trabajo en patineta	10	1
Desplazarse desde/hasta el trabajo en carro compartido	5	1
Desplazarse desde/hasta el trabajo en carro híbrido o eléctrico compartido	10	1
Desplazarse desde/hasta el trabajo en carro (pasajero)	5	N/A
Taxi pooling	5	1
Eventos y actividades	50	N/A
Conversión a GNV	250	N/A

Fuente. Elaboración propia - PROMIGAS

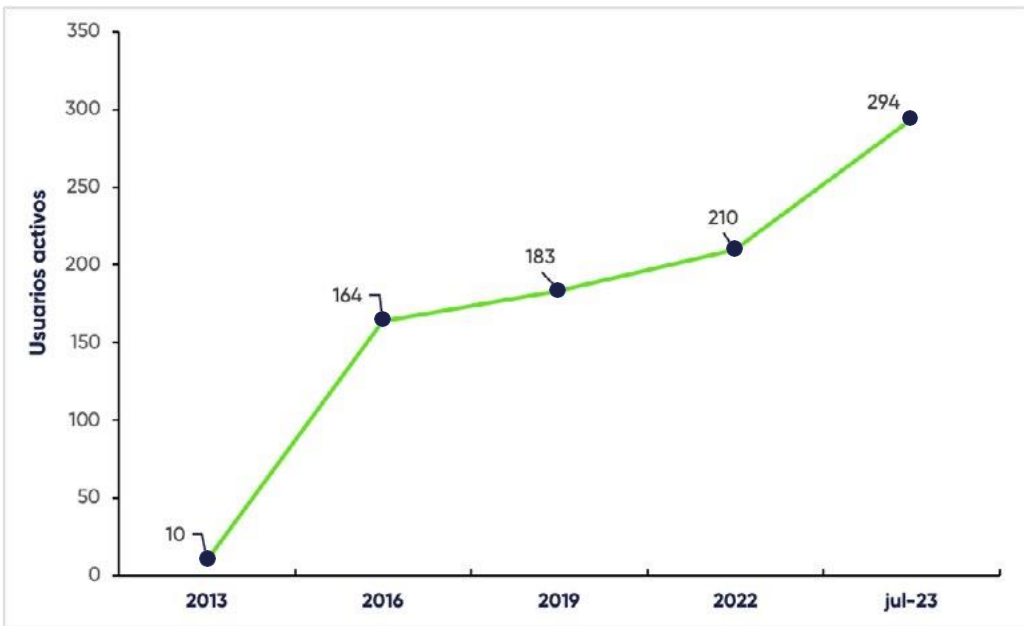
Adicionalmente, se desarrollan diferentes actividades durante el transcurso del año, tales como la celebración del día mundial de la bicicleta, el día de la movilidad sostenible, capacitaciones, concursos, conversatorios, entre otras, donde se da a conocer la importancia de la movilidad sostenible y su impacto positivo a nivel ambiental, de salud, económico y social. Participar activamente en las diferentes iniciativas y actividades desarrolladas durante el año, brinda a los usuarios el beneficio de acumular puntos adicionales.

Por otra parte, la empresa a través del Fondo de Empleados incentiva la adquisición de medios de transporte sostenible tales como vehículos híbridos o eléctricos, bicicletas convencionales y eléctricas, motos y patinetas eléctricas.

6. Resultados

En los 10 años que lleva el Programa, se puede evidenciar su crecimiento por la cantidad de usuarios activos que presenta (ver figura 1). Cada vez son más las personas que participan y asisten a las actividades programadas.

Figura 1. Usuarios activos



Fuente. Elaboración propia - PROMIGAS

A través de los indicadores que responden a los Objetivos de Desarrollo Sostenible podemos medir los resultados como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Resultados en cifras acumulado (octubre 2022 a julio 2023)



Fuente. Elaboración propia - PROMIGAS

En la categoría de movilidad activa, encontramos 61 biciusuarios/scooter y 66 caminantes, logrando recorrer en movilidad sostenible más de 57 mil kilómetros en el periodo comprendido entre octubre de 2022 a julio de 2023.

Para finalizar, contamos con una meta anual 2023 fijada en 9.000 kg. emisiones de CO2 evitadas, sobrepasando el porcentaje de cumplimiento en el mes de julio.

7. Conclusiones

Teniendo en cuenta la situación ambiental que enfrenta el planeta en donde la contaminación afecta la calidad de vida y el bienestar de las personas, implementar medios de transporte alternativos y sostenibles es la mejor opción para aportar en la construcción de un ambiente sano y amigable que permita mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

El uso de medios de transporte sostenibles como la bicicleta y la patineta, además de minimizar los efectos de emisión de CO2 y los cambios en el calentamiento global, ayudan también en la construcción de una sociedad más desarrollada y equitativa. El 57% de los funcionarios activos en el Programa de Movilidad Sostenible de Promigas son mujeres, cifra que evidencia que este género es quien más participa y, de acuerdo con la socialización que nos han compartido sobre su experiencia en el programa, se sienten más seguras al compartir la vía con otros usuarios de la misma empresa.

Actualmente Promigas y las filiales que se encuentran ubicadas en el mismo edificio, cuentan con 618 empleados aproximadamente y el 48% se encuentran inscritos en el Programa.

8. Impactos a corto, mediano y largo plazo

De acuerdo con los resultados obtenidos en el Programa de Movilidad Sostenible, observamos que a corto plazo se han presentado mejoras en la disponibilidad de parqueaderos en la sede principal, adicionalmente hemos generado un impacto positivo en el ámbito económico, social y mejoramiento de la salud física y mental de los funcionarios, al mismo tiempo que aportamos al medio ambiente, evitando emisiones que equivalen a la siembra de 390 árboles.

En el mediano plazo, seguiremos trabajando en nuestro objetivo de disminución de la huella de carbono con la vinculación de más funcionarios al Programa, disponiendo de más espacios para la actividad física dentro de las instalaciones de la empresa e incrementando nuestra flota de transporte sostenible para préstamo. Adicionalmente, Promigas evalúa la implementación del Programa en las demás empresas filiales del grupo.

Finalmente, el impacto que deseamos tener a largo plazo es desarrollar hábitos de movilidad sostenible, y como consecuencia, reducir la huella de carbono y alcanzar la emisión CERO de CO2 para el año 2040.



Espacio público saludable con enfoque en la primera infancia- rutas alternativas de movilidad

Julián Herrera Urrego, Lina Fernanda Quenguan, Sthefania Quinche Alarcón, Hernando Sáenz Acosta

-Observatorio del espacio público,
Universidad Santo Tomás-

jherrera@dadep.gov.co,
lquenguan@dadep.gov.co,
hernandosaez@usta.edu.co,
sthefanaquinche@usantotomas.edu.co

Resumen

La presente investigación realizada por el Observatorio de Espacio Público y la Universidad Santo Tomás, con la colaboración de distintos actores a nivel distritales e internacional, analiza la convergencia de tres variables sobre el espacio público de Bogotá; (i) La población objeto de estudio fundamentada en la primera infancia, (ii) el factor ambiental problemático ocasionado por la contaminación atmosférica del PM2.5 y PM10, y (iii) la vulnerabilidad que representa a la salud pública respiratoria la exposición frente a estos contaminantes.

Resultando en el entendimiento de zonas de mayor afectación en Bogotá, donde se decidió realizar mediciones de calidad del aire, conocer la opinión de madres padres y cuidadores, proponer alternativas de solución en el corto plazo bajo el propósito de bienestar social, y obtener información de calidad para la toma de decisiones acertadas en la ciudad.

1. Introducción

Debido a una crisis por falta de parqueaderos, se El espacio público, al ser el lugar de encuentro y transición que recorren las personas en el libre desarrollo de sus actividades cotidianas, genera en cada ciudadano una serie de experiencias derivadas de la exposición a condiciones atmosféricas, paisajísticas, de disponibilidad de equipamientos, accesibilidad y otras, que dependiendo de su calidad pueden manifestarse tanto positiva como negativamente sobre los habitantes que recorren la ciudad.



Con este estudio, se obtuvo información respecto a la experiencia que tienen los niños y niñas que hacen parte de la primera infancia (0 a 5 años de edad), fundamentalmente desde la perspectiva de salud respiratoria cuando recorren los espacios públicos de la ciudad, entendiendo que pueden verse expuestos a diferentes contaminantes atmosféricos.

El equipo del Observatorio de Espacio Público de Bogotá junto con la Universidad Santo Tomás, considerando estos hechos, proponen recorridos seguros que expusieron, en la menor medida posible, la salud respiratoria de la primera infancia, al tiempo que pudiesen disfrutar de los servicios en materia de espacio público que ofrece la ciudad.

2. Objetivo

2.1. Objetivo General

Generar rutas alternativas para la movilidad de la primera infancia tomando en cuenta su vulnerabilidad frente a la exposición con el contaminante atmosférico PM 2.5 y PM 10, en zonas priorizadas del espacio público de Bogotá.

2.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información proveniente de la administración distrital de la ciudad de Bogotá en materia de espacio público, contaminación atmosférica y primera infancia que dé cuenta sobre sus interacciones y posibles afectaciones a la salud.
- Identificar las rutas que realizan niños y niñas de sus hogares al jardín, por medio de la movilidad activa (a pie, en bicicleta) en la zona de la ciudad Bogotá.
- Proponer rutas alternativas a la movilidad peatonal de niños y niñas considerando mediciones móviles de calidad del aire por medio del dispositivo Airbeam.

3. Justificación

En la actualidad, la contaminación del aire, tanto doméstica como ambiental, es una de las principales causas de enfermedad entre las niñas y los niños (en donde cerca del 90 por ciento de los niños del mundo respiran aire tóxico a diario) [1]. El desarrollo de enfermedades y retrasos en el crecimiento tiene

además consecuencias sobre las tasas de asistencia escolar y el desempeño educativo, y perjudican la salud en general [2]. Esto genera un aumento de los costos en salud, un descenso de la productividad laboral y, en consecuencia, afecta a los ingresos de las familias al limitar las capacidades de desarrollo de los niños y las niñas. A largo plazo, estos efectos incurrirán en un mayor riesgo de pobreza, inequidad y muerte prematura.

La primera infancia está conformada por los niños y niñas de 0 a 5 años de edad, para el año 2018 la primera infancia representa un 5,74% de la totalidad de habitantes en Bogotá, lo cual se traduce en 412.217 niños y niñas [3]. Recordemos que las experiencias de estos primeros años marcan una huella importante para el resto de nuestras vidas, no sólo a nivel físico sino además cognoscitivo. Aproximadamente el 80% del cerebro de una persona se desarrolla en los primeros 5 años de vida, y por supuesto, es una edad en la que se es más vulnerable ante enfermedades y posibles lesiones. Esto hace necesario que niñas, niños y sus cuidadores cuenten con espacios adecuados para su protección, estimulación, comunicación, juego y atención, que garanticen su crecimiento y buen desarrollo.

Entendiendo lo anterior, el equipo investigador considera que es necesario generar estos análisis que permitan comprender la exposición de los niños a la calidad del aire del espacio público que transitan y así mismo proponer soluciones concretas y viables para mejorar la movilidad infantil en el espacio público de Bogotá, favoreciendo el buen vivir de todos los habitantes de la ciudad.

4. Marco teórico

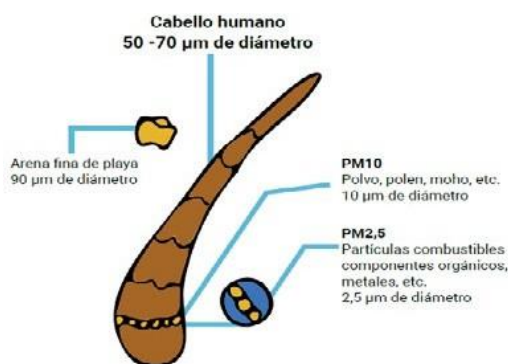
La primera infancia se constituye como una etapa de la vida humana de crecimiento anatómico acelerado, en donde el cuerpo y la mente tienden a desarrollarse rápidamente al acompañarse de una ingesta de alimentos adecuada, esto produce que los sistemas respiratorio y circulatorio de los niños y niñas vayan a un ritmo superior respecto de la juventud, adultez y demás grupos etarios. Esto quiere decir que un niño o niña en esta edad realiza hasta tres veces más respiraciones que un adulto promedio [4], en estudios realizados por Daly y Cognuck [5] nos indican por tanto, que es una población vulnerable frente a la exposición de contaminantes

atmosféricos, fundamentalmente de PM 10 y PM 2.5, los cuales son partículas suspendidas en el aire que no pueden ser observables fácilmente debido a su pequeño tamaño, pero que, al respirarse por periodos prolongados de tiempo pueden causar graves enfermedades respiratorias.

El Material Particulado: PM, por sus siglas en inglés, es la mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas que están suspendidas en el aire. El PM es un indicador representativo de la calidad del aire, ya que es el contaminante del aire con mayor capacidad de afectar a la salud humana. Por esta razón, generalmente es uno de los indicadores más usados en el mundo para medir la contaminación del aire.

Estas partículas pueden ser de diferentes tamaños, pero las más perjudiciales para el ser humano son el PM 10 y el PM 2.5, y se miden en micras de diámetro (μm) como lo señala la *figura 1*.

Figura 1. Comparación en escala del tamaño del PM10



Fuente: Informe anual RMCAB (SDA, 2021) [6]

Así mismo, la generación de rutas alternativas de movilidad como lo indica Piñeiro [7] en su estudio y Macías [8], en su trabajo de maestría, quienes abordaron cuestiones similares en el contexto de la salud infantil, nos indican que pueden existir esas mejoras en la salud infantil.

5. Metodología

Se realizó un compendio de información geográfica vinculante con los diferentes elementos en el espacio público que son usados por niños, niñas y sus cuidadores en el normal desplazamiento de sus actividades cotidianas en la ciudad, para encontrar un área representativa de estudio de la ciudad de Bogotá en donde se manifiesta de manera más significativa el problema previamente descrito. Dentro de las variables que se tomaron para la selección del área de estudio se encuentran:

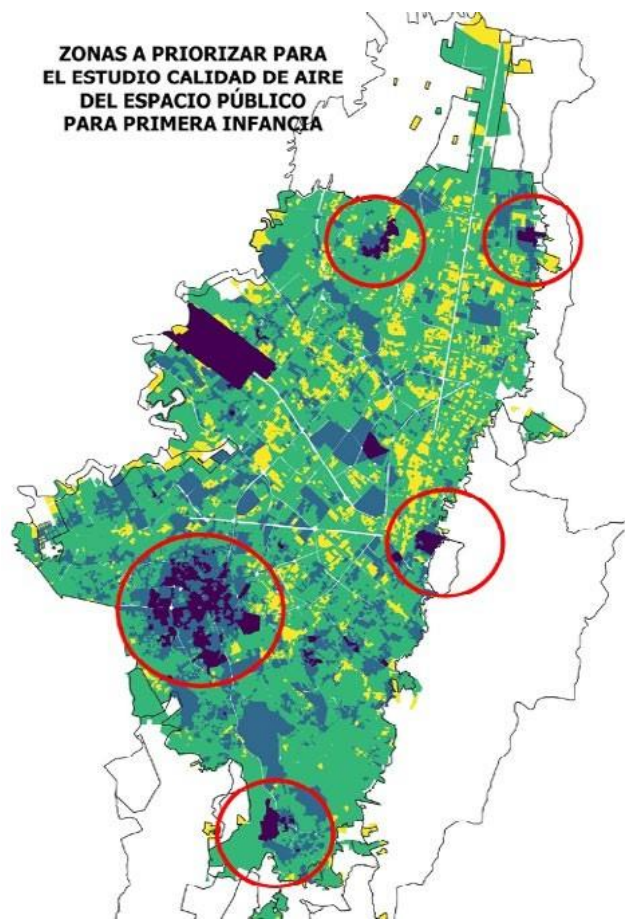
- Contaminantes Atmosféricos
 - Material Particulado PM 2.5
 - Material Particulado PM 10
- Jardines Infantiles de Secretaría de Integración Social

- Arbolado Urbano
- Equipamientos de interés
- Parques y Zonas verdes
- Manzanas de cuidado
- Malla vial

Con dichas variables se realizó un clúster de la información cartográfica, con el objetivo de visualizar las áreas en donde existe una mayor confluencia de dichas variables para seleccionar nuestra área de estudio, dando como resultado el mapa de la *figura 2*. En este mapa se observa la combinación de las variables descritas anteriormente de la siguiente forma:

- En morados las zonas en las cuales tenemos una confluencia de 4 a 7 variables
- En azul entre 2 y 4 variables
- En Verde de dos variables
- En amarillo no se tiene ninguna variable de las revisadas

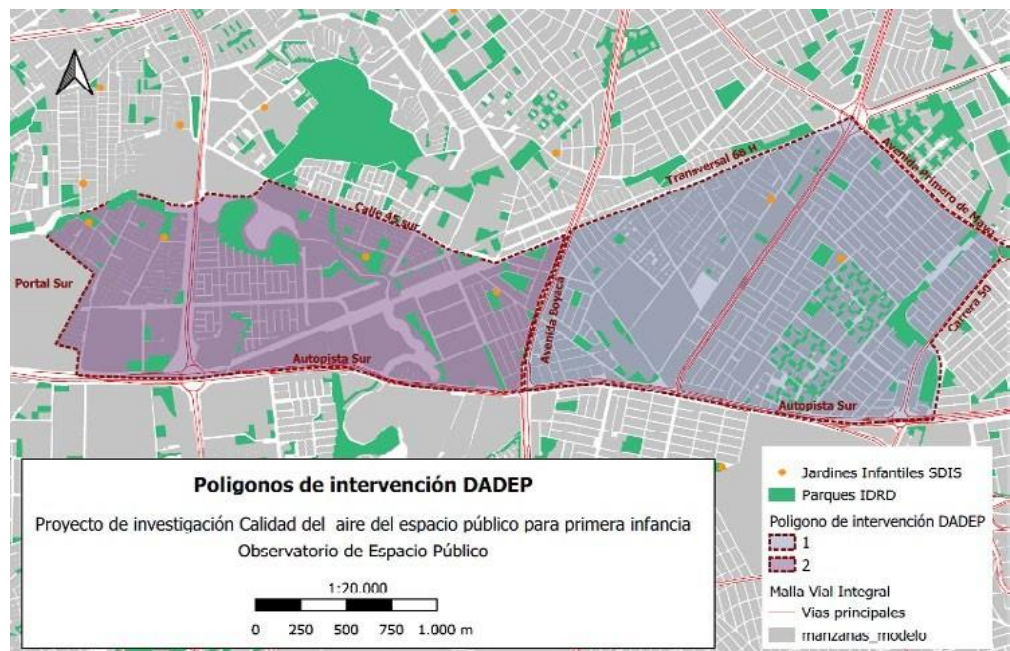
Figura 2. Zonas por priorizar para el estudio de calidad de aire del espacio público para la primera infancia



Fuente: DADEP

El polígono de intervención o área objeto de estudio que se presenta en la Figura 3 fue la escogida a partir del mapa mostrado con anterioridad, el cual abarca espacialmente el perímetro de 3 localidades (Bosa, Puente Aranda y Kennedy), y en ellas se encuentran ubicados 6 jardines infantiles distritales en los que se encuentran matriculados 834 niños y niñas. En la Tabla 1 se describen las características de estos jardines:

Figura 3. Área objeto de estudio



Fuente: DADEP

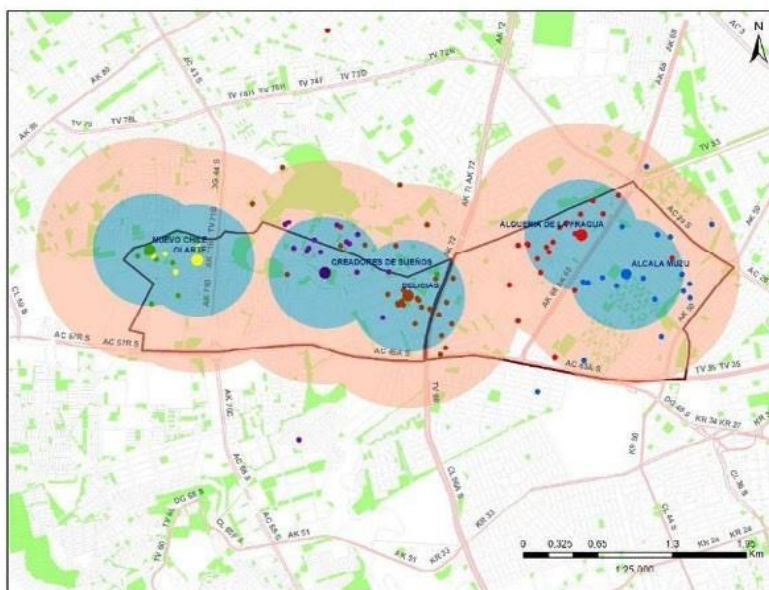
Tabla 1. Listado de jardines infantiles que se encuentran en el polígono de intervención

Nombre jardín infantil	Dirección	UPZ	Cupos habilitados
Olarte	kr 71 d 54 15 sur	Apogeo	190
Nuevo chile	Cl 56 sur 73 a 12	Apogeo	65
Creadores de sueños	kr 72 l bis 48 b 51 sur	Timiza	91
Alquería de la fragua	kr 68 a 36 25 sur	Carvajal	100
Delicias	Cl 44 sur 72 b 81	Carvajal	252
Alcalá Muzu	kr 52 37 05 sur	Muzu	136

Fuente: DADEP & SDIS

Dentro de la estrategia metodológica se aplicó un mapa de empatía (Encuesta) dirigida a las madres, padres y cuidadores con la cual se logró detectar los niños y niñas que pueden tener mayor exposición al material particulado de la ciudad durante sus desplazamientos diurnos rumbo a su jardín infantil, para esto se filtró la información especialmente a los niños y niñas que se desplazaban a pie o en bicicleta. Con esta información se realiza el mapa de los niños que sufren la mayor exposición y nos permite analizar qué tan distantes se encuentran del jardín infantil. *Figura 4.*

Figura 4. Polígono de intervención con localización de niños y niñas en la primera infancia que asisten a jardines infantiles SDIS a pie y/o bicicleta.



Fuente: DADEP

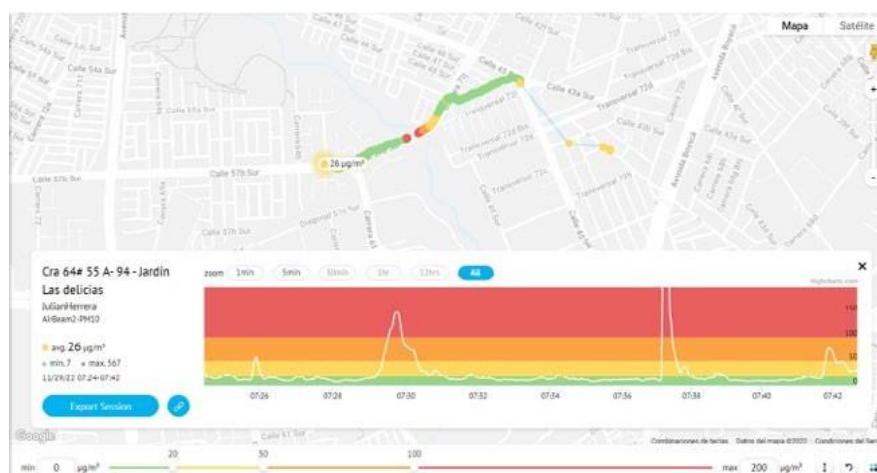
Con la identificación de los niños y sus lugares de vivienda, se identificaron las rutas de mayor relevancia y exposición negativa dentro de los alcances y variables de la investigación al interior del polígono de intervención. *Figura 5,* Seguido a esto, se procedió a utilizar el dispositivo de medición de calidad del aire “Air-Beam2” proporcionado por la Fundación Bernard Van Leer, este dispositivo es una tecnología que permite medir las concentraciones de material particulado a través de un punto fijo o móvil a través de sensores de calidad de aire, lo que determina el nivel de exposición de la población en el área de estudio que se desea analizar. El resultado de una de las mediciones puede observarse en la *Figura 6.*

Figura 5. Rutas con dispositivo AirBeam2 en polígono de intervención de interés en Bogotá.



Fuente: DADEP

Figura 6. Aircasting recorrido Cra 64 #55a- 94 rumbo a jardín Las Delicias a las 7:42 a.m.



Fuente: AirCasting. <http://aircasting.habitatmap.org>

Figura 7. Dispositivo AirBeam2



Fuente: DADEP

Este tipo de mediciones se realizaron para cada uno de los 6 jardines infantiles, durante la jornada de la mañana tomando como punto de partida los hogares de los niños y niñas encuestados y realizando el recorrido hasta el jardín. Se realiza la medición en la jornada comprendida entre las 7:00 am y las 9:00 am considerando dos factores, el primero está relacionado con la hora de ingreso permitida para los niños y niñas a las aulas de clase de los jardines infantiles, y la segunda está dada por la variación horaria de las concentraciones de PM10 y PM2.5.

Con esta información recopilada se realizó un análisis de las rutas expuestas y se plantearon rutas alternativas de desplazamiento desde los hogares con destino al jardín. Si bien se reconoce la importancia de factores como la distancia y tiempo de desplazamiento se proponen estas rutas alternativas dando mayor importancia a variables de menos concentración de PM y mayor oferta de espacio público, principalmente espacio público con coberturas verdes.

Para la elaboración de las rutas alternativas se elaboró un modelo que tuvo en consideración variables asociadas a los siguientes aspectos: cobertura verde (zonas verdes, parques, arbolado, distancia respecto de la Estructura Ecológica Principal); proximidad a las vías (arterial, principal, intermedia y local); elementos presentes en el espacio público (andenes, ciclorrutas, plazas y plazoletas) y contaminación atmosférica.

Se establecieron criterios para la aplicación de un puntaje de los diferentes espacios localizados en la zona de estudio y se procedió a la realización de un ejercicio cartográfico en donde se especializaron los puntajes asignados como se evidencia en la Imagen 8. De esta forma se identificaron aquellas zonas con las mejores condiciones ambientales y se procedió a ubicar en el mapa la ubicación del lugar de residencia de los cuidadores y los jardines infantiles.

Figura 8. Trazado de rutas a partir de la aplicación de metodología de puntajes



Fuente: DADEP

El ejercicio fue realizado inicialmente por los integrantes del proyecto y fruto de la elaboración de estos mapas se procedió a la verificación de los trayectos identificados como los que tenían mejores condiciones ambientales utilizando nuevamente las mediciones de calidad del aire con el dispositivo AirBeam2.

Otra aplicación utilizada de forma complementaria fue Relieve, mediante la cual se grabaron los recorridos y se incluyó un material fotográfico que permite evaluar la presencia de externalidades negativas (por ejemplo, presencia de basureros, deficiencias en la calidad del espacio público, pasos peligrosos, etc.) como positivas (presencia de las zonas verdes).

6. Resultados

Es importante destacar de este estudio que existen efectivamente situaciones en donde los padres, madres y cuidadores, así como los niños y niñas se enfrentan a situaciones de riesgo por cuenta de la contaminación atmosférica. Como se puede apreciar en las mediciones, existen tramos en los recorridos actualmente realizados por esta población en donde tiene lugar una alta concentración de contaminante de PM en un lugar donde se interceptan dos avenidas principales de alto flujo vehicular. Dichos valores superan los límites permisibles establecidos en la Resolución 2254 de 2017 [9].

En cuanto a las rutas alternativas se verifica a través de la elaboración y aplicación de la metodología de puntajes y la verificación en campo de las mediciones de la existencia de opciones que sí podrían mejorar las condiciones de las cuidadoras y la primera infancia. No obstante, al realizar los recorridos se observa la presencia de externalidades positivas y negativas que no estaban identificadas previamente en el modelo. Las rutas alternativas pueden presentar tramos en donde las condiciones son adversas, pero en otros tramos son favorables.

7. Conclusiones

1. Los desplazamientos de los niños y niñas en este estudio que realizan su movilidad a pie con destino a su respectivo jardín infantil en periodos de tiempo superiores a 10 minutos, han demostrado presentar una mayor exposición a material particulado según los monitoreos de calidad del aire realizados, para evitarlo se debe optar por elegir rutas alternativas que contemplen espacios públicos abiertos, equipados con coberturas verdes y que eviten vías principales de alto flujo vehicular.
2. La comunidad y las entidades de orden distrital vinculadas con el proyecto de investigación han encontrado al DADEP, como un aliado estratégico que busca visibilizar las dinámicas que suceden en el espacio público en materia medio ambiental, junto con las condiciones de su uso que, realizadas por la primera infancia, por tanto, esto permite tejer una red de apoyo de carácter técnico que sirve para la toma de decisiones informada sobre la ciudad de Bogotá.
3. La participación de la Universidad Santo Tomás en esta investigación ha permitido el desarrollo de un modelo, que logra identificar y promover la movilidad del cuidado sostenible en Bogotá. Reconociendo así la importancia de la movilidad activa mediante los desplazamientos a pie bajo instancias de salubridad para poblaciones vulnerables a factores atmosféricos.

8. Impactos a corto, mediano y largo plazo

En el corto plazo se ha logrado sensibilizar a los actores relacionados con el entorno escolar (docentes, padres, madres y cuidadores) sobre la importancia

del elemento ambiental en los barrios y recorridos en donde viven y estudian los niños y niñas que asisten a los Jardines Infantiles.

A mediano plazo, se hace importante el cambio en el sistema de valores que influye en el diseño y aplicación de las estrategias de movilidad que son ejecutadas por las personas cuidadoras. Este es uno de los mayores desafíos puesto que se trata de priorizar los aspectos ambientales sobre otros como son el tiempo y el factor económico.

Avanzar en este estudio de caso permitirá en el largo plazo replicar este tipo de iniciativas en otras partes de la ciudad. No obstante, se requerirá de herramientas que permitan hacer el seguimiento y monitoreo para evaluar las dificultades y oportunidades en este tipo de proyectos.

9. Referencias bibliográficas

- [1] Organización Mundial de la Salud. Comunicado de prensa. Más del 90% de los niños del mundo respiran aire tóxico a diario. 2018. Obtenido de: <https://www.who.int/es/news/item/29-10-2018-more-than-90-of-the-world%E2%80%99s-children-breathe-toxic-air-every-day>
- [2] UNICEF. Limpiar el aire para los niños. Resumen ejecutivo. 2016. Obtenido de: https://www.unicef.org/sites/default/files/2019-02/Clear_the_Air_for_Children_Executive_summary_SP.pdf
- [3] Departamento Administrativo Nacional de Estadística- DANE “Censo nacional de proyección y vivienda 2018”. 2018. [En línea] Obtenido de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion> . Agosto 2023.
- [4] Leyton Lazo, W. A., & López Andrade, C. I. Manual de signos vitales en la población infantil. Primera edición. Osorno: Editorial Universidad de Los Lagos. 2020.
- [5] Daly, A., & Cognuck, S. Calidad del aire: ¡Es el momento de actuar! Panamá, República de Panamá: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). 2021. Obtenido de: <https://www.unicef.org/lac/media/27856/file/Calidad-del-aire-es-el-momento-de-actuar.pdf>



[6] Secretaría Distrital de Ambiente. “Informe anual de la Red monitoreo de calidad del aire de Bogotá- RMCAB 2021” [En línea] Disponible: <http://rmcab.ambientebogota.gov.co/home/text/1512>. Julio 2022.

[7] Silva Piñeiro, R. Los proyectos de caminata rumbo a la escuela para el conocimiento del entorno y favorecer actitudes y hábitos saludables desde educación infantil. Universidad de Vigo, España. Recibido el 28-05-2017; primera evaluación el 18-06-2018; segunda evaluación el 12-07-2018; aceptado el 14-07-2018. (2018). Obtenido de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/educ/v27n53/a10v27n53.pdf>

[8] Macías, J. Aire: Rutas con menos contaminantes en Valencia. E. Martín Lineeros (Consultor/a) y C. Garrigues Olivella (PRA), Máster Universitario en Desarrollo de Aplicaciones Móviles. Universidad Oberta de Cataluña. (2020). Obtenido de: <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/106546/10/jormagarTFM-0120memoria.pdf>

[9] Ministerio de Medio Ambiente. Resolución número 2254 de 2017. Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones. 2017.

Casos de éxito de economía circular en el empleo de RCD para mejorar la movilidad de Bogotá

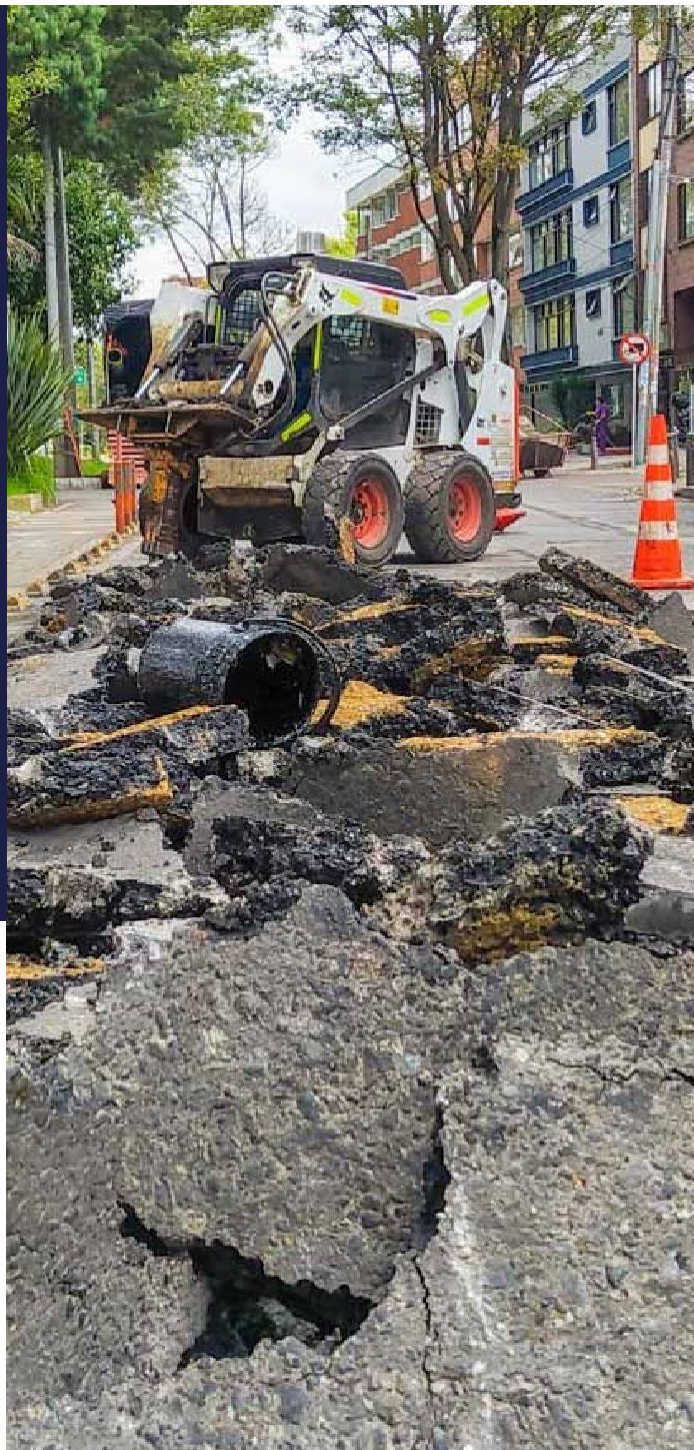
Álvaro Sandoval Reyes, Camilo Marrugo Martínez,
Humberto Ramírez Gómez Alejandro Pinzón Enciso,
Franceth Castellanos Ballesteros,
Jorge Ascencio Castañeda

-Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación
y Mantenimiento Vial (UAERMV)-

alvaro.sandoval@umv.gov.co,
camilo.marrugo@umv.gov.co,
humberto.ramirez@umv.gov.co,
alejandro.pinzon@umv.gov.co,
franceth.castellanos@umv.gov.co,
Jorge.ascencio@umv.gov.co

Resumen

La conservación de la red vial de la ciudad de Bogotá conduce a la producción de mezclas asfálticas en caliente y a la acumulación de residuos de construcción y demolición (RCD). Considerando las limitaciones económicas y problemas ambientales que esto supone, la (UMV) encuentra en los RCD una oportunidad de economía circular dándoles un segundo uso al involucrarse en intervenciones de la red local y rural reduciendo el impacto ambiental por explotación de materiales pétreos y mejorando las condiciones de salud y movilidad de los ciudadanos. Diferentes tramos han sido construidos con este tipo de materiales y son sometidos a ensayos de desempeño como susceptibilidad al daño por humedad, péndulo británico y macrotextura superficial. Los resultados obtenidos demuestran que la utilización de este material en el mantenimiento y la conservación de la red vial es viable técnicamente a la vez que disminuye la emisión de gases contaminantes y costos de intervención.



1. Introducción

Según el último informe de competitividad publicado por el Instituto Internacional para la Gerencia del Desarrollo (IMD por sus siglas en inglés), Colombia ocupa el puesto 56 en infraestructura entre 63 países evaluados, sin embargo, en infraestructura básica (Vías carreteras, vías Férreas, Aeropuertos, infraestructura energética, entre otras) se sitúa en el puesto 40 por encima del resto de países Sudamericanos, no obstante, sigue estando por debajo de la media internacional [1]. En este sentido, se evidencia la necesidad de seguir avanzando hacia el mejoramiento

de la infraestructura del país, para lo cual desde el año 2016 se presenta el Plan Maestro de Transporte Intermodal 2016-2035 (PMTI) el cual es la apuesta del país para su desarrollo y crecimiento a través de la infraestructura [2]. Dentro de esta problemática se debe tener presente que Colombia como la ciudad de Bogotá tienen recursos finitos para la atención de su infraestructura vial, por lo cual surge la necesidad de priorizar las intervenciones, lo que constituye un problema para las vías rurales, toda vez que estas cuentan con menos recursos que otras vías impidiendo alcanzar la cobertura deseada limitando el adecuado desarrollo económico de esta zona.

De otra parte, en las últimas décadas ha tomado fuerza el enfoque de sostenibilidad, a tal punto que la Organización de las Naciones Unidas ha generado unos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), dentro de los cuales se encuentra la reutilización y optimización de los recursos naturales asociados a la economía circular que a su vez se enmarca en el ODS 12 de producción y consumo responsable; la modernización de la industria con tecnologías y procesos industriales limpios y ambientales racionales, fomentando la innovación y el aumento de la aplicación del I+D que promueva soluciones medioambientales ODS 9. Industria, Innovación e Infraestructura; uso adecuado de residuos reciclados, sistemas de agua en el ODS 11. Ciudades y Comunidades Sostenibles [3], [4]. Colombia no ha sido ajeno de estos objetivos, por lo cual ha identificado algunos de los puntos críticos, reconociendo que uno de los principales motores de deforestación es la construcción de vías terciarias que representan el 70% de la red vial nacional, sin embargo, esta infraestructura cumple una función vital para la economía rural [5]. En línea con esto y en busca de la conservación del medio ambiente se han generado los Lineamientos de Infraestructura Verde Vial (LIVV) para Colombia el cual indica que los proyectos adelantados en materia de infraestructura vial deben cumplir con las medidas de manejo para evitar, prevenir, mitigar, corregir y/o compensar la totalidad de los impactos ambientales que potencialmente se puedan generar [6].

Finalmente, abarcando el enfoque económico y ambiental en que se encuentra Colombia y por ende la ciudad de Bogotá, entidades nacionales y distritales han enfocado esfuerzos en dar soluciones efectivas para atender la mayor parte de la red vial sin comprometer el medio ambiente y teniendo en cuenta

que los recursos para este fin son limitados. De esta forma, se genera un reto importante en materia de ruralidad para la ciudad de Bogotá, por lo que la Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial (UAERMV) en línea con el ciclo de vida ideal de los pavimentos presentado por la Federal Highway Administration (FHA) [7] ha optado por realizar algunas intervenciones con tecnologías innovadoras como la elaboración de mezclas asfálticas en frío con inclusión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en altas tasas que permiten reducir costos a la vez aprovecha pasivos ambientales.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar mediante ensayos de desempeño y funcionales las mezclas asfálticas en frío fabricadas con algunos RCD como el Material Bituminoso Reciclado (MBR) para ser utilizadas en trabajos de mantenimiento y conservación de la red vial.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar las limitaciones y ventajas que suponen la utilización MBR dentro de las estructuras de pavimentos para la selección objetiva de los tramos a intervenir.
- Construir estructuras de pavimento llevando a cabo los diseños de mezcla, y planes de intervención para la correcta instalación de mezclas asfálticas en frío con Materiales Bituminosos Reciclados en altas tasas.
- Evaluar las mezclas asfálticas fabricadas con MBR en altas tasas mediante ensayos de desempeño.

3. Justificación

De acuerdo con la necesidad de atender la infraestructura vial para mejorar la competitividad del país y el distrito, unido con los problemas medioambientales y costos elevados que supone la construcción y mantenimiento de pavimentos de forma tradicional, se pretende dar un enfoque de economía circular reduciendo costos y optimizando recursos con lo cual se pueden realizar intervenciones más efectivas y con mayor cobertura. En este sentido, la UAERMV presenta su visión de incorporar mezclas asfálticas

con inclusión de 100% MBR como alternativa para atender vías locales y rurales con bajos volúmenes de tránsito, generando una solución de movilidad para estos sectores a la vez que se optimizan recursos económicos y naturales.

4. Marco Teórico

Para la fase de reincorporación del MBR o Recycling Asphalt Pavement (RAP) se han generado diferentes enfoques como su utilización dentro de mezclas en caliente y tibias (a las cuales se les atribuye la mayor tasa de reutilización del MBR en los Estados Unidos) [8], sin embargo, estas aproximaciones generalmente limitan el uso de RAP entre 15% y 25% [9], alcanzando en ocasiones específicas porcentajes superiores al 50% [10].

Además de las mezclas asfálticas en calientes y tibias, existe otra alternativa enfocada en la utilización de emulsión asfáltica para generar mezclas frías donde es viable utilizar el MBR en mayores proporciones, alcanzando tasas de reutilización cercanas al 100%. Estas mezclas en frío han sido estudiadas en laboratorio por diferentes investigadores, encontrando que la cantidad de MBR es directamente proporcional al módulo resiliente e inversamente proporcional a la resistencia a la fatiga [11], la inclusión de cemento hidráulico a la mezcla con MBR permite aumentar la resistencia al producir hidratos de cemento [12]. En este sentido la UAERMV adelantó una investigación MBR donde se llegó a la conclusión que la resistencia de susceptibilidad

al daño por humedad, la resistencia a la deformación plástica, resistencia al deslizamiento y macro textura de las mezclas con MBR son inferiores a una mezcla convencional, no obstante, estas mezclas son viables para ser utilizadas en vías con bajos volúmenes de tránsito [13].

Otras investigaciones llevadas a cabo para evaluar las características en campo de las mezclas asfálticas con altas tasas de MBR fabricadas en frío, han presentado nuevas variables a tener en cuenta como que las mezclas asfálticas con inclusión de MBR son más “compactables”, por lo cual, su índice de compactación es superior que el de una mezcla convencional [14], el tiempo que transcurre entre la fabricación de la mezcla y la compactación puede llegar a alterar las características de la mezcla [12], se debe permitir que la mezcla tenga un tiempo de curado adecuado para prevenir los desprendimientos de asfalto producto del tráfico [15], mínimo 7 días de curado [12] sin apertura al tráfico [14] con humedades de curado de 1.5% aproximadamente y la necesidad de cubrir la capa de mezcla con MBR con una carpeta delgada para protegerla de la abrasión y garantizar una textura adecuada [15], [16].

5. Metodología

Los métodos empleados para la ejecución del proyecto se encuentran enfocados en dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados, de esta forma, se sigue el flujograma presentado a continuación en la *figura 1*.

Figura 8. Trazado de rutas a partir de la aplicación de metodología de puntajes



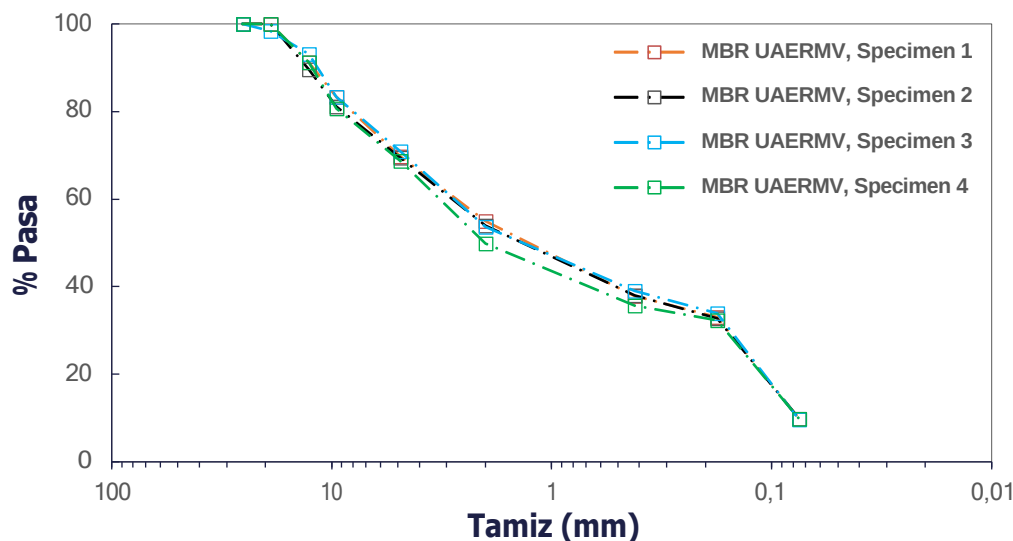
Fuente: Elaboración Propia

1. Caracterización: El proyecto se construye bajo la premisa de utilizar los materiales bituminosos reciclados disponibles para intervenir los distintos corredores viales a cargo de la UAERMV, para lo cual, se realizan las primeras aproximaciones llevando a cabo una revisión bibliográfica que permita entender la naturaleza del material y las formas en que este puede ser utilizado dentro de las estructuras de pavimento comprendiendo las diferencias funcionales y de desempeño que tienen este tipo de mezclas frente a las mezclas convencionales. De este modo, se logra identificar que una de las formas de utilizar el MBR en altas tasas es mediante la elaboración de mezclas en frío, por lo cual, se acoge esta tecnología para el desarrollo del proyecto.

Para elaborar las mezclas asfálticas objeto de estudio, se requiere MBR y emulsión asfáltica de rompimiento

lento (CRL-1), así las cosas, se realiza la caracterización de estos dos materiales comenzando con el MBR disponible en la UAERMV, para lo cual se toman cuatro muestras representativas, obteniendo contenidos promedio de asfalto de 7.3% y humedades de 9%. Adicionalmente, de la caracterización física se obtiene la distribución granulométrica de partículas (*Figura 2*), evidenciando granulometrías predominantes gruesas y bajos contenidos de llenante. Así mismo, en la *Figura 2* se observa que las curvas granulométricas son similares entre sí, aunque no correspondan a curvas estandarizadas por especificación. Del mismo modo que para el MBR, la emulsión asfáltica de rompimiento lento (CRL-1) es caracterizada, encontrando valores de penetración de 250 10/mm, ductilidades a 25°C de 124cm, asfalto residual de 59.5%, pH de 2.34 y carga de partículas positiva.

Figura 2 Granulometría MBR



Fuente: Elaboración Propia

Hecho lo anterior, se procede a realizar el diseño de mezcla basado en ensayos de resistencia a la tracción indirecta, del cual es posible determinar la configuración óptima de la mezcla asfáltica en frío que incluye 100% Material Bituminoso Reciclado, 1.5% de cemento Portland de uso general y 3% de emulsión asfáltica de rotura lenta.

2. Construcción de Tramos con MBR: La ejecución de los tramos con mezclas asfálticas en frío con 100% MBR cuenta con dos momentos importantes; los cuales se pueden dividir en: labores previas y labores inherentes a la mezcla asfáltica como se muestra en la *Figura 3*.

Las labores previas comprenden actividades como estudios de tránsito, evaluación geotécnica, Plan de Manejo de Tránsito (PMT), diseño de la estructura de pavimento, levantamiento topográfico, inspección de la capacidad portante de la subrasante y determinación de niveles freáticos.

Por su parte, las labores inherentes a la mezcla asfáltica comienzan en la planta de producción de la UAERMV, donde se fabrica la mezcla de MBR en frío (siguiendo la fórmula de trabajo previamente definida), la cual posteriormente es transportada hasta el frente de obra donde es instalada inmediatamente o almacenada

por no más de 2 días ya que pasado este tiempo el material pierde sus características. Una vez se tiene disponibilidad para compactar la mezcla, esta es extendida con ayuda de una motoniveladora y compactada con un vibro compactador de 8 toneladas en capas de 15cm (capas inferiores a 15 cm son susceptibles a fracturarse por las cargas propias de la obra) teniendo en cuenta que el coeficiente de expansión de las mezclas asfálticas con MBR es aproximadamente 35%, lo cual contrasta con el coeficiente de expansión de 25% asociado a una mezcla asfáltica convencional.

Una vez finalizada la compactación de la mezcla, se deja curar el material por 3 días antes de dar apertura al tránsito, durante este periodo es probable la aparición de fisuras, para lo cual, se realiza un sello de fisuras con un tratamiento superficial simple a base de material de MBR pasa tamiz No. 200 mezclado con emulsión de rompimiento rápido.

Figura 3. Proceso Constructivo



a). Fabricación



b). Extendido



c). Compactación



d). Curado



e). Sello de Fisuras

Fuente: Elaboración Propia

3. Evaluación: Una vez construido el tramo se plantean seguimientos periódicos y elaboración de ensayos como susceptibilidad al daño por humedad, coeficiente de resistencia al deslizamiento utilizando péndulo británico y medida de macrotextura superficial empleando la técnica volumétrica, con los cuales es posible verificar las características de desempeño de la mezcla instalada además de permitir identificar sus patologías asociadas.

6. Resultados

Desde 2017 hasta el primer periodo de 2022 la UAERMV ha recuperado 364.918 m³ de MBR, impidiendo que estos sean trasladados a lugares de disposición final que favorecen el aumento del

pasivo ambiental de la ciudad, no obstante, esto por sí solo no constituye una ventaja ambiental o económica, por lo cual, la entidad ha demostrado su compromiso con la sostenibilidad y la economía circular, generando un valor agregado a partir de la utilización de estos materiales para la fabricación de mezclas asfálticas en frío con 100% MBR las cuales se incorporan en intervenciones propias y convenidos con fondos de desarrollo local, logrando reutilizar 333.543m³ equivalente al 91% del material de MBR disponible como se evidencia en la *Tabla 1*. Dentro de estas intervenciones se destacan los proyectos llevados a cabo en la vía rural Las vegas-Chorrera en la localidad de Sumapaz de 2.8 km de longitud y 6 m de ancho, la vía Pesquilla con 5 km de longitud y 5 m de ancho y la Requilina con 5.5 km de longitud y 5 m de ancho.

Tabla 1. Material MBR recuperado y Reutilizado

Material MBR UAERMV			
Año	Material Recuperado	Material Reutilizado	
		UAERMV	Convenios
	(m³)	(m³)	(m³)
2017	25.494	27.299	
2018	75.768	25.407	
2019	74.045	21.146	108.621
2020	64.672	14.922	42.353
2021	68.066	32.517	32.998
2022-I	56.873	18.945	9.335
Total	364.918	140.236	193.307

Fuente: Elaboración Propia

Este enfoque de la UAERMV genera un bienestar ambiental, ya que no solo se están reutilizando residuos de construcción, sino que a su vez se utilizan tecnologías verdes como las mezclas en frío que disminuyen los gases de efecto invernadero. Desde el punto de vista económico, el MBR al ser un material de segundo uso es menos costoso que los materiales vírgenes, de esta manera, una intervención con mezclas asfálticas con 100% MBR supone una ventaja importante ahorrando recursos que pueden ser redirigidos a ampliar la cobertura de las intervenciones.

De otra parte, es importante entender que las intervenciones aquí descritas son principalmente enfocadas en vías de bajos volúmenes de tránsito debido a las características propias del MBR, no obstante, por razones ajenas a la entidad, algunas de estos proyectos han servido como vías alternas para el transporte de carga, haciendo que soporten esfuerzos no contemplados en su diseño, sin embargo, esto no ha supuesto un problema ya que las vías alcanzan desempeños adecuados incluso en estas condiciones.

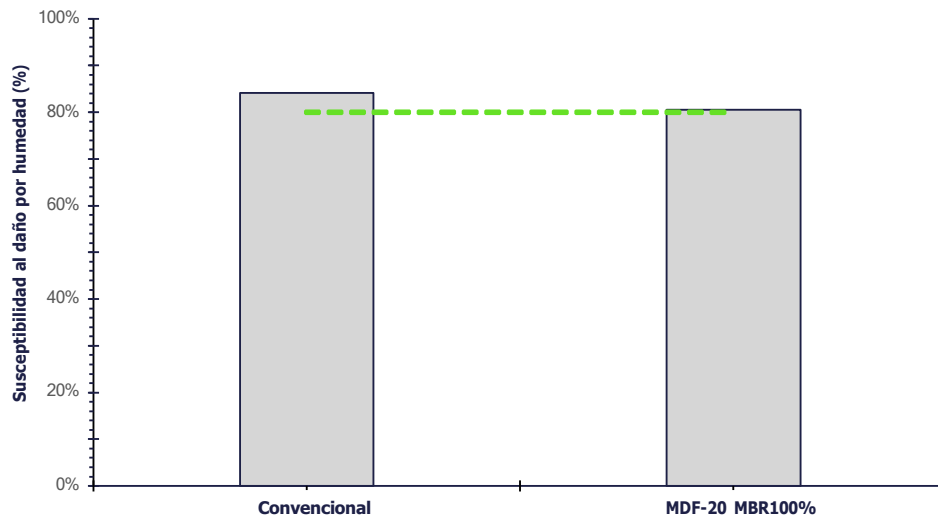
Referente a la evaluación de los tramos construidos, se presentan los resultados de los ensayos de susceptibilidad al daño por humedad, coeficiente de resistencia al deslizamiento utilizando péndulo británico y medida de macrotextura superficial empleando la técnica volumétrica, los cuales se-

rán contrastados con muestras patrón de mezcla asfáltica convencional y especificaciones nacionales para alcanzar un mayor entendimiento del resultado.

Susceptibilidad al daño por humedad

La susceptibilidad al daño por humedad es un parámetro que permite identificar el grado de afectación en términos de resistencia que sufre una mezcla asfáltica cuando está en contacto prolongado con el agua, en este sentido para zonas como Bogotá este factor cobra relevancia dadas las constantes precipitaciones en la ciudad y los altos niveles freáticos presentes en la sabana. De este modo, las especificaciones tanto IDU como INVIAS establecen como requisito que la relación entre las resistencias húmeda y seca debe ser por lo menos del 80%. La *Figura 4* muestra los resultados obtenidos del ensayo y el límite de cumplimiento (línea discontinua) evidenciando que tanto la mezcla convencional como la mezcla en frío con 100%MBR (MDF-20 MBR100%) cumplen con el requisito, de igual manera se puede ver que la mezcla con MBR presenta cercanos al límite de cumplimiento, lo que permite inferir que si bien la mezcla cumple con la especificación, se debe tener presente el efecto del agua en los diseños contemplando estructuras de drenaje que permitan la evacuación efectiva del agua.

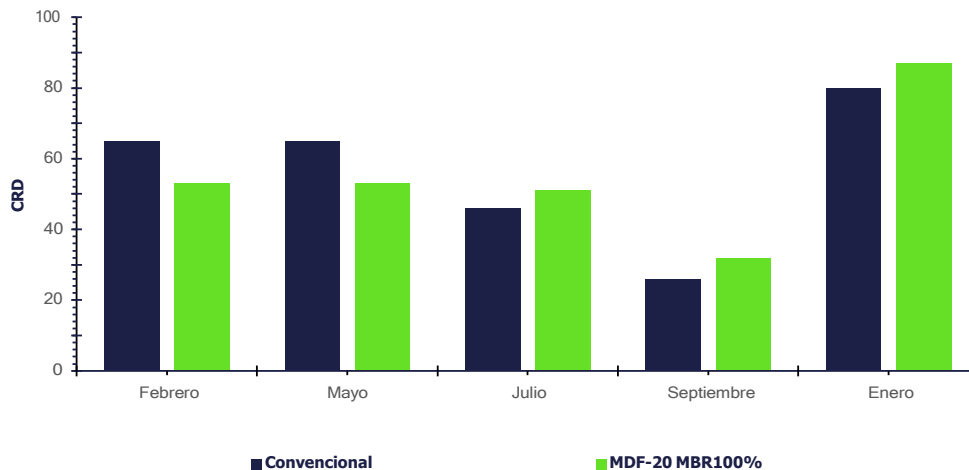
Figura 4. Susceptibilidad al daño por humedad



Fuente: Elaboración Propia

La resistencia al deslizamiento no es considerada como una característica estructural de los pavimentos, por lo cual carece de diseño, sin embargo, esto no significa que sea un parámetro despreciable, ya que juega un papel importante en temas de seguridad vial por lo cual suele considerarse como un factor importante de funcionalidad en los pavimentos. En este sentido, se toman medidas de resistencia al deslizamiento a pavimentos construidos con mezclas asfálticas convencionales y mezclas asfálticas en frío con 100%MBR, los resultados son presentados en la *Figura 5*, donde las dos mezclas presentan comportamientos similares, impidiendo identificar con claridad la superioridad de alguna, no obstante, más allá de la comparación entre mezclas, es de resaltar que los pavimentos evaluados cumplen con suficiencia los requisitos de las especificaciones.

Figura 5. Resistencia al Deslizamiento

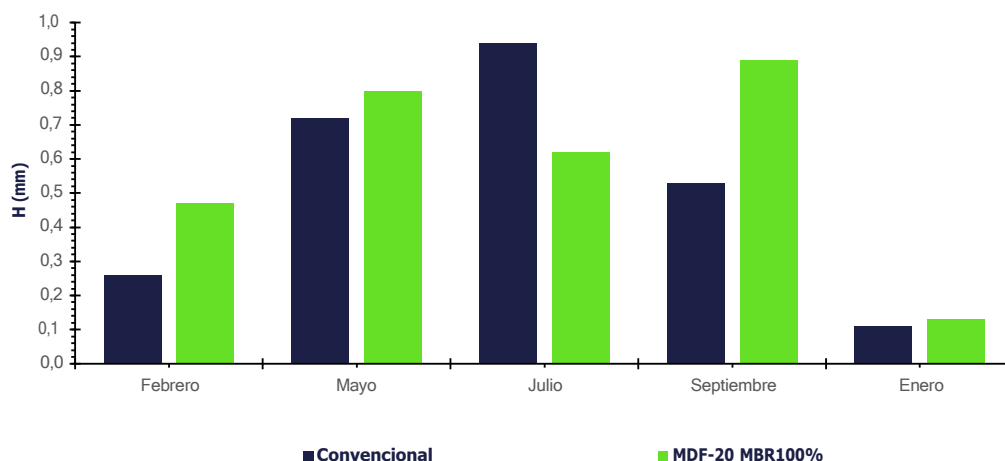


Fuente: Elaboración Propia

Macrotextura superficial

Al igual que la resistencia al deslizamiento, la textura superficial es un parámetro que generalmente no se diseña, no obstante, es importante desde el punto de vista funcional y de seguridad vial, ya que entre mayor textura presente la carpeta de rodadura es menos probable que se generen efectos de hidropelaje. En la *Figura 6* se muestran los resultados de la textura superficial de un pavimento construido con mezcla asfáltica convencional y otro con mezcla asfáltica en frío con 100%MBR, donde se puede ver que esta última presenta texturas ligeramente más elevadas alcanzando un mayor grado de seguridad vial.

Figura 5. Resistencia al Deslizamiento



Fuente: Elaboración Propia

7. Conclusiones

De la ejecución de los proyectos asociados con el uso de materiales Bituminosos Reciclados en altas tasas para la conformación de estructuras de pavimentos, se tiene las siguientes conclusiones:

El uso de MBR en el mundo es cada vez más común, sin embargo, las experiencias de cada región con la utilización de este material son diversa debido a que las características del material disponible son variables, por esta razón, es importante realizar estudios puntuales con los materiales disponibles en la zona para establecer sus propias características.

Los estudios teóricos y a escala reducida, muestran algunas características fundamentales de las mezclas asfálticas con MBR, sin embargo, al extrapolar estas mezclas a escala real, surgen nuevos retos que no se perciben en laboratorio.

La experticia del talento humano de la UAERMV en los procesos constructivos de pavimentos con mezclas asfálticas en frío con 100% MBR, permiten definir metodologías claras de intervención identificando variables a controlar como: tiempos de almacenamiento del material después de mezclado menores a 2 días, espesores óptimos de compactación de 15cm, coeficientes de expansión de la mezcla iguales a 35%, periodos de curado de 3 días y necesidad de sello de fisuras.

La aparición de fisuras en la mezcla asfáltica en frío con 100%MBR es una condición normal debido a la rigidez del material y no constituye un defecto estructural del pavimento, no obstante, este efecto debe ser atendido toda vez que si no se realiza un sello de

fisuras esto puede desencadenar en filtraciones de agua con sus efectos negativos asociados.

De los ensayos de desempeño se puede ver que, aunque la mezcla asfáltica en frío con 100%MBR presenta resultados que satisfacen las especificaciones y son similares a la mezcla convencional, demostrando que la mezcla tiene buen comportamiento estructural y funcional.

El uso de la mezcla asfáltica en frío con 100%MBR tiene un impacto alcance a las Políticas Públicas Distritales de Ambiente, mejorando la calidad de vida y salud incidiendo positivamente en las condiciones sanitarias y ambientales de la calidad del aire con la disminución de CO₂ y desarrollo de las comunidades.

8. Impactos a corto, mediano y largo plazo

El impacto generado por el presente proyecto trasciende en el tiempo, ya que a corto plazo permite reutilizar el MBR disponible en el Distrito, lo cual abre las puertas a disminuir los pasivos ambientales, integrando este material de nuevo en la cadena de valor. El impacto a mediano plazo está enfocado en alcanzar una mayor cobertura de intervenciones con los mismos recursos, ya que el MBR es un material más económico que los materiales vírgenes, lo cual presume una disminución en los costos de intervención. En el largo plazo, permite una mejora en la competitividad de Bogotá permitiendo un desarrollo económico integral de la zona urbana y la zona rural, en torno a una infraestructura adecuada que permite reducir costos de transporte y tiempos de desplazamiento.



9. Referencias Bibliográficas

- [1] MD World Competitiveness Booklet 2022».
- [2] Fedesarrollo, «Plan Maestro de Transporte Intermodal 2015-2035», Bogotá D.C., 2015.
- [3] Miluska. Jara, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible», Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>.
- [4] Yinuo, «UN 2023 SDG Summit», United Nations Sustainable Development, 21 de mayo de 2023. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2023/05/un-2023-sdg-summit/> (accedido 27 de agosto de 2023).
- [5] MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, «GUÍA DE MANEJO AMBIENTAL PARA VÍAS TERCIARIAS», Bogotá D.C., ene. 2020.
- [6] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-Minambiente, Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible-FCDS, y WWF-Colombia, «Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia (LIVV)», Bogotá D.C., jul. 2020.
- [7] J. Harvey, J. Mejer, H. Ozer, I. Al-Qadi, A. Saboori, y A. Kendall, «Pavement life-Cycle Assessment Framework (2016)», Report No. FHWA-HIF-16-014.
- [8] F. EUROPEAN ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION, «ASPHALT IN FIGURES 2018», 2018.
- [9] G. Tarsi, P. Tataranni, y C. Sangiorgi, «The Challenges of Using Reclaimed Asphalt Pavement for New Asphalt Mixtures: A Review», Materials, vol. 13, n.o 18, p. 4052, sep. 2020, doi: 10.3390/ma13184052.
- [10] K. L. Roja, E. Masad, y W. Mogawer, «Performance and blending evaluation of asphalt mixtures containing reclaimed asphalt pavement», Road Mater. Pavement Des., vol. 22, n.o 11, pp. 2441-2457, 2021.
- [11] F. M. Argüello y J. Aguiar, «Mezclas asfálticas con rap: pavimentos asfálticos reciclados», Bol. Téc. PI-TRA-LanammeUCR, vol. 10, n.o 1, 2019.
- [12] W. U. Filho, L. M. Gutiérrez Klinsky, R. Motta, y L. L. Bariani Bernucci, «Cold Recycled Asphalt Mixture using 100% RAP with Emulsified Asphalt-Recycling Agent as a New Pavement Base Course», Adv. Mater. Sci. Eng., vol. 2020, pp. 1-11, abr. 2020, doi: 10.1155/2020/5863458.
- [13] UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO VIAL, «Evaluación y comparación de desempeño de una mezcla asfáltica con altos contenidos de RAP a escala real y una mezcla convencional tipo MD-12», Bogotá D.C., 2019.
- [14] P. S. Kandhal y R. B. Mallick, «Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments: Participant's Reference Book», 1998.
- [15] H. Lee, «Examination of Curing Criteria for Cold In-Place Recycling».
- [16] D. Ungureanu et al., «Accelerated testing of a recycled road structure made with reclaimed asphalt pavement material», Constr. Build. Mater., vol. 262, p. 120658, nov. 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120658.

Mezclas tibias: una solución amigable para la movilidad en Bogotá

Álvaro Sandoval Reyes, Camilo Marrugo Martínez,
Humberto Ramírez Gómez, Alejandro Pinzón Enciso,
Franceth Castellanos Ballesteros,
Juan Felipe Vela González

-Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y
Mantenimiento Vial (UAERMV)-

alvaro.sandoval@umv.gov.co,
camilo.marrugo@umv.gov.co,
humberto.ramirez@umv.gov.co,
alejandro.pinzon@umv.gov.co,
franceth.castellanos@umv.gov.co,
juan.vela@umv.gov.co

Resumen

Las mezclas asfálticas tibias por su sigla en inglés (WMA) buscan reducir las temperaturas de producción e instalación, esto se logra mediante un aditivo que permite modificar las temperaturas de producción e instalación sin disminuir sus propiedades de desempeño. Considerando las funciones que actualmente desempeña la Unidad de Mantenimiento Vial (UMV), se realizaron trabajos de investigación encaminados a mejorar estas actividades asociadas a las necesidades medio ambientales que el país presenta. Por este motivo, la UMV ha desarrollado un proyecto en la ciudad de Bogotá en el cual se ha instalado una mezcla asfáltica tibia, compactada a 110°C y una mezcla con grano de caucho. Estas mezclas fueron producidas en la planta de producción de la UMV y fueron instaladas en un tramo de prueba de la malla vial de Bogotá. El tramo construido es sometido a una inspección visual, y las mezclas asfálticas son sometidas a ensayos de laboratorio.

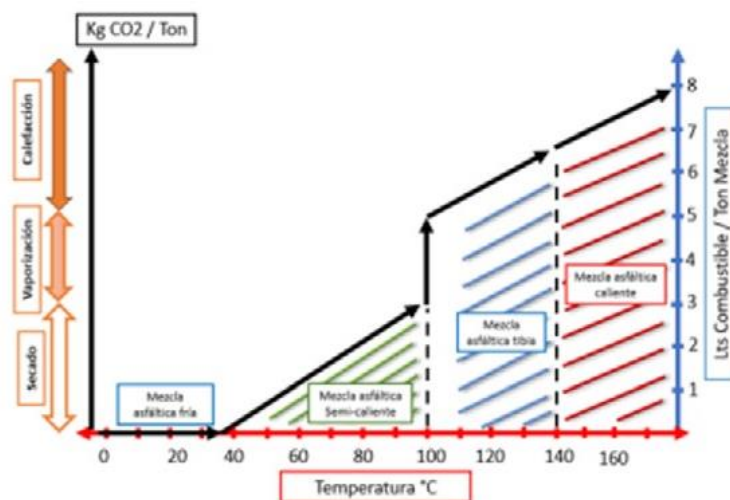
1. Introducción

El rendimiento de cualquier pavimento viene determinado en gran medida por los materiales y métodos utilizados para construirlo. Dado que las vías se consideran esenciales para una economía, es primordial buscar nuevas tecnologías y materiales que proporcionen una alternativa sostenible a la industria de los pavimentos en un futuro próximo [1]. La mezcla asfáltica tibia (Warm Mix Asphalt, WMA) es una tecnología emergente en la construcción y pavimentación de vías, una alternativa más sostenible y respetuosa con el medio ambiente que la mezcla



asfáltica en caliente tradicional (Hot Mix Asphalt, HMA), debido a su menor consumo de energía, sus menores emisiones de gases efecto invernadero y sus temperaturas de producción más bajas [2]. La WMA puede producirse añadiendo diversos aditivos y materiales, que pueden ser de origen orgánico o químico. La *Figura 1*, muestra la clasificación de las mezclas asfálticas en función de la temperatura, gasto de combustible y Kg de CO₂ producido.

Figura 1. Clasificación de muestras asfálticas



Fuente: Adaptado de: [3] Comisión permanente del asfalto. nov 2008

Teniendo esto en cuenta, se buscó realizar un diseño con mezclas de gránulo de caucho. Según cifras oficiales, tres de cada 10 llantas – 750.000 de 2 '500.000 que cumplían su vida útil por año – terminaban en el espacio público e incluso dentro de los humedales de Bogotá [4]. Debido a esto, en la actualidad se está usando el grano de caucho extraído de llantas, en el diseño de mezclas asfálticas, ya que proporcionan propiedades fundamentales en vías, como la durabilidad y la resistencia. Sin embargo, para la producción de mezclas con gránulo de caucho se requiere mucha energía, es decir una mayor temperatura y, por ende, mayor gasto de combustible. Una solución es la utilización del aditivo “Evotherm” el cual permite a las mezclas asfálticas tibias (WMA) trabajar con temperaturas de 50°C menos [5].

Alineado a los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) permite evidenciar un aumento en la implantación del I+D e innovación científica y tecnológica que se encuentra en el ODS 9. Industria, Innovación e Infraestructura, para identificar soluciones al impacto medioambiental y el cumplimiento de metas de este objetivo en cuanto al desarrollo de infraestructura sostenible y de calidad mediante procesos industriales limpios y ambientales racionales fomentando la innovación y el aumento de la investigación en desarrollo. Así mismo, esta alternativa permite

abordar lo contemplado en el ODS 11. Ciudades y Comunidades Sostenibles, que contempla la reducción del impacto negativo ambiental, mejorando la calidad del aire con la disminución de emisiones de gases contaminantes y un uso controlado de combustibles péticos.

En el Plan Nacional de Desarrollo, se promueve un uso eficiente de los recursos en el cumplimiento de la meta 4. Transformación Productiva, Internacionalización y Acción Climática, fomentando un uso adecuado de los recursos para el desarrollo de ciudades y hábitats resilientes lo cual es aplicado con esta práctica constructiva que permite una conservación y mantenimientos de los pavimentos cuidando el medioambiente. En este sentido, la mezcla asfáltica tibias presentada como una solución amigable y en beneficio de la salud ambiental, incide positivamente en condiciones sanitarias y ambientales que mejoran la calidad del aire, permite una sostenibilidad para un uso y disfrute apropiado del espacio público y genera un asentamiento humano seguro y sostenible, gracias a este tipo de investigaciones para la aplicación de nuevas tecnologías y procedimientos innovadores y sostenibles que orientan a una mejora en la calidad ambiental en la atmósfera de la ciudad, siendo una intervención directa con la políticas públicas distritales de Ambiente, Gobierno y Planeación.

En el presente artículo se pretende mostrar la aplicación el proyecto realizado por la Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial (UAERMV) que se encuentra ubicado en la Avenida carrera 96 entre calles 65 y 66a, en el Barrio Los Ángeles de la localidad de Engativá, en la ciudad de Bogotá D.C en donde se instalaron dos tipos de mezclas asfálticas, una mezcla asfáltica tibia, compactada a 110°C y una con grano de caucho.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Construir en la localidad de Engativá un tramo de piloto con mezclas asfálticas modificadas con gránulo de caucho y mezclas asfálticas tibias.

2.2 Objetivos específicos

- Diseñar la estructura de pavimentos del tramo de prueba bajo condiciones reales para las mezclas asfálticas tibias y con grano de caucho.
- Producir la mezcla asfáltica tibia con grano de caucho.
- Construir el tramo de prueba con mezclas asfálticas tibias y con grano de caucho.
- Realizar ensayos estabilidad Marshall, resistencia conservada, péndulo británico, ensayos de macrotextura, deflectometría y auscultación visual a las mezclas asfálticas instaladas y los tramos construidos.
- Comparar los beneficios medioambientales de utilizar mezclas asfálticas tibias (WMA) y mezclas asfálticas convencionales.

3. Justificación

De acuerdo con la necesidad de intervenir y mejorar la infraestructura vial del país, y teniendo en cuenta los problemas medioambientales y costos que acarrea la construcción y mantenimiento de pavimentos, se busca dar un enfoque de amigable con el medio ambiente reduciendo costos y optimizando recursos con lo cual se para realizar intervenciones que involucren innovación en el sector y con mayor cobertura. En este sentido, la UMV presenta la implementación de mezclas asfálticas tibias y con

gránulo de caucho para atender la malla vial de Bogotá, como idea innovadora, generando una solución de movilidad sostenible para estos sectores.

4. Marco Teórico

Las mezclas asfálticas tibias (WMA) se definen como aquellas que se producen a temperatura menor que las mezclas asfálticas en caliente (HMA), es decir con una temperatura de entre 100°C y 135°C, su producción involucra nuevas tecnologías a partir de las cuales es posible producir e instalar los concretos asfálticos a temperaturas sensiblemente inferiores a las técnicas convencionales. Las WMA fueron inicialmente introducidas en Europa a finales de los 90 [1], En otoño de 1996, el ministerio alemán de trabajo y asuntos sociales consideró la exposición de los trabajadores a los humos asfálticos; el Encuentro Alemán de Bitumen fue fundado en respuesta a esta consideración. Durante el mismo tiempo, las mezclas asfálticas en tibio estuvieron bajo desarrollo en Europa, en consecuencia, a la necesidad de reducción de gases de efecto invernadero (resultado del Protocolo de Kyoto de 1997 por el cambio climático). Finalmente, el Encuentro Alemán de Bitumen propuso como concepto la reducción de las temperaturas de las mezclas asfálticas con el fin de disminuir la exposición de los trabajadores a los humos asfálticos.

El desarrollo de esta tecnología con enfoque en la reducción de temperatura de mezcla y compactación empezó en 1997, para cumplir con el Protocolo de Kyoto [3]. Esta alternativa también facilita el trabajo de pavimentación en los países en los que el invierno es muy riguroso [4], dado que la mezcla tibia enfría más lentamente que la mezcla en caliente.

5. Metodología

Inicialmente, se selecciona el tramo a intervenir, ubicado en la ciudad de Bogotá - Avenida carrera 96 entre calles 65 y 66a. Se procede a la instalación del PMT que se realizó inicialmente a partir de un cierre parcial de la vía, teniendo un paso peatonal provisional. Posteriormente y dado que la vía iba a ser intervenida en su totalidad, se hizo un cerramiento total de la vía.

Posteriormente, se realizó el fresado de la carpeta asfáltica. Además, para el retiro del remanente del fresado, se utilizó una retroexcavadora tipo pajarita. Lo anterior, con el fin de poder realizar la excavación pertinente, para poder alcanzar las profundidades que requiere la estructura de pavimento diseñada.

Una vez retirado el remanente del fresado, se excava hasta alcanzar la cota necesaria para la estructura de pavimento. Para evitar rotura de tuberías se realizó una excavación manual en los sectores donde se tenía presente la localización de éstas. En la *Figura 2* se ilustra la manera en cómo se desarrolló el tramo de prueba.

Figura 1. Clasificación de muestras asfálticas



Fuente: Adaptado de [1]

Dado que la capacidad portante de la subrasante requería un mejoramiento, se instalaron 45 cm de rajón.

Las mezclas asfálticas se producen en la planta de la UAERMV, donde se fabrica la mezcla de granulo de caucho, la cual posteriormente es transportada hasta el frente de obra donde es instalada inmediatamente. Una vez se tiene disponibilidad para compactar la mezcla, esta es extendida con ayuda de una motoniveladora y compactada con un vibrocompactador de 8 toneladas en capas de 15 cm.

6. Resultados

Una de las alternativas que existen al momento de emplear mezclas tibias es la inclusión de aditivos reductores de temperatura en un asfalto convencio-

nal, con lo cual se logra disminuir la temperatura de mezclado y compactación, manteniendo viscosidades adecuadas que garanticen la correcta trabajabilidad de la mezcla. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo un diseño de mezcla que permita identificar las características de la mezcla con diferentes contenidos de aditivo con el fin de identificar un contenido óptimo de aditivo.

Para el diseño de mezcla se realizaron ensayos de laboratorio con una muestra patrón en caliente (0% de aditivo), seguido de mezclas con de 0.3%, 0.5% y 0.7% de contenido del aditivo Evotherm P-25. Todas las muestras se fabricaron con granulometrías MD-12 50%ATR de paguey; 20% Arena de cantera; 20% gravas de 1/2" y 10% gravas de 3/4". Los resultados obtenidos de este plan experimental se resumen en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Resultados laboratorio aditivo Evotherm

Parámetro	Unidad	Resultado				$\bar{x}$	σ	COV
		0.0% Evotherm	0.3% Evotherm	0.5% Evotherm	0.7% Evotherm			
Gravedad específica Bulk		2175	2171	2157	2166	2167	7.76	0%
Vacíos	%	6.5	6.7	7.3	6.8	6.83	0.34	5%
Expansión	%	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.14	28%
Resistencia a la tensión indirecta (Seco)	kPa	1001.9	956.6	849.4	781.6	897.38	100.2	11%
Resistencia a la tensión indirecta (Húmedo)	kPa	909.1	960.8	736.1	651.9	814.48	144.8	18%
Resistencia Conservada	%	90.7	100.4	86.7	83.4	90.3	7.37	8%

De los resultados previos, se puede evidenciar que la inclusión del aditivo Evotherm no tiene mayor incidencia en la gravedad específica de la mezcla y su porcentaje de vacíos, por lo que se puede presumir que, la adición de este aditivo no afecta de forma negativa la trabajabilidad de la mezcla. La expansión de la mezcla es afectada negativamente por la inclusión del aditivo, permitiendo evidenciar un incremento de 0.3% a 0.5%, con la presencia de Evotherm, no obstante, esto no constituye un inconveniente debido a que los valores de expansión siguen siendo bajos.

La resistencia a la tracción indirecta de las mezclas es un factor para tener en cuenta, debido a la dis-

minución de este parámetro conforme se aumenta la inclusión del aditivo Evotherm, esta disminución se ve principalmente acentuada en la resistencia a la tracción indirecta en el grupo húmedo, reflejando una disminución de la resistencia conservada para los contenidos de 0.5% y 0.7% de Evotherm. No obstante, es de aclarar que, aunque se refleja una disminución de este parámetro, la mezcla sigue cumpliendo con los requerimientos solicitados, para mezclas asfálticas tanto en caliente como en frío (80%).

Posterior a la construcción del tramo de prueba unos núcleos son extraídos para realizar el respectivo control de calidad, permitiendo identificar las características que se muestran en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Resultados de laboratorio, calidad

Parámetro	Unidad	Resultado	Requisito
Espesor	mm	133.1	120
Densidad Bulk	kg/m ³	2164	
Porcentaje de compactación	%	98.45	98
Vacíos con aire	%	8.2	4-6



Las mezclas asfálticas tibias (WMA) presentan unas reducciones importantes con respecto a las mezclas asfálticas en caliente (HMA) en cuanto a las emisiones, por ejemplo, con las mezclas WMA se pueden lograr reducciones entre el 25 y 55% en las partículas de polvo, entre 30% y 40% en las emisiones de gas carbónico, entre 60% y 70% en las de óxido de nitrógeno, 50% en compuestos orgánicos volátiles y 35% en las emisiones de dióxido de azufre [8].

7. Conclusiones

La WMA es una alternativa prometedora con respecto a la HMA tradicional que ofrece varias ventajas, entre ellas reducción del consumo de energía, mejora de la trabajabilidad y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes. El uso de WMA ha ido en aumento en los últimos años debido a sus numerosas ventajas, y se ha demostrado que es una opción viable para muchos tipos diferentes de aplicaciones de pavimentos.

Las investigaciones han demostrado que el WMA puede proporcionar un rendimiento comparable o incluso superior al HMA en términos de durabilidad, fuerza y resistencia al desgaste. Al momento de fabricar una mezcla con asfalto modificado con grano de caucho, el aditivo utilizado para la reducción del choque térmico entre el asfalto y los agregados no genera alteración de las propiedades de estabilidad y flujo.

En la producción de la WMA se realiza a una temperatura de 130°C, lo cual es una reducción del casi 20% en comparación a la mezcla con granulo de caucho que se produjo a 160°C. Así mismo para la instalación de la WMA se redujo la temperatura en un 27 % con 110 °C en lugar de la mezcla con grano de caucho que se instaló a una temperatura de 150° C. Esto implica una reducción en costos y a manera medioambiental en gases de efecto invernadero para este tipo de mezclas.

8. Impactos a corto, mediano y largo plazo

A corto plazo se disminuyen los mantenimientos para las vías diseñadas con WMA y con granulo de caucho, así como el uso de combustible para su instalación. A mediano plazo aumenta su durabilidad representando un ahorro a nivel de costos. A largo plazo contribuye a la reducción de impactos negativos para el medio ambiente como lo son, la quema indiscriminada de las llantas desechadas, el menor uso de combustible, el cual genera un menor impacto en los gases de efecto invernadero.

9. Referencias Bibliográficas

- [1] P. Kushwaha, B.L. Swami, A study on moisture susceptibility of foamed bitumen mix containing reclaimed asphalt pavement, Transp. Infrastructure. Geotechnology. 6 (2) (2019) 89–104.
- [2] Evaluation of the Environmental and Economic Impacts of Warm-Mix Asphalt Using Life-Cycle Assessment – Marwa Hassan. 2010
- [3] Rosario. Mezclas asfálticas a más bajas temperaturas. Comisión Permanente del Asfalto, XXXV Reunión del Asfalto, Argentina; 10-14 noviembre 2008.
- [4] Guevara, C. 2015. Cada día más de 2.050 llantas terminan invadiendo el espacio público. El Tiempo. URL: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15317455>
- [5] Características de McAsphalt-Evotharm Mezcla Asfáltica Tibia con aditivo “Evotharm-3G”. La administración estatal de las carreteras de Ucrania (UKRAVTODOR). Kiev. 200
- [6] Procesos constructivos de pavimentos de concreto hidráulico aplicados en tránsitos vehiculares de bajos volúmenes en la región del Alto Magdalena. Edna Diaz, Miguel Rojas 2018
- [7] Tesis análisis del comportamiento y beneficios de las mezclas asfálticas tibias – Susana Elvira Orellana
- [8] Diseño de mezcla asfáltica tibia a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma - Conrado H. Lopera

Mezclas asfálticas sostenibles: Aprovechamiento del plástico de un solo uso para mejorar la movilidad en Bogotá

Álvaro Sandoval Reyes, Camilo Enrique Marrugo Martínez, Humberto Ramírez Gómez, Alejandro Pinzón Enciso, Franceth Castellanos Ballesteros, Pedro Antonio Farieta Martínez

-Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial (UAERMV)-

alvaro.sandoval@umv.gov.co,
camilo.marrugo@umv.gov.co,
humberto.ramirez@umv.gov.co,
alejandro.pinzon@umv.gov.co,
franceth.castellanos@umv.gov.co,
pedro.farieta@umv.gov.co

Resumen

El rápido crecimiento de la población ha generado un aumento en los desechos plásticos. Colombia genera 12 millones de toneladas de plástico, el 56% de los cuales son plásticos de un solo uso. Se han realizado esfuerzos para incorporar estos plásticos en mezclas asfálticas. La Unidad Administrativa Especial de Mantenimiento y Rehabilitación Vial (UAERMV) ha desarrollado un proyecto en Bogotá para instalar dos tipos de mezclas asfálticas con plástico de un solo uso en un tramo de prueba. Estas mezclas se produjeron con la incorporación de plástico por vía seca y húmeda y se instalaron según las temperaturas obtenidas por las curvas de viscosidad del asfalto. El tramo construido se somete a inspección visual y ensayos de desempeño. El objetivo es mejorar el mantenimiento de la red vial, mejorar la movilidad y aportar soluciones a las dificultades técnicas y medioambientales que presenta Bogotá.



1. Introducción

Los plásticos son polímeros que pueden ser moldeados con temperatura y presión, que se encuentran en los objetos de la vida cotidiana. El problema radica en que la degradación de los plásticos no se conoce a ciencia cierta, se dice que hoy en día siguen existiendo los plásticos que se produjeron en los años 60, época en que inició la producción masiva de este material. Este material generalmente se produce para ser utilizado una vez y desechado. En la actualidad se generan más de 300 millones de toneladas de residuos de plástico, este número incrementa a razón de 4% cada año. Dado que la disposición final

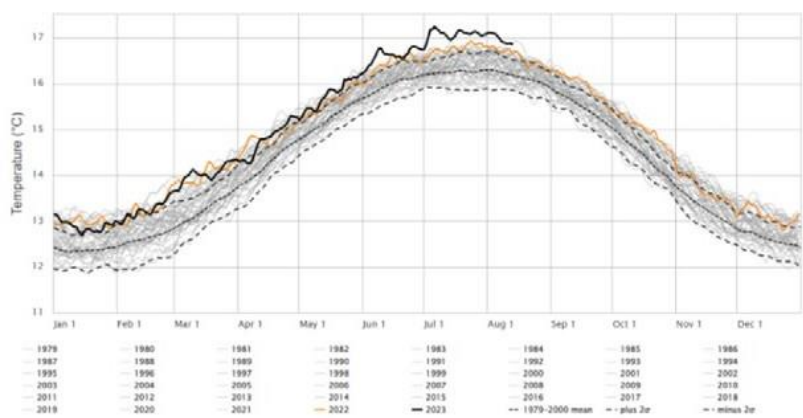
de este material no ha sido regulada, generalmente termina en el océano, por lo que se conoce que en la actualidad existen grandes islas de plástico, como lo son el Parche de basura del Pacífico Norte, el Parche de basura del océano Índico, el Parche de basura del Atlántico Norte el Parche de basura del Pacífico Sur y el Parche de basura del Atlántico Sur [2]–[6].

Adicionalmente, la producción de plásticos requiere una gran cantidad de energías no renovables. Zero Emissions Objective afirma que, para producir 1 kilogramo de plástico, se emiten 3,5 kilogramos de dióxido de carbono [7], por otro lado, el Center for International Environmental Law estima que para el año para el año 2050 se producirán 2,75 mil millones de toneladas de toneladas de CO2 como consecuencia de la producción e incineración de plásticos a nivel

mundial [8]. Además, si bien es cierto que producir plástico a partir de plástico reciclado genera una menor huella de carbono, Zero Emissions Objective menciona que fabricar plástico reciclado emite 1,7 kg de CO2, lo que representa una disminución del 49% de huella de carbono [7].

El cambio climático es una de las preocupaciones que genera la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero, de acuerdo con una investigación realizada por Climate Reanalyzer et al., demuestra que los días más cálidos se vienen presentando en el año 2023 [9]. La *Figura 1* muestra la temperatura promedio mundial, se observa que el año 2023 viene presentando récords en cada uno de los meses del año.

Figura 1. Temperatura promedio diaria mundial



Fuente: Tomado de [9].

Dado lo anterior, Center for International Environmental Law en su reporte indica que lo pertinente es buscar una solución que reduzca la producción de los plásticos [8]. En respuesta a lo anterior, muchos investigadores han propuesto la utilización de plástico como modificador de mezclas asfálticas [1], [10]–[13]. La Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial (UAERMV) ha venido trabajando mezclas asfálticas modificadas con plásticos desde el año 2021 en la ciudad de Bogotá.

En el año 2023, la UAERMV realizó un tramo de prueba de mezclas asfálticas modificadas con plásticos pos-consumo (i.e. residuos domésticos), como lo son el polietileno de baja densidad (LDPE) por vía húmeda y el poliestireno expandido (EPS) por vía seca. Dicho tramo se encuentra ubicado en la Avenida Carrera 96 entre Calles 65 y 66A, en el barrio Los Ángeles.

El uso de materiales reciclados, utilizados para mejorar la movilidad en Bogotá por medio de la incorporación de plásticos en mezclas asfálticas de temperaturas acorde a las curvas de viscosidad de los asfaltos, permite presentar un avance de innovación y tecnología aplicada en esta industria como herramienta clave para una solución a largo plazo a los problemas medioambientales alineado a la aplicación de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) en los temas de Industria, Innovación e Infraestructura que busca desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles y de calidad (Regionales y Transfronterizas) modernizando y reconvirtiendo la industria con tecnologías limpias y ambientales racionales, fomentando la innovación y el aumento de la investigación en desarrollo. Igualmente, en el tema correspondiente a Ciudades y Comunida-



des Sostenibles se busca reducir el impacto negativo ambiental, mejorando la gestión de desechos (material plástico) permitiendo el acceso a espacios públicos seguros y accesibles.

Por otro lado, frente a las políticas públicas distritales se identifica la gestión en el Desarrollo Económico, aplicado a la Ciencia, Tecnología e Innovación, generando procesos de innovación social y pública para un desarrollo sostenible, consolidando el fortalecimiento en la educación e investigación que permita potenciar la innovación empresarial y la competitividad de las cadenas de producción. En el marco de aplicación de estas políticas frente a la planeación de Ecourbanismo y Construcción Sostenible se logra identificar la necesidad de realizar prácticas sostenibles que orientan el desarrollo urbano y de construcción con el manejo adecuado de residuos, materiales, técnicas y tecnologías, evidenciando en la elaboración de mezclas con plástico de un solo uso.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento mecánico y funcional de dos tipos de mezclas asfálticas en caliente modificadas con plástico post consumo por vía seca y vía húmeda.

2.2 Objetivos específicos

- Diseñar la estructura de pavimentos del tramo de prueba bajo condiciones reales para las mezclas asfálticas modificadas con plástico por vía húmeda y vía seca.
- Producir la mezcla asfáltica modificada con plástico por vía húmeda y vía seca.
- Construir el tramo de prueba con mezclas asfálticas modificadas con plástico por vía húmeda y vía seca.

- Realizar ensayos estabilidad Marshall, resistencia conservada, péndulo británico, ensayos de macrotextura, deflectometría y auscultación visual a las mezclas asfálticas instaladas y los tramos contruidos.

3. Justificación

La contaminación por plásticos es un problema que afecta a todo el mundo, según Lau et al., cada año ingresan 8 millones de toneladas de plástico al océano, de no tomar acciones respectivas, esta cantidad podría duplicarse para el año 2050 [14]. Según datos del DANE, en el año 2021 en Colombia se consumieron 201.606 toneladas de bolsas de material plástico sin impresión (LDPE) [15].

4. Marco teórico

Para la realización de mezclas asfálticas modificadas con plástico, se tienen en cuenta los siguientes conceptos:

4.1 Mezcla asfáltica

Una mezcla asfáltica es un material compuesto por agregados pétreos, aire y una llenante mineral, que se unen gracias a la acción cohesiva del cemento asfáltico. En Colombia, existen muchos tipos de mezcla asfáltica, cuyas granulometrías son presentadas en las especificaciones del Instituto Nacional de Vías.

4.2 Plástico

El plástico es un material sintético que se fabrica a partir de material orgánico, como el petróleo, según el DANE, en el país se consumieron 201.606 toneladas de bolsas de plástico sin impresión [15]. Para la identificación de los plásticos, existe una clasificación internacional, la *Figura 2* muestra la clasificación internacional de los plásticos.

Figura 2. Clasificación internacional de plásticos



de vinilo, LDPE es polietileno de baja densidad, PP es polipropileno y PS es Poliestireno. Además, existe un séptimo código para otros plásticos, como lo son el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), Ácido poliláctico (PLA), Policarbonatos (PC), nylon, etc.

5. Metodología

Las mezclas asfálticas se pueden modificar por dos métodos, como lo son la vía húmeda y vía seca. La modificación por vía húmeda se refiere a la digestión utilización de materiales con un bajo punto de fusión para la adición al asfalto caliente (160°C), la vía seca se refiere a la adición del polímero a los agregados pétreos. La *Figura 3* muestra la metodología para modificar las mezclas asfálticas por vía húmeda y vía seca.

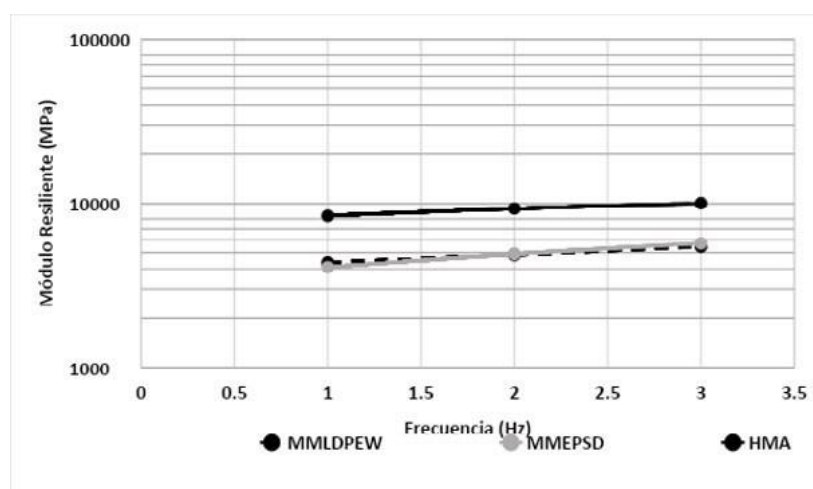
Figura 3. Modificación de mezclas asfálticas



6. Resultados

Luego de realizar ensayos de laboratorio, el módulo resiliente a 20°C que se obtuvo de las mezclas asfálticas modificadas con plástico por vía húmeda y vía seca, junto con el valor para las mezclas asfálticas convencionales se muestra en la *Figura 4*.

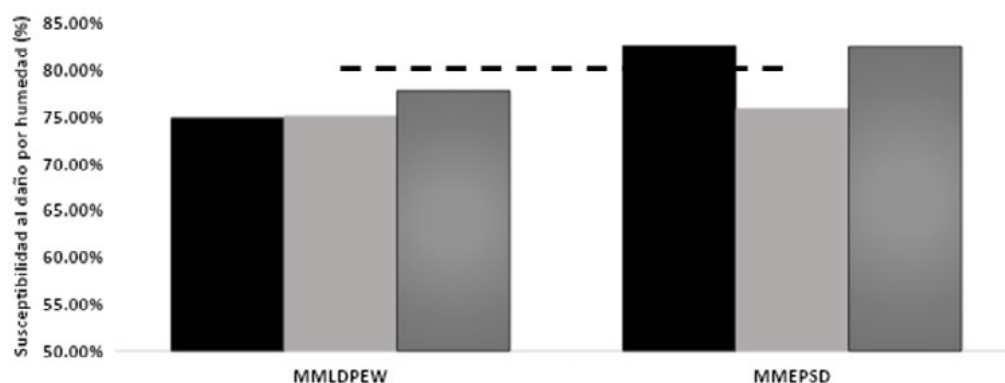
Figura 4. Módulo Resiliente a 20°C



Nota: MMLDPE= Mezcla asfáltica modificada con polietileno de baja densidad por vía húmeda, MMEPSD= Mezcla asfáltica modificada con poliestireno expandido por vía seca, HMA= Mezcla Asfáltica Convencional.
Fuente. Elaboración propia

Al evaluar la susceptibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas modificadas con plástico, se encontró que en las probetas ensayadas que se muestra en la *Figura 5*. Según se muestra en el gráfico, las mezclas asfálticas modificadas presentan una pérdida de resistencia al ser sometidas a humedad, lo que hace que en su gran mayoría no se cumpla con el límite permisible establecido en la norma INVE-725.

Figura 5. Susceptibilidad al daño por humedad de las mezclas extraídas



7. Conclusiones

Este trabajo fue realizado para evaluar el comportamiento mecánico y funcional de las mezclas asfálticas modificadas con plástico tanto por vía húmeda, como por vía seca. De acuerdo con los trabajos realizados en campo y las observaciones después de la instalación de las mezclas asfálticas modificadas, se llegó a las siguientes conclusiones:

- La utilización de desechos plásticos es viable para la producción de mezclas asfálticas modificadas tanto por vía húmeda, como por vía seca, pues con estos materiales se mejoran algunas de

las propiedades mecánicas. Sin embargo, no se logran cumplir todas las especificaciones del INVIAS.

- Hace falta conocer el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con plástico al tener un cierto periodo de envejecimiento, pues podría mejorar el módulo de rigidez de estas, alcanzando incluso el valor de las mezclas asfálticas convencionales.
- La modificación de mezclas asfálticas con plástico reciclado es una práctica que genera empleos verdes y presenta una solución sostenible para mantener una economía circular.

8. Impactos a corto, mediano y largo plazo

Los impactos que presenta la implementación de este tipo de mezclas son los siguientes:

A corto plazo, se espera que se mejoren algunas de las propiedades de las mezclas asfálticas, como la resistencia al ahuellamiento y la rigidez del asfalto.

- A mediano y largo plazo se espera que se reduzca la cantidad de plásticos que ingresan al océano, además de la reducción de la cantidad de estos materiales que actualmente conforman las grandes islas existentes en el mar.
- Se espera que muchos productores y contratistas, al ver las facultades que tienen las mezclas asfálticas modificadas con plástico, empezarán a incluirlas en la construcción de nuevas vías, lo que significa una menor huella de carbono generada a partir de la producción de este tipo de concreto asfáltico.

9. Referencias bibliográficas

[1] M. A. Dalhat, H. I. Al-Abdul Wahhab, and K. Al-Adham, "Recycled Plastic Waste Asphalt Concrete via Mineral Aggregate Substitution and Binder Modification," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 31, no. 8, Aug. 2019, doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002744.

[2] L. Lebreton, S. J. Royer, A. Peytavin, W. J. Strietman, I. Smeding-Zuurendonk, and M. Egger, "Industrialised fishing nations largely contribute to floating plastic pollution in the North Pacific subtropical gyre," *Sci Rep*, vol. 12, no. 1, Dec. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-16529-0.

[3] C. Pattiaratchi et al., "Plastics in the Indian Ocean – sources, transport, distribution, and impacts," *Ocean Science*, vol. 18, no. 1, pp. 1–28, Jan. 2022, doi: 10.5194/os-18-1-2022.

[4] D. Didier, M. Anne, and T. H. Alexandra, "Plastics in the North Atlantic garbage patch: A boat-microbe for hitchhikers and plastic degraders," *Science of the Total Environment*, vol. 599–600, pp. 1222–1232, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.059.

[5] M. Eriksen et al., "Plastic pollution in the South Pacific subtropical gyre," *Mar Pollut Bull*, vol. 68,

no. 1–2, pp. 71–76, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.12.021.

[6] P. G. Ryan, "Litter survey detects the South Atlantic 'garbage patch,'" *Mar Pollut Bull*, vol. 79, no. 1–2, pp. 220–224, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.12.010.

[7] Zero Emissions Objective, "Cuánto CO2 emite el plástico," 2020.

[8] Center for International Environmental Law, "Plastic & Climate," 2019.

[9] Climate Reanalyzer, Climate Change Institute, and University of Maine, "Climate Reanalyzer," 2023. https://climatereanalyzer.org/clim/t2_daily/ (accessed Jul. 19, 2023).

[10] Y. J. Boom et al., "Engineering properties, microplastics and emissions assessment of recycled plastic modified asphalt mixtures," *Science of the Total Environment*, vol. 893, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164869.

[11] F. Giustozzi, Y. J. Boom, and A. Papacostas, "Use of Road-grade Recycled Plastics for Sustainable Asphalt Pavements: Overview of the Recycled Plastic Industry and Recycled Plastic Types," 2021. [Online]. Available: www.austroads.com.au

[12] J. Ma, H. M. C. Nawarathna, and S. A. M. Hesp, "On the sustainable use of recycled plastics in flexible asphalt pavements," *J Clean Prod*, vol. 359, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.132081.

[13] J. Habbouche, E. Y. Hajj, P. E. Sebaaly, and M. Piratheepan, "A critical review of high polymer-modified asphalt binders and mixtures," *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 21, no. 6, pp. 686–702, May 2020, doi: 10.1080/10298436.2018.1503273.

[14] W. W. Y. Lau et al., "Evaluating scenarios toward zero plastic pollution," 2020. [Online]. Available: <https://www.science.org>

[15] DANE, "Encuesta Anual Manufacturera (EAM)," 2021.

BICI Infraestructura vial en Bogotá: Un estudio de caso con colectivos y ciclistas urbanos

Juan Guillermo
Cañón Torres

jgcanionfl@flacso.edu.ec,
licjuangtorres@gmail.com

Resumen

La investigación se centra en la promoción del uso de la bicicleta en Bogotá, reconocida como la capital ciclista de Latinoamérica con 677 kilómetros de infraestructura vial para bicicletas, que agrupa entre el 7 y 13% de los desplazamientos diarios en la ciudad entre los años 2020 y 2022. En este sentido, el objetivo fue identificar los factores y/o elementos de la bici infraestructura vial que promocionan la bici como medio de transporte desde la perspectiva de los colectivos y ciclistas urbanos.

Por consiguiente, se destaca la no consideración de las necesidades de los ciclistas y el dinamismo del ciclismo urbano en el diseño actual de la infraestructura vial de la ciudad, la cual se ha enfocado en mantener el dominio de los vehículos motorizados. Un modelo insostenible socio-ambientalmente que termina por generar una serie de externalidades, evidenciadas en largas distancias y altos tiempos de desplazamiento para realizar actividades cotidianas, las cuales se enmarcan dentro de patrones de segregación socio-territorialmente, de expansión concéntrica y de cambio climático.

1. Introducción

En América Latina, las políticas de movilidad urbana han estado históricamente orientadas hacia la promoción y masificación del uso de vehículos motorizados privados, reflejando un enfoque arraigado en el modelo tradicional de movilidad neoliberal estadounidense del siglo XX. Sin embargo, este paradigma ha demostrado ser insostenible tanto desde el punto de vista ambiental como social.



Este enfoque ha llevado a procesos de adaptación y construcción de infraestructura vial que han generado una serie de efectos negativos, incluyendo distancias prolongadas y tiempos de viaje excesivos, particularmente en las periferias urbanas [1, 2, 3].

A medida que este modelo se ha expandido, los sistemas de transporte público han intentado satisfacer la creciente demanda de movilidad de la mayoría de la población, no propietaria de vehículos motorizados. La evolución de los sistemas de autobuses colectivos, tranvías eléctricos, sistemas de Bus Rapid Transit (BRT) y la expansión de los metros en las últimas décadas del siglo XX, impulsados por la apertura económica, la desregulación del transporte y la participación creciente del sector privado en su operación, han buscado conectar a las personas con los centros de trabajo y producción, aunque a menudo en detrimento de la calidad del espacio público y de su bienestar [4, 5].

Esto llevó a que a inicios del siglo XXI se replanteará el modelo de movilidad en varias ciudades latinoamericanas, que adoptaron un enfoque de participación mixta en el transporte público., creando asociaciones público-privadas (APP) que impulsaron la inversión de sistemas BRT y metros como ejes del transporte urbano. No obstante, el aumento del tráfico motorizado individual, junto con la escasa consideración de los medios de transporte no motorizados, como peatones y ciclistas, han generado problemas de salud pública, congestión vehicular y deterioro ambiental. Orientando la infraestructura vial al favorecimiento del tránsito automotor, relegando a los modos de transporte no motorizados y aumentando la brecha en el acceso al espacio público.

Sin embargo, la pandemia del Covid-19 aceleró y evidenció la necesidad de movilidades más seguras y saludables, reforzando la relevancia de medios de transporte no motorizados. Lo que llevó a que expertos y urbanistas reconozcan a la bicicleta como un medio de transporte altamente eficiente, sostenible y activo, capaz de impulsar el desarrollo urbano, la economía local y la consolidación de comunidad y colectividades. Esta situación ha destacado la importancia de reconsiderar las políticas de movilidad urbana, con un enfoque en la sostenibilidad socioambiental con participación comunitaria.

Es decir, la pandemia impulsó el uso de vehículos no motorizados en los desplazamientos cotidianos

convirtiéndolos en masivos. En especial, el uso de la bicicleta en Bogotá se convirtió en una oportunidad y un reto para los entes administrativos que, presionados por las crecientes demandas de los colectivos y ciclistas urbanos que buscan garantías de movilidad bajo los enfoques de salud, accesibilidad y seguridad frente a la propagación del virus, y en la construcción de políticas públicas de movilidad, que respondan al fortalecimiento y adecuación de la bici infraestructura vial, que democratice y reestructurar el espacio vial disponible [6]. Por consiguiente, el estudio realizado por el BID, el uso de la bicicleta agrega un impacto positivo en la ciudad, como la reducción del tráfico, el aporte de sociabilidad, en la salud de las personas y en las condiciones y cuidado del medio ambiente [7].

En otras palabras, centrar los procesos de movilidad urbana desde la sustentabilidad socioambiental, permitiría en primera medida incrementar los desplazamientos a pie, en bicicleta, patineta y/o patines, medios de transporte de cero emisiones, de alto nivel de sociabilidad y actividad que terminan por generar una serie de beneficios en la salud física y mental de las personas de manera directa e indirecta, mientras se incentiva la participación real y consciente de abajo hacia arriba (Bottom Up) como eje en el diseño y construcción de infraestructura vial acorde a las dinámicas del ciclismo urbano. Es decir, estos aspectos son elementos que permiten mejorar el bienestar colectivo y aportar a la lucha contra el cambio climático, logrando materializar los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS 2015 relacionados con la movilidad, y propuestos por la Organización de las Naciones Unidas, dentro de la Agenda 2030 [8].

Es así, que esta investigación se sumerge en esta problemática de movilidad actual, analizando factores y elementos de la infraestructura vial que fomentan el uso de la bicicleta en Bogotá, desde la referencia de ser una ciudad reconocida como la capital ciclista de Latinoamérica. A través de métodos cualitativos y espaciales, se buscó entender la perspectiva de colectivos y ciclistas urbanos en relación con la infraestructura vial actual y su influencia en la promoción del ciclismo, tomando como eje inicial la pregunta: ¿Qué factores o elementos de la infraestructura vial promueven el uso de la bicicleta desde una mirada de los colectivos y ciclistas urbanos de Bogotá?.

Por ello, se hace uso de una ruta metodológica que permite analizar y articular las tres variables de análisis desagregadas en dimensiones y subdimensiones, con el trabajo y las actividades de 5 colectivos de ciclistas urbanos autoorganizados -de los más de 20 existentes en Bogotá-, siendo estos uno de los mayores referentes de identidad colectiva entorno a la bicicleta. Así como, 6 ciclorrutas y ciclobandas como ejemplos de bici infraestructura vial construidas, que junto a la participación en los talleres organizados por el Instituto Distrital de Patrimonio Cultural o IDPC, se integraron como estrategias institucionales referentes al ciclismo urbano.

Los resultados arrojan luces sobre la necesidad de incorporar la bicicleta como elemento fundamental de la MUSA, integrando el diseño vial, la participación comunitaria y el enfoque de desarrollo sostenible para lograr sistemas de transporte más equitativos, eficientes y amigables con el entorno. En el que las ciclorrutas a nivel de calzada se convierten en la tipología de infraestructura vial que más se ajusta a las condiciones y características de los ciclistas urbanos de la capital colombiana, mientras promueve su uso, gracias a que articula elementos de exclusividad y segregación, que terminan por detonar trayectos accesibles, universales, conectados, seguros y atractivos. Es decir, posicionar la bicicleta como subsistema de transporte masivo y urbano requiere que el diseño, la construcción y la adaptación de bici infraestructura vial articule el dinamismo del ciclismo urbano con la participación de abajo hacia arriba, como ejes en la construcción de políticas públicas de movilidad contextualizadas; teniendo en cuenta que, sin infraestructura el ciclismo urbano se queda en iniciativa ciudadana.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Determinar los factores o elementos de la infraestructura vial que intervienen en la promoción del uso de la bicicleta, desde una mirada de los colectivos y ciclistas urbanos de Bogotá.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar las características del uso de la bicicleta como medio de transporte en Bogotá.
- Caracterizar a los colectivos de ciclistas urbanos

como escenarios de participación y construcción de comunidad en Bogotá.

- Establecer qué tipo de infraestructura vial promueve el uso de la bicicleta a partir del trabajo realizado con los colectivos y ciclistas urbanos de Bogotá vial desde un enfoque de abajo hacia arriba.

3. Justificación

Esta investigación parte de la premisa que, en zonas periféricas de la ciudad de Bogotá, principalmente en la parte sur y occidental; las localidades de Bosa, Kennedy y Fontibón, concentran la mayoría del 6% de los viajes diarios en bicicleta en cuanto: origen-destino, realizados por personas de estratos bajos y medios [9]. Estas zonas presentan una baja cobertura de transporte público (principalmente en la última milla), permitiendo que la bicicleta se presente con gran potencialidad y logre responder a la desigualdad territorial en materia de movilidad, al disminuir los costos, tiempos y al permitir la intermodalidad en cada desplazamiento.

Su importancia radica en la articulación del diseño de vías exclusivas para la bicicleta con los intereses, necesidades y características de los ciclistas urbanos, integrando su participación y organización colectiva. Lo que permitiría, que los planificadores diseñen rutas y tipos de bici infraestructura, a partir de las características de las personas que usan la bicicleta para desplazarse.

En otras palabras, superar las falencias en el diseño de bici infraestructura vial actual centrado en aspectos instrumentales, técnicos y tradicionales (de arriba hacia abajo o Top-Down), en que los gobiernos, instituciones y personas con experiencia técnica, pero que sin ser ciclistas actúan de manera separada y bajo intereses económicos, que en materia de movilidad se centran en diseñar para el automóvil motorizado (individual y colectivo); y no, para los subsistemas no motorizados como la bicicleta [10]

Lo anterior evidencia la posición de los tomadores de decisión que comúnmente cometen el error de diseñar la ciclovía como una herramienta única y absoluta, condicionada a las dinámicas de los vehículos motorizados, como elementos que promueven un espacio para el pedalear atractivo, seguro y cómodo de manera individual, colectiva y masiva.

Sin embargo, lo que provoca es que los ciclistas urbanos queden confinados en extremos y fragmentos de ciudad, en pequeños carriles (principalmente sobre el andén) que termina por incrementar la competencia, la percepción de la inseguridad y el conflicto con los peatones; y, por ende, con la no promoción de la bicicleta como medio de transporte a nuevos ciclistas, debido a que dicha bici infraestructura resulta poco atractiva, incómoda e insegura. A su vez, la ciudad, la gobernanza y la infraestructura vial no brindan las garantías y el libre desarrollo de una serie de derechos fundamentales de los y las ciudadanas. En palabras de Montezuma:

De esta manera se está vulnerando uno de los derechos fundamentales, el derecho a la vida. La movilidad no motorizada y el espacio público están relacionados con el derecho a la vida más de lo que muchos ciudadanos se pueden imaginar, además de involucrar la protección del medio ambiente, la salud pública, los hábitos de vida saludables, la sociabilidad y la sostenibilidad urbana, entre otros [11, p. 1].

Montezuma hace referencia a que uno de los efectos en las ciudades de la región, las principales víctimas de accidentes de tránsito o siniestros viales son peatones y ciclistas, lo que genera desconfianza y miedo por hacer uso; y si a esto se le suma los robos y hurtos, la bicicleta pierde su atractivo como medio de transporte urbano, aunque mantenga su uso recreativo.

Por consiguiente, esta investigación plantea que al igual que caminar, el ciclismo urbano debe ser reconocido e incorporado al trazado urbano, adaptando la infraestructura vial según velocidades y volúmenes de tráfico, las características de los desplazamientos y de uso en bicicleta y los tipos, necesidades e intereses de los y las ciclistas, por medio de la participación en colectivos que buscan incidir en diseños de trazados viales ciclo-inclusivos, que superen la noción de ciclorrutas sobre el andén, siendo este un elemento de circulación tipo “riel”, de características aisladas e inconexas, que terminan por segregar al establecerse como fragmentos sin conectividad [12].

En otras palabras, el diseño y la construcción de bici infraestructura que predomina en Bogotá es de carácter excluyente, no conecta la vialidad vehicular en su totalidad, similar a un sistema ferroviario, rutas

con un punto de origen y un destino, donde los trayectos carecen de accesos y salidas seguras y de calidad, confinando al ciclista a una pequeña parte del espacio, y algunas veces a espacios sobrantes de la trama urbana y limitando a los subsistemas no motorizados a recorridos cíclicos y de constante conflictos con otros actores viales. Por ello, mediante el uso del estudio de caso se propuso tomar la ciudad de Bogotá, para identificar los factores que permiten la promoción y uso de la bicicleta, a partir de los tipos de bici infraestructura vial construidas (ciclovías y/o ciclobandas).

4. Marco teórico

La investigación propuso un marco teórico de tres dimensiones: MUSA, Comunidad e Infraestructura Vial Urbana con miras a responder la pregunta eje. Una tríada que permite relacionar y orientar el diseño del estudio de caso de enfoque etnográfico, el uso de métodos de recolección de corte cualitativo y espacial (observación y recorridos participativos, entrevistas semiestructuradas, encuesta y cartografía social por medio de STRAVA y QGIS con los procesos de los colectivos y tipos de ciclistas seleccionados; logrando caracterizar una de las formas de participación comunitaria, directa y de identidad colectiva entorno a un vehículo de transporte.

Mientras se identifican los elementos y factores de la bici infraestructura vial de Bogotá, que promueven el uso de la bicicleta, teniendo como base las condiciones y principios básicos del espacio público (accesibilidad y universalidad) para democratizar y redistribuir el espacio que actualmente jerarquiza los desplazamientos, mientras agudiza las externalidades socioambientales del modelo tradicional de movilidad y de ciudad difusa. A su vez, promocionar la construcción de políticas de movilidad probici a partir de procesos de participación tipo Bottom Up, que permitan tomar a la bicicleta como transporte urbano sustentable, activo y masivo en la ciudad.

A su vez, el estudio se enmarca en las discusiones de Desarrollo Sostenible con enfoque de Derechos Humanos, los cuales proponen un proceso de transformación que busca ciudades más humanas y sostenibles, que permitan afrontar la satisfacción de las necesidades del presente sin poner en riesgo las capacidades de las futuras generaciones [13, p. 1].

Teniendo como eje la búsqueda del equilibrio entre el crecimiento económico y el bienestar social donde la escala sea humana, y en el que la adaptación a los nuevos retos sociales, ambientales y económicos busquen superar el tradicional paradigma urbano en materia de desplazamiento, donde el vehículo motorizado privado se ubica como eje en el transporte, siendo este un subsistema generador de una serie de externalidades socioambientales, que ocupa la mayor parte del espacio público. En este sentido, se consultó trabajos de grado (Maestría y Doctorado), libros, artículos y manuales referentes a la movilidad urbana sustentable y activa, la promoción y uso de la bicicleta como medio de transporte, guías de diseño de infraestructura vial y referentes de participación real como ejes de construcción de comunidad.

5. Metodología

La investigación se enmarca en las ciencias sociales, y toma como recurso la descripción e interpretación de distintas dinámicas, a partir de variedad de estrategias y técnicas de recopilación y análisis, que permita aproximar el contexto y explicar algunas características particulares, por medio de una ruta metodológica que defina un procedimiento

que humanice la investigación de manera organizada. De este modo, se toma como base el Estudio de Caso, como eje articulador entre la teoría y la realidad y se presenta una estrategia metodológica que busca la comprensión organizada de los fenómenos sociales, al explorar y resaltar las particularidades que los forman [14].

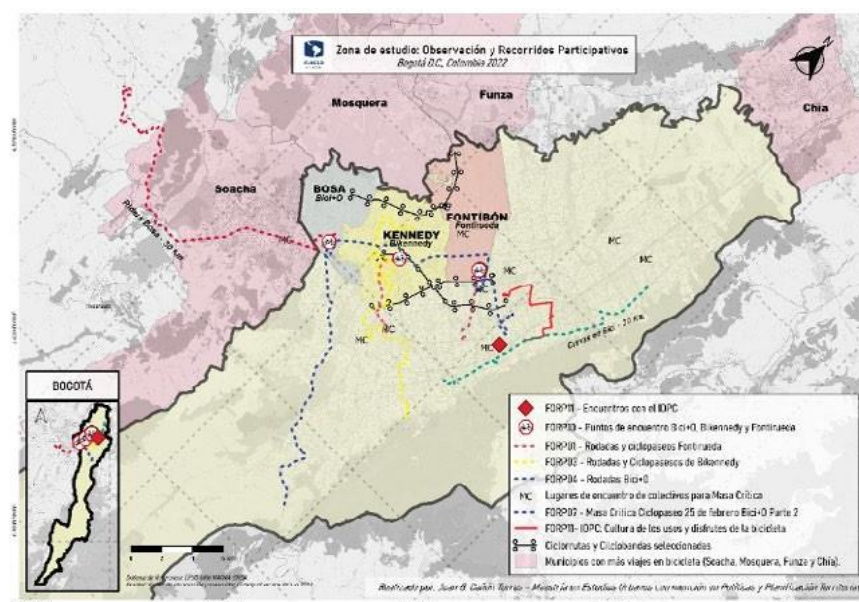
A su vez, se integró el enfoque etnográfico para resaltar la mirada de los ciclistas como “expertos a nivel calle”, convirtiéndose en una estrategia que evidencia las iniciativas de autoorganización y autogestión de los siguientes colectivos de ciclistas urbanos de la ciudad de Bogotá: Bici+O, Bikennedy, Fontirueda, Curvas en Bici, Tía Cleto Bici Escuela y Riders Bosa. En la *figura 1* se pueden ver los logos de estos colectivos. como referentes de identidad colectiva entorno a la bicicleta; 6 ejemplos de bici infraestructura vial: Avenida Calle 13, Avenida de las Américas, Alameda Porvenir, Kennedy Central carrera 78K, Avenida Carrera 68 y Avenida Carrera 50, las cuales se ubican en tres localidades donde se realizan la mayor cantidad de los 880.367 viajes diarios totales en bicicleta de Bogotá, y de los 297.500 viajes de los municipios cercanos al occidente de la ciudad [15], como se evidencia en la *figura 2*.

Figura 4. Módulo Resiliente a 20°C



Fuente: Colectivos de ciclistas urbanos y elaboración propia

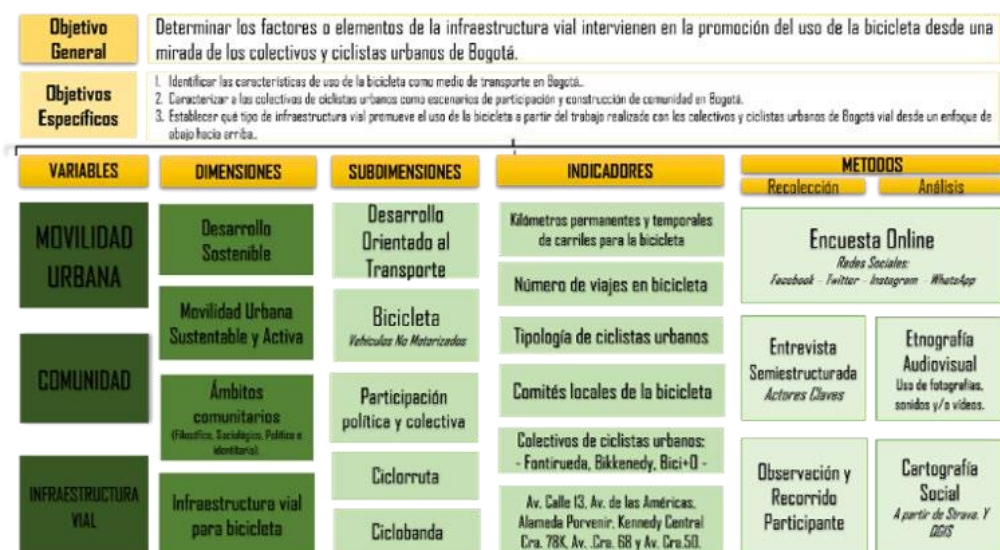
Figura 2. Mapa de zona de estudio



Para ello, se estableció una ruta metodológica de tres variables para materializar y operacionalizar la investigación: Movilidad Urbana, Comunidad e Infraestructura Vial Urbana, desagregadas en dimensiones y subdimensiones: Movilidad Urbana Sustentable y Activa, Desarrollo Sostenible Orientado al Transporte, Tipos de ciclista, Colectivos de ciclistas urbanos y Bici-infraestructura vial. Mientras que al mezclar y aplicar métodos cualitativos y espaciales: 7 entrevistas semiestructuradas a actores claves (5 individuales y 2 grupales); 403 respuestas a una encuesta online publicada por medio de “Biciósfera” en distintas redes sociales (grupos y fan page de Facebook, historias de Instagram y tweets

de Twitter de varios colectivos urbanos, instituciones, eventos y perfiles de referentes de la bicicleta en Bogotá); y 11 fichas de Observación y recorridos participativos de las actividades que autoorganizaban los colectivos dentro y fuera de la ciudad. Se sistematizó, analizó y cartografió la información y el material audiovisual obtenido por medio de STRAVA y QGIS. Lo que permitió la flexibilidad para acceder a la información de los colectivos, y relacionarla con su entorno (bici infraestructura seleccionada), buscando complementar y contextualizar la información oficial (encuesta de movilidad 2019, Ley 769 de 2002, Ley 1811 de 2016, entre otros), en el marco del siguiente modelo de análisis:

Figura 3. Modelo de análisis - Ruta metodológica



Fuente. Elaboración propia.



Fuente: FORP01, FORP07, FORP08 2022.

6. Resultados

Siguiendo las pautas de la ruta metodológica se buscó identificar las características de uso de la bicicleta como medio de transporte en Bogotá y desde los planteamientos de Hernández [16], el cual asevera que los desplazamientos urbanos no derivan de las decisiones individuales o de elección libre, sino que, por el contrario son el resultado de las interacciones entre los atributos individuales y físicos con procesos sociales y territoriales que se encuentran en constante interacción; superando la concepción tradicional de movilidad de los desplazamientos de origen – destino, como un elemento que se observa a simple vista.

En este sentido, resaltar el uso de la bicicleta como medio de transporte urbano sustentable y activo dentro de los procesos de movilidad nativa [17], es un elemento central en la comprensión de la identidad y los comportamientos de los ciclistas, los cuales el 96% resaltan los beneficios y características de usar la bicicleta, mientras se contrarrestan las externalidades socioambientales del modelo de movilidad tradicional. Así como una serie de atributos y beneficios que trae el transportarse en bicicleta.

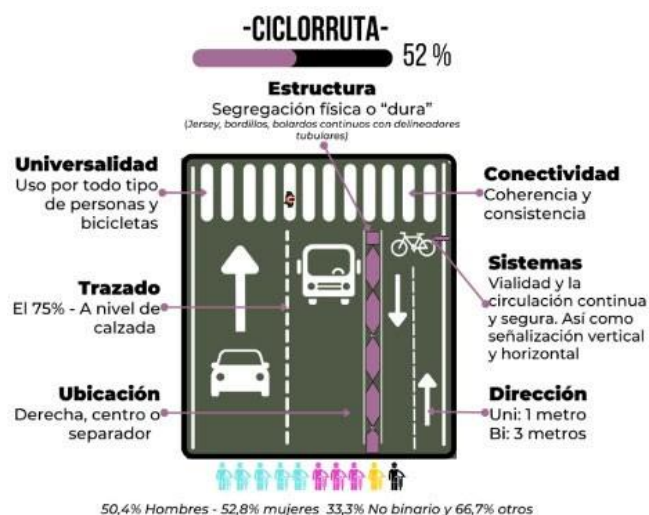
Por otro lado, al hacer uso de la etnografía como método de investigación y análisis visual, esta investigación se centró en caracterizar a los colectivos de ciclistas seleccionados del occidente y suroccidente de Bogotá, como escenarios de participación y construcción de comunidad por medio de caracte-

rísticas comunes y particulares de los y las ciclistas, la información y el resultado de la encuesta, las entrevistas y conversaciones, así como de la observación y participación en las actividades y rodadas, entre los meses de febrero y marzo del 2022.

Por consiguiente, llamar a un colectivo de ciclistas como comunidad, es reconocer una serie de vínculos “espirituales” e identitarios que generan un sentimiento compartido que se resume en un nosotros [18, p. 65]. Es decir, es un tipo de organización que agrupa una serie de elementos de integración que busca la emancipación de la individualización impuesta por el modelo de movilidad tradicional centrada en el vehículo motorizado por medio de la construcción de vínculos que materialicen los intereses, necesidades y gustos comunes a partir del uso de la bicicleta y del ciclismo, al operar dentro de la triple espacialidad (micro, virtual y macro).

Para finalizar, se tomó como base los principios de accesibilidad, comodidad e intermodalidad y los desafíos propuestos por los ODS, como criterios necesarios para la planificación del espacio público y vial; de la triangulación de la información y del trabajo realizado con los colectivos y ciclistas urbanos de Bogotá desde un enfoque de abajo hacia arriba, para establecer el tipo de infraestructura vial que promueve el uso de la bicicleta, la cual es: la ciclo-ruta de calzada con segregación dura, de 3 o más metros de ancho y bi o unidireccional, como se relaciona a continuación:

Figura 4. Elementos de la bici infraestructura que promueven el uso de la Bicicleta en Bogotá



Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta febrero – abril y entrevistas semiestructuradas 2022.

7. Conclusiones

La bicicleta se ha convertido en un elemento territorial y representante de los vehículos no motorizados en Bogotá, fomentando una conexión dinámica entre entornos y significados que resulta en procesos de apropiación. Estos procesos se delinean desde dos perspectivas: En primer lugar, como una acción de transformación donde colectivos de ciclistas territorializan el entorno a través de sus rodadas y recorridos, generando lazos y sentidos de pertenencia. La segunda mirada revela una identificación simbólica arraigada en lo local e individual, donde los desplazamientos diarios se entrelazan con procesos afectivos y cognitivos, forjando interacciones entre ciclistas y colectivos, mediadas por espacios locales, virtuales y globales, y enlazadas a la bicicleta y la infraestructura ciclística.

La apropiación territorial emana de diversas acciones organizadas por ciclistas y colectivos, buscando moldear los espacios urbanos en sus desplazamientos. La participación, como vínculo entre el Estado y la sociedad, se erige como el medio democrático para posicionar a la bicicleta como un vehículo híbrido no motorizado y masivo, desencadenando una apertura de significados y caracterizando los desplazamientos en flexibles y dinámicos, expandiendo las distancias recorridas en comparación con caminar. Además, la bicicleta se convierte en un símbolo de identidad colectiva, trascendiendo a ser un medio de expresión y lucha política para activistas y no activistas.

La construcción de la infraestructura ciclista debe enfocarse en comprender que la bicicleta es un vehículo de movilidad activa, altamente adaptable y accesible, sin emisiones y universalmente disponible en los hogares de Bogotá. Por ello, ante el incremento del tráfico motorizado y la contaminación resultante, la bicicleta emerge como una respuesta eficiente en términos energéticos, climáticos y de salud. Su integración en la MUSA promueve un equilibrio entre ambiente, sociedad y economía, conectando la ciudad de manera humana.

El diseño y adaptación de la infraestructura ciclista que fomenta su uso involucra ciclorrutas interconectadas en la calzada, con 3 metros de ancho y segregación segura. Estas rutas redistribuyen el perfil vial, potenciando trayectos masivos, accesibles y cómodos, aumentando la diversidad de ciclistas urbanos y atrayendo a nuevos usuarios. La bicicleta se convierte en el eje de la mejora de la seguridad vial, la cultura ciclista y la participación bottom-up. Por ello, la integración de la bicicleta en la MUSA de Bogotá busca un cambio cultural hacia una movilidad más sostenible y equitativa. La infraestructura ciclista y la participación comunitaria son claves para este cambio, promoviendo una transformación positiva en la relación entre la ciudad, los habitantes y sus desplazamientos. A través de esta investigación, se destacan áreas de futura exploración, incluyendo la equidad de género, la inclusión de sistemas compartidos de bicicletas y la relación con prácticas culturales y socio-deportivas emergentes en el ciclismo urbano.

8. Referencias bibliográficas

[1] . D. Harvey, *Urbanismo y Desigualdad Social*, España: Siglo Veintiuno Editores, 1977.

[2] C. Lizárraga, «Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI,» *Economía, Sociedad y Territorio* Vol. 6 No. 22, pp. 283-321, 2006.

[3] A. Covarrubias, «Motorización tardía y ciudades dispersas en América Latina,» *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo* Vol. 6, No. 11, pp. 12-43, 2013.

[4] A. Pizarro, «Políticas integradas y sostenibles de movilidad: revisión y propuesta de un marco conceptual,» CEPAL, 2013.

[5] C. Moreno, «Segregación en el espacio urbano de Soacha ¿Transmilenio como herramienta integradora?», *Revista de Arquitectura*, vol. 18, no 1, pp. 48-55, 2016.

[6] M. Á. Medina, C. Álvarez, Y. Clemente y M. Zafra, «Carriles bici: la respuesta de las ciudades ante la pandemia,» *El País*, pp. <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2020-10-27/carriles-bi-ci-la-respuesta-de-las-ciudades-ante-la-pandemia.html?rel=mas>, 27 octubre 2020.

[7] F. Salas, «“Cycle-Space” El paisaje como infraestructura,» 17 julio 2018. [En línea]. Available: <http://lofscapes.com/cycle-space-el-paisaje-como-infraestructura/>. [Último acceso: 6 abril 2021].

[8] M. J. Gamez, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible,» 25 septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>. [Último acceso: 2021].

[9] Secretaría Distrital de Movilidad, «Encuesta de Movilidad,» Alcaldía de Bogotá, Bogotá, 2019.

[10] I. v. Meerkerk, B. Boonstra y J. Edelenbos, «Self-Organization in Urban Regeneration: A Two-Case Comparative Research, » *European Planning Studies*, 21:10, pp. 1630-1652, 2013.

[11] R. Montezuma, «El derecho a la vida en la movilidad urbana y el espacio público en América Latina,» *Inter/secciones urbanas: origen y contexto en América Latina*, pp. 293-300, 13 agosto 2009.



[12] División de Desarrollo Urbano; Ministerio de Vivienda y Urbanismo, *Vialidad Ciclo-Inclusiva: Recomendaciones de Diseño*, Santiago de Chile: Arquitectura y Urbanismo. Espacios Públicos Urbanos., 2015.

[13] ONU, «Objetivos de Desarrollo Sostenible | PNUD,» 2015. [En línea]. Available: <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>. [Último acceso: 14 mayo 2021].

[14] P. Páramo, *Investigación en Ciencias Sociales: Estrategias de Investigación.*, Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2013.

[15] Secretaría de Movilidad, «Encuesta de Movilidad,» Alcaldía Mayor de Bogotá, Bogotá, 2019.

[16] D. Hernández, «Uneven mobilities, uneven opportunities: Social distribution of public transport accessibility to jobs and education in Montevideo, » *Journal of Transport Geography*, vol. 67, no N/A, pp. 119-125, 2019.

[17] G. J. R. Quintero, «Desarrollo Orientado al Transporte Sostenible (DOTS) Una prospectiva para Colombia,» *Bitácora Urbano Territorial* 29 - 3, pp. 59-68., 2019.

[18] A. Torres, *El retorno a la comunidad: Problemas, debates y desafíos de vivir juntos*, Bogotá: Editorial Buho, 2013.

Ufiou – Creamos comunidades para promover la movilidad sostenible

Jaime Andrés Barón Soto

-Ecoapps-

jaime.baron@ecoapps.com.co

Resumen

Uflou, una aplicación innovadora, que crea comunidades para promover la movilidad sostenible en empresas y universidades. Aborda el cambio climático al impulsar hábitos más verdes a través de retos gamificados dentro de los planes integrales de movilidad sostenible (PIMS). La herramienta registra y analiza los viajes de los colaboradores, generando indicadores de reducción de CO2, mejoras en la calidad de vida y ahorro económico. Durante casi 2 años se evitó la emisión de 33 toneladas de CO2, construyendo un indicador donde con la participación de tan solo 25 colaboradores se puede lograr reducir una tonelada de CO2 mensual. Uflou no solo impacta en la movilidad, sino que establece cimientos para la neutralidad de carbono. Un paso hacia un futuro más sostenible.

1. Introducción

Está claro que actualmente estamos viviendo una época de cambios, los efectos del cambio climático se están viendo evidenciados todos los días, desde temperaturas extremas en diferentes partes del mundo, a lluvias torrenciales que no se veían en décadas destruyendo así cualquier predicción realizada. Escuchamos todo el tiempo que debemos como habitantes del planeta reducir las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero), generados principalmente por la quema de combustibles fósiles, pero no logramos entender nuestra participación individual dentro de estos escenarios catastróficos.

En este artículo explicaremos a detalle cómo podemos aportar desde las decisiones de nuestro día a día como individuos a reducir nuestra huella de



carbono personal, mediante los cambios de hábitos en nuestra forma de movernos hacia nuestros diferentes destinos. Así mismo como desde las empresas se puede incentivar a nuestros colaboradores a convertirse en agentes de cambio y promuevan la movilidad sostenible.

Teniendo en cuenta lo anterior desde hace casi 4 años nació Uflou, una aplicación que crea comunidades para promover la movilidad sostenible, principalmente al interior de empresas u organizaciones que estén obligadas o que por convicción propia quieran cambiar los hábitos de sus colaboradores y reducir la huella de carbono en el proceso.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Crear comunidades para promover la movilidad sostenible, mediante la gamificación con colaboradores de empresas o estudiantes de universidades, que permita reducir la huella de carbono personal y corporativa.

2.2 Objetivos específicos

- Diseñar retos mensuales novedosos como estrategia de gamificación dentro de la aplicación Uflou, que incentiven a participar a los colaboradores dentro de la comunidad de movilidad sostenible.
- Documentar de forma efectiva la reducción de huella de carbono de acuerdo con cada tipo de movilidad usado por los colaboradores conectados a la aplicación Uflou dentro de cada comunidad de movilidad sostenible.
- Entregar indicadores a cada comunidad para cualquier intervalo de tiempo, de las estadísticas generadas por cada comunidad, en huella de calidad de vida con datos como número de horas de actividad física, calorías quemadas o kilómetros recorridos y en huella económica con indicadores de número de viajes realizados y ahorro económico.

3. Justificación

Como parte del proceso de encontrar nuestro mercado con Uflou, encontramos a la Red Muévete

Mejor la cual es una comunidad de empresas que trabajan por la movilidad sostenible, y la cual recibe, analiza y aprueba los PIMS de cada entidad pública o privada que decida implementarlos. Al ir conociendo más a detalle cada organización de la red, vimos un común denominador en la mayoría de las empresas o entidades, y era que no tenían una herramienta que les permitiera identificar de forma automática y en línea el resultado de las estrategias ejecutadas en sus comunidades de colaboradores. Muchas trabajan con formatos impresos donde cada colaborador registraba sus ingresos y los cuales después requerían de enormes esfuerzos operativos para su digitalización y análisis.

Es por esto que se iniciaron a partir de 2022 la implementación de pilotos con diferentes integrantes de la Red para validar diferentes hipótesis que teníamos al momento de desarrollar nuestra solución Uflou. Esta estrategia nos permitió ir ajustando nuestro modelo de trabajo, estabilizar cada vez más el rendimiento de la aplicación y gradualmente ir mejorando la experiencia de usuario, pues sin usuarios conectados tanto la aplicación como las comunidades no pueden recolectar la información necesaria.

4. Marco Teórico

La movilidad sostenible se define como la capacidad que tienen los individuos y el colectivo de realizar sus viajes al trabajo, estudio, ocio y por servicios a través de medios de transporte que contribuyen significativamente a mejorar la calidad del aire, recuperar el espacio público, reducir los accidentes viales, acceder a una infraestructura segura e incluyente, optimizar la eficiencia energética de los vehículos, promover comportamientos más amables en la vía, entre otros [1].

En Bogotá de acuerdo con la secretaría de movilidad en su encuesta de movilidad de 2019 [2], se identifica que el 62% de los viajes realizados en la ciudad se realizan de forma sostenible, es decir en transporte público, bicicleta, caminando o en algún vehículo eléctrico como bicicletas, patinetas o motos. Se resalta dentro de esta misma encuesta que en bicicleta se realizan más de 880 mil viajes diarios, donde se aprovechan al máximo los más de 685 kilómetros de ciclorruta que tiene la ciudad.

5. Metodología

¿Cómo funciona Ufiou?

Es importante entender cómo funciona esta aplicación, una vez la empresa decide documentar sus planes de movilidad sostenible con esta herramienta, los colaboradores deben descargarla y registrarse dentro de la comunidad (Empresa) a la cual pertenecen. Una vez se hayan inscrito deberán empezar a registrar cada uno de sus viajes caminando, bicicleta, transporte público o eléctricos (patinetas, bicis o motos).

Cada viaje registrado por los colaboradores alimenta un tablero de control (Dashboard), al cual accede la empresa e identifica en línea todos los indicadores que a continuación describimos:

Huella de carbono

Reducción de huella de carbono: Cada viaje registrado de acuerdo con el número de kilómetros recorridos y el tipo de movilidad en que se realizan, generan una reducción de emisiones de CO₂, el cual se expresa en kilogramos de CO₂ reducido. El usuario administrador de la empresa podrá ver dentro del dashboard la gráfica de reducción de emisiones por mes y un indicador del total de kilogramos de CO₂.

Equivalencias: Entendemos que para la mayoría de los usuarios no es tan claro que tan importante es reducir un kilogramo o una tonelada de CO₂, por lo que decidimos incorporar 3 equivalencias con indicadores sencillos que podamos identificar fácilmente en lo que vemos a nuestro alrededor o hacemos en nuestro día a día, las equivalencias son:

- Número de smartphones cargados
- Número de plántulas sembradas.
- Número de bolsas de basura recicladas.

Estas equivalencias están enlazadas directamente con los kilogramos de CO₂ dejados de reducir por cada usuario y por la comunidad en general.

Huella de calidad de vida

Kilómetros Recorridos: este indicador muestra la cantidad de kilómetros recorridos por toda la comunidad.

Viajes realizados: Cada que un usuario inicia o finaliza un recorrido, se cuenta como un viaje realizado,

Actualmente en Colombia de acuerdo con el IDEAM [3] el 43% de los gases efecto invernadero son producidos por transportes tradicionales, por lo que en el proceso de reducir nuestra huella de carbono personal en nuestro día a día debemos tener especial cuidado en cómo nos movilizamos en nuestros recorridos diarios. Está claro que tomar esta decisión de forma autónoma no siempre es fácil, pues el cambio de hábitos genera cambiar nuestras rutinas diarias, lo cual puede generar algo de incomodidad al principio.

Dentro de las estrategias distritales para cambiar los hábitos de los ciudadanos desde el sector público y privado se resaltan 2, los PIMS (Planes Integrales de Movilidad Sostenible) liderados por la Secretaría De Movilidad de Bogotá y los PMES (Planes de Movilidad Empresarial Sostenibles) liderados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Los PIMS son obligatorios para las entidades de nivel central, descentralizado y el de las localidades del distrito según el decreto 037 de 2019 [4], mientras los PMES creados mediante resolución metropolitana 1379 de 2017 [5] y 756 de 2023 [6], van más allá y extienden esta obligatoriedad a entidades públicas o privadas con más de 200 colaboradores (directos e indirectos), incorporando una meta de reducción de emisiones de CO₂ del 20% en sus 2 primeros años de implementación.

Ambos planes plantean dentro de sus procesos de implementación una encuesta inicial la cual permite identificar los tipos de movilidad utilizados por sus comunidades de colaboradores. De esta forma se pueden definir estrategias para promover la movilidad sostenible en este grupo objetivo, como pueden ser la promoción de la bicicleta, caminar o carro compartido. Ambos planes deben ser actualizados cada 2 años y se debe identificar la progresión en indicadores resultado de las estrategias ejecutadas en cada empresa. Por lo que las empresas se convierten en esos canales dentro de la ciudad para implantar una conciencia de impacto en el cambio de hábitos y por ende la reducción de huella de carbono.

por lo que en este indicador se refleja el número total de viajes realizados por la comunidad, y se presenta una gráfica mensual de viajes realizados.

Horas de actividad física: De acuerdo con el tiempo de cada uno de los viajes registrados de los usuarios se construye este indicador el cual aparece reflejado en número de días, horas y minutos.

Calorías quemadas: Para los viajes realizados en bicicleta y caminando, se calcula el indicador de calorías quemadas, relacionado con la actividad física que se realiza en estos recorridos.

Tráfico por horas: De acuerdo con la hora de inicio de cada uno de los viajes, se crea una gráfica que identifica por cada hora del día cuántos viajes se realizan.

Medios de transporte: Dado que el usuario elige el tipo de transporte que utiliza en cada recorrido, se distribuye por números de viaje de mayor a menor cuales son los tipos de transporte más utilizados en una gráfica.

Género: En el formulario de registro les preguntamos a los usuarios su género, para establecer en proporción de la totalidad de usuarios, cuál es el género que más prevalece en las comunidades.

Huella económica

Este indicador se construye con el número de viajes que se realizan en vehículos eléctricos, bicicleta o caminando, reflejando el ahorro que tienen estos usuarios al no usar transporte público. Su unidad está en pesos y muestra el ahorro en pasajes de Transmilenio o SITP.

Puntos clave

Dentro del proceso de crear comunidades para promover la movilidad sostenible, debemos tener en cuenta los siguientes puntos clave, los cuales se deben ejecutar para tener un resultado favorable dentro de los PIMS o PMES.

Gamificación

La gamificación es importante para conectar con los usuarios y que se sientan recompensados por pertenecer a esta comunidad de movilidad sostenible, en este punto la estrategia utilizada se enfocó en hacer retos mensuales con cada una de las em-

presas conectadas, en donde con los indicadores de la aplicación entregamos premios a quienes ganaran, por ejemplo, los usuarios que más kilómetros recorrieran por tipo de movilidad.

Rápidamente fuimos identificando que los retos no podían mantenerse fijos durante todo el tiempo, es decir que debe cambiarse mes a mes, pues cuando los manteníamos igual varios meses, resultaban ganadores casi siempre los mismos usuarios, lo cual desmotivaba a los demás participantes, y cuya consecuencia se veía reflejada en el número de usuarios activos.

Sabemos que cuando un usuario desea cambiar sus hábitos de movilidad, usualmente va generando el nuevo hábito gradualmente, es decir que no se hace de un día para otro, sino que toma más tiempo. Por lo tanto, por sugerencia de una de las personas del equipo, decidimos crear un reto mínimo por ejemplo recorrer 10 km al mes, lo cual ya te hacía merecedor de participar en un sorteo de un premio, sin necesidad de quedar en las primeras posiciones del ranking.

Es importante identificar las motivaciones de los colaboradores que hacen parte de estas empresas, pues se pensaba al inicio del proyecto que los premios eran la única motivación para vincularlos a usar la aplicación, sin embargo, mediante las premiaciones y conversaciones con los usuarios conectados, identificamos 3 tipos de motivaciones:

Ganar premios: Estos usuarios son los que participan principalmente por la posibilidad de ganar un premio y repercute mucho en ellos la diversidad de los premios y la flexibilidad de obtenerlos.

Acumular kilómetros: Estos usuarios están más enfocados en retarse a sí mismos, y competir con los demás usuarios, les interesa bastante cuantos indicadores acumulan día a día volviéndose así fanáticos de los datos.

Huella de carbono: Esta motivación la descubrimos con agrado, pues no la teníamos dentro de nuestras posibilidades, y nos dimos cuenta de que algunos usuarios valoraban el conocer cuánto estaban reduciendo de huella de carbono personal junto con las equivalencias. Estos usuarios son los que quieren tomar acción y poner su grano de arena en la lucha contra el cambio climático.



Comunicación

El segundo factor clave es la comunicación, pues al momento de lanzar estos planes, se debe crear una campaña digital y presencial que dé a conocer a los colaboradores de esta nueva iniciativa, y los motive a incorporarse dentro de esta comunidad.

Las campañas se manejaron en 3 fases, expectativa, lanzamiento y seguimiento, todas estas se construyeron con base en el tipo de colaborador de cada empresa, pues el objetivo principal es llegar a la mayor cantidad de colaboradores. Por lo tanto, las piezas a diseñar y los canales de divulgación se cambiaban de una empresa a otra, pues mientras un estudiante de universidad tiene acceso a diferentes canales como redes sociales, mailing, banners web, campus y WhatsApp, un operario de una planta en su día a día no se enteraría nunca de que se lanzó este programa si usamos la misma campaña que con el estudiante. Por lo anterior resulta imperativo definir junto con la empresa cuales son los canales más efectivos para lanzar el programa.

En la fase de seguimiento, la estrategia se enfoca en comunicar semanalmente por los canales definidos, piezas donde se mostraba quienes iban liderando los retos y los indicadores generales de la comunidad, esto con el objetivo de mantener conectada e informada a la comunidad con el programa.

Dentro de esta fase también creamos un canal nuevo que estuvimos probando con varias empresas, consistente en una landing page donde se subía información más detallada de cómo participar, tutoriales de la app, el reto vigente del mes, las clasificaciones e indicadores semanales, video casos de testimonios con los ganadores de los retos y contenido de valor enfocado principalmente en seguridad vial.

Seguimiento de datos

La frase de “Lo que no se mide no se puede mejorar”, cobra mucho sentido en estos programas pues es

de vital importancia hacer un monitoreo periódico con las empresas, para identificar si las estrategias implementadas han tenido un buen resultado con los indicadores recopilados en el dashboard, por lo que según disponibilidad de la empresa se hacían reuniones periódicas quincenales o mensuales.

En estas reuniones se evalúan los indicadores del mes en comparación con los meses previos, se identifican posibles factores que estén influyendo en los resultados, se llevan recomendaciones y se toman decisiones que ayuden a mejorar los indicadores del programa.

Certificaciones

Para las empresas es muy importante que la data obtenida dentro de los programas esté sustentada técnicamente, motivo por el cual se recibió por parte de la secretaría de movilidad de Bogotá, certificación de que la reducción de emisiones entregada por la aplicación estaba alineada con los indicadores de factores de emisión definidos por esta entidad. Lo cual genera tranquilidad ante los resultados obtenidos.

6. Resultados

Empresas conectadas

Las empresas conectadas al proyecto fueron las siguientes, clasificadas en distintas categorías

- **Universidades:** Santo Tomas, Distrital Francisco José de Caldas, UNAD.
- **Públicas:** Empresa de Renovación y Desarrollo Urbano, Subred Integrada de Servicios de Salud Sur
- **Privadas:** SURA, Movistar y Piaro Printing & Packaging.

Los resultados obtenidos desde el 1 de enero de 2022 al 26 de agosto de 2023 fueron los siguientes:

Tabla 1. Resultados obtenidos desde 01/01/2022 al 26/08/2023

Indicadores	Resultados
CO2 dejado de emitir	33 toneladas
Smartphones Cargados	17.079.996
Plántulas de árboles sembradas	502
Bolsas de basura recicladas	1.507
Kilómetros recorridos	241.292
Viajes Realizados	24.490
Horas de actividad física	136.433
Calorías Quemadas	283.177
Género	56 % Femenino 44% Masculino
Huella económica	Transmilenio \$24.358.800 SITP \$22.520.400
Horas de mayor tráfico	6 y 7 am / 5 y 6 pm

Fuente. Elaboración Propia - Uflou

7. Conclusiones

- Se lograron crear 30 retos mensuales novedosos, cambiando la dinámica mes a mes, incluso se creó un tipo que se denominó reto “Cambio de Hábitos” donde se cumple un mínimo de indicadores para participar en un sorteo.
- Se dejaron de generar 33 toneladas de CO2, estos indicadores están alineados y certificados con la Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá por cada tipo de transporte.
- Las estadísticas en línea generadas y mostradas en los resultados del proyecto, evidencia que se documentó a detalle cómo cada comunidad se movía de forma sostenible.

8. Impactos a corto, mediano y largo plazo

Gracias a este proyecto hemos identificado que 25 colaboradores conectados a Uflou pueden reducir 1 tonelada de CO2 al mes, por lo que consideramos que con este indicador podemos lograr que las empresas incorporen dentro de sus estrategias de carbono neutralidad los planes de movilidad sostenible, los cuales con una inversión más baja pueden lograr grandes resultados.

9. Referencias bibliográficas

- [1] Área Metropolitana Del Valle De Aburrá, GUÍA PARA LA FORMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE PLANES DE MOVILIDAD EMPRESARIAL SOSTENIBLE 2.0, Medellín: Área Metropolitana Del Valle De Aburrá, 2020.
- [2] Secretaría de Movilidad de Bogotá, «Encuesta de Movilidad 2019,» Secretaría de Movilidad de Bogotá, Bogotá, 2019.
- [3] 1. IDEAM 2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO 3. Universidad Nacional de Colombia, «INVENTARIO NACIONAL Y DEPARTAMENTAL DE GASES EFECTO INVERNADERO,» .PUNTOAPARTE, Bogotá, 2016.
- [4] Alcaldía Mayor de Bogotá, Decreto 037 de 07 FEB 2019, Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá, 2019.
- [5] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Resolución Metropolitana 1379 de 2017, Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2017.
- [6] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Resolución Metropolitana 756 de 2023, Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2023.

TRANSPORT RAANSPORTE



Pictograma Prudencia

Omar Fernando Mateus Pineda, Angela María Caicedo Castillo, Sandra Patricia Giraldo Clavijo, Nathaly Patiño González

- Secretaría Distrital de Movilidad -
Subdirección de semaforización-

ofmateus@movilidadbogota.gov.co,
amcaicedo@movilidadbogota.gov.co,
sgiraldo@movilidadbogota.gov.co,
npatino@movilidadbogota.gov.co

Resumen

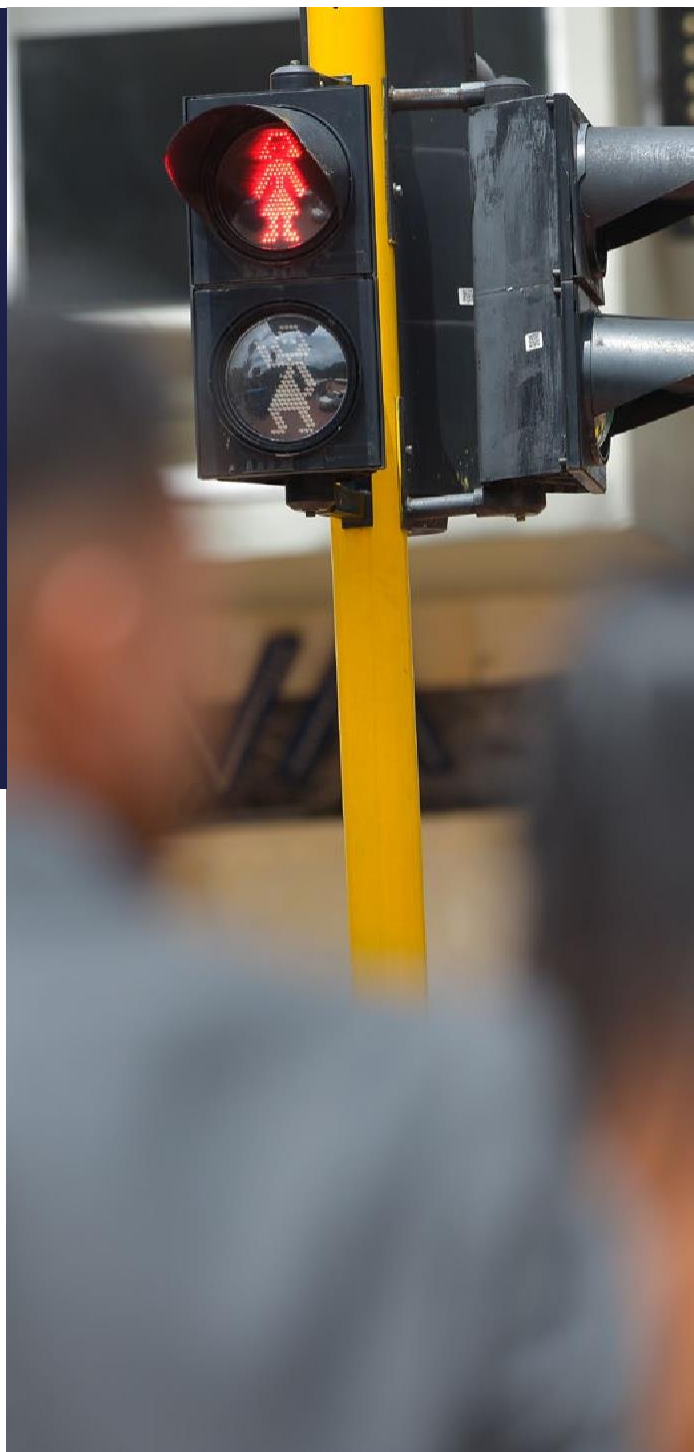
El Sistema de Semaforización Inteligente de Bogotá SSIB con el que cuenta la capital de Colombia dispone de una tecnología de punta comparable con los mejores del mundo. Este sistema inició su implementación en el año 2016 y entre sus objetivos más ambiciosos fue además de modernizar la antigua red de semaforización de la ciudad, disponer de una única central para monitorear el tránsito en tiempo real y, adoptar la programación al tráfico en sistemas adaptativo y responsivo condiciones éstas, que conllevan a mejorar las condiciones de movilidad de la ciudad.

Otra de las innovaciones que arrojó el SSIB fue la inclusión de un pictograma para los semáforos peatonales el cual es reconocido como “Prudencia”, este nombre fue elegido por los capitalinos a través de votación por más de 135.000 personas en el año 2019.

1. Objetivo

Identificar el Sistema de Semaforización Inteligente de Bogotá SSIB como un sistema que busca promover la equidad de género y reconocer la participación de la mujer en la vía. Cabe anotar, que en cuanto a género de personas lesionadas en Bogotá (entre enero y abril de 2023) el 65 por ciento de los heridos fueron hombres, mientras en las mujeres el porcentaje fue de 34%. Este pictograma representa la vida, el respeto, y amabilidad de la mujer en la vía y simboliza el futuro y la apuesta de movilidad inteligente de la ciudad.

La inclusión de un ícono peatonal para la ciudad en el SSIB deja a Bogotá en semejanza con grandes ciudades del mundo como por ejemplo al Ampelmann o Ampelmännchen de Alemania.

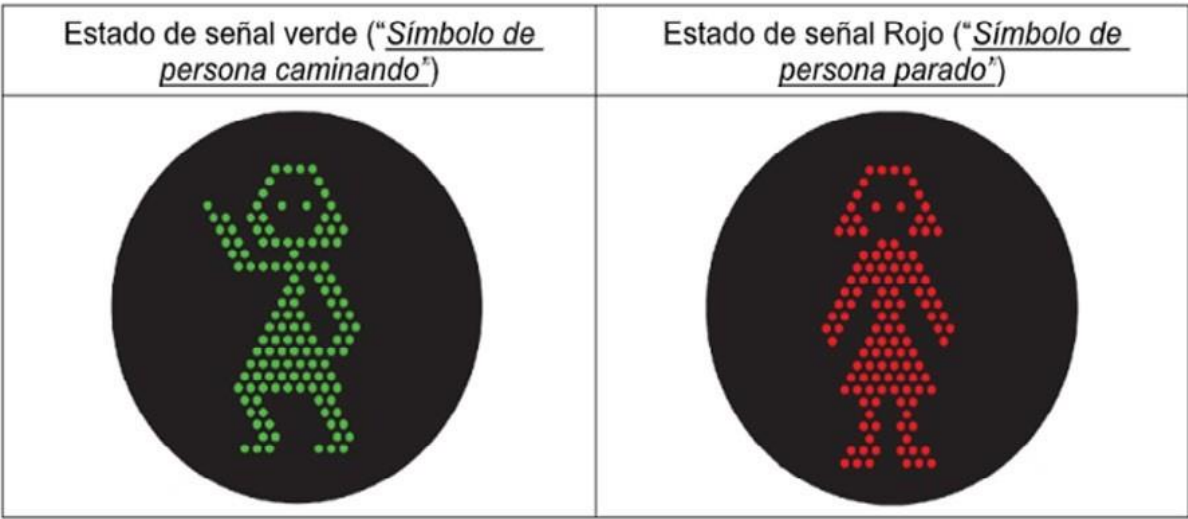




2. Justificación

El enfoque de género también puede abordarse desde la visibilización de la diversidad en el diseño del espacio público de la ciudad, además del símbolo masculino, Prudencia también hace parte del innovador SSIB.

Figura 1. Pictograma peatonal Prudencia



Fuente: Subdirección de semaforización- Secretaría Distrital de Movilidad

3. Metodología

La metodología para la búsqueda del nombre de la peatona, como nuevo símbolo de la semaforización inteligente en la ciudad se dio mediante una convocatoria que abrió la Secretaría Distrital de Movilidad donde los ciudadanos eligieron su nombre. Las alternativas fueron seis nombres, cada uno, con un significado especial, para que los ciudadanos, a través de internet o en unos puntos específicos de la ciudad, votaran por el que más los identificara. Las alternativas fueron:

Cachaca: Se refiere a quien lleva a Bogotá en sus venas, su ciudad es la esencia de su personalidad, ser cachaco es ser Bogotá.

Electra: Es una persona brillante, que con su gran energía logra inspirar a todo mundo a seguir sus pasos.

Luz: Personaje que deslumbra en cualquier lugar, que tiene una chispa de buena actitud que contagia a los demás.

Prudencia: Quien piensa antes de actuar, analiza los pros y los contras de cualquier situación.

Rola: Es la persona que siente a su ciudad con gran orgullo y no le da pena mostrarla ante el mundo. Ella es su barrio, es su calle y es su ciudad.

Tránsito: es la persona a quien le gusta dirigir a los demás por el buen camino, se preocupa por todos sin dejar a nadie atrás, ya que su tarea es ayudarlos a todos.

4. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos de la votación de los ciudadanos por cada uno de los medios propuestos se encuentran en la *tabla 1*.

Tabla 1. Resultados Votación para la selección del nombre



Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá (2023), Generalidades Sistema de Semaforización Inteligente de Bogotá - SSIB, Bogotá.[2]

Metas

Al finalizar el contrato “Implementación del Sistema de Semáforos Inteligente”, es decir a finales de diciembre de 2021, se tenían 927 intersecciones donde se contaba con al menos un pictograma de peatona. No obstante, para las nuevas intersecciones semaforizadas, se proyecta implementación de pictograma peatonal Prudencia y para el caso de las intersecciones existentes, el cambio se realizará cuando termine la vida útil de los actuales semáforos peatonales instalados tipo LED. [1]

5. Conclusiones e impactos

El nuevo ícono de la movilidad inteligente representa un llamado a la prudencia como comportamiento vial ideal en el marco de la seguridad vial que coadyuva con iniciativas como Visión Cero (Política internacional que rechaza la pérdida de vidas en el tráfico y se alinea con la movilidad sostenible). Aunado a lo anterior, la definición del pictograma “Prudencia” busca generar sentido de pertenencia y de buen comportamiento vial de los bogotanos y consolidar dicha imagen como una Marca Ciudad que sirva de referencia a nivel distrital y mundial como se ha hecho en ciudad de México (con su marca registrada de “Rey Peatón”) y como en Alemania con los pictogramas del “Hombrecillo del Semáforo” (en alemán “Ampelmännchen”) de los cuales incluso han hecho distintas versiones.

6. Referencias bibliográficas

[1] Secretaría Distrital de Movilidad, 2023, Generalidades del Sistema de Semaforización De Bogotá -SSIB, Bogotá.

[2] Secretaría Distrital de Movilidad, 2019. Bogotá estrena ícono mujer en semáforos peatonales inteligentes.

https://www.movilidadbogota.gov.co/web/Noticia/bogot%C3%A1_estrena_%C3%ADcono_mujer_en_sem%C3%A1foros_peatonales_inteligentes



El control como herramienta para optimizar el uso del espacio público en las Zonas de parqueo pago. Una mirada de las acciones implementadas por los agentes civiles de tránsito y transporte.

Jack Hurtado; Mónica Riscanevo; Adriana León

- Secretaría Distrital de Movilidad -
Subdirección de Control de Tránsito y
Transporte-

jhurtado@movilidadbogota.gov.co,
mriscanevo@movilidadbogota.gov.co
aleonr@movilidadbogota.gov.co

Resumen

La Secretaría Distrital de Movilidad en el 2021 inició la operación del proyecto “Zonas de Parqueo Pago (ZPP)” debido a la problemática de invasión indebida de automóviles y motocicletas. Objetivo: Analizar la contribución de las acciones de control implementadas por los Agentes Civiles de Tránsito y Transporte (ACTT) en el uso de las ZPP. Método: Se definió una ZPP crítica y se establecieron dos escenarios: antes y después de la implementación del control, se analizó la imposición de comparendos por invasión de espacio público y las tasas de ocupación en las ZPP evaluando el espacio recuperado y los posibles potenciales usuarios. Resultados: Se evidenció que con la implementación del control la tasa de ocupación de la ZPP aumentó recuperando el espacio público en la zona de influencia. Conclusiones: se infiere que con el control se persuada a los actores viales y se aporte en la mejora de la movilidad.

1. Introducción

Uno de los grandes problemas de la movilidad urbana es la invasión de espacio público, principalmente, por automóviles y motocicletas, lo que trae consigo externalidades (congestión vial y siniestralidad) que afectan a los demás usuarios. Diversos estudios han demostrado que una medida para gestionar el espacio público, organizar la movilidad, reducir la congestión y generar recursos públicos para contribuir a otros modos de transporte es la denominada “Zona de Parqueo Pago (ZPP)”

Para el caso de Bogotá, el 25 de octubre de 2021 se dió inicio al contrato de ZPP mediante el Acuerdo Distrital 695 de 2017 [1] donde se autoriza por parte



de la Secretaría Distrital de Movilidad a la Terminal de Transporte S.A. para ejecutar la implementación, administración, operación, explotación y control de la Operación Pública del Servicio de Estacionamiento en Vía, siendo áreas en las cuales se permite el estacionamiento de vehículos en vía a cambio de un pago por el uso de estos espacios. Con estas, se garantiza que el espacio público tenga un uso adecuado y eficiente, se organiza la movilidad, se espera reducir la congestión vehicular y se generan recursos públicos para fortalecer el Sistema Integrado de Transporte Público de la ciudad [2].

Al respecto, se deben generar acciones encaminadas a promover el uso correcto del espacio público mediante la aplicación de la normatividad en materia de tránsito y transporte, para lo cual, el control implementado por los Agentes Civiles de Tránsito y Transporte (ACTT), está encaminado principalmente a salvaguardar la vida de todos los actores viales mediante la promoción del correcto uso del espacio público y en este estudio a partir de una oferta de parqueo en vía autorizada.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

- Determinar la relación entre las acciones de control adelantadas por los Agentes de Tránsito y Transporte y la optimización del uso del espacio público en las zonas de parqueo pago autorizadas en la ciudad de Bogotá.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar la ZPP crítica con baja tasa de ocupación y alta invasión de espacio público en su zona de influencia.
- Validar la tasa de imposición de comparendos por invasión de espacio público y la tasa de ocupación del estacionamiento autorizado en vía para los escenarios antes y después de los controles operativos en vía.
- Establecer la cantidad de vehículos (automóviles y motocicletas) que podrían dejar de ocupar indebidamente el espacio público y convertirse en potenciales usuarios de las ZPP.

3. Justificación

Según el Acuerdo distrital 257 de 2006 [3] la Secretaría Distrital de Movilidad, formular y orientar las políticas, planes, programas y proyectos en materia de gestión y regulación del tránsito, con el propósito de mejorar las condiciones de movilidad de los diferentes actores viales, y vigilar el cumplimiento de la normatividad de tránsito.

En consonancia con lo anterior, el distrito implementó el proyecto de ZPP teniendo en cuenta que en la ciudad se presenta el estacionamiento de vehículos en lugares prohibidos como un fenómeno creciente. Por tanto, el sistema de estacionamiento fue concebido como una solución operativa y tecnológica de gestión de la demanda de transporte, con un sistema de pago automatizado cuyo objetivo es mejorar la movilidad, recuperar el espacio público, generar ingresos para la ciudad y transformar la experiencia de los actores viales, mediante el ordenamiento del estacionamiento en vía.

En consecuencia, entre las diferentes actividades de control implementadas por los ACTT como autoridad de tránsito del orden distrital y en ejercicio de sus funciones de acuerdo a lo establecido en el Código Nacional de Tránsito CNT [4], se ha ejercido el control en los sectores donde se encuentran habilitadas las ZPP. Es de mencionar que, cerca de 235 conductores son sancionados en promedio al día por este comportamiento, representando esta infracción alrededor del 12% del total de comparendos que se imponen en vía.

Por lo anterior, es necesario analizar la contribución de las acciones de control implementadas por los ACTT en el uso de las ZPP y la optimización del espacio público con el fin de modificar los patrones de conducta de quienes lo invaden, fomentando el uso de los cupos disponibles en los tramos habilitados para el estacionamiento en vía y como consecuencia, la mejora en las condiciones de movilidad del área de influencia.

4. Marco Teórico

En diversas ciudades se ha logrado la implementación exitosa de las ZPP en el marco de políticas pú-

blicas que promueven el transporte sostenible buscando con ello, reducir el uso del automóvil [5]. Así, se ha demostrado que la correcta administración del estacionamiento en vía y fuera de vía tiene un impacto positivo en la movilidad urbana, especialmente en las zonas críticas en materia de congestión vehicular.

La normatividad vigente legal y técnica que soporta la implementación de estas áreas es: Decreto 323 de 1992 “por el cual se reglamentan las zonas viales de uso público...”, el Acuerdo 223 de 2006 por el cual se expide el Plan Maestro de Movilidad, el Decreto 552 de 2018 “por medio del cual se establece el Marco regulatorio del Aprovechamiento Económico del Espacio Público”, el Decreto 379 de 2021 por medio del cual se determina el funcionamiento de las áreas de la ciudad...”, la Resolución 169570 de 2022 por la cual se define la tarifa para el estacionamiento en vía para las zonas de implementación” y la Ley 769 de 2002 por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito CNT.

Por otro lado, en los Artículos 2 y 7 del CNT respectivamente, se establece que los organismos de tránsito son unidades administrativas municipales distritales o departamentales que tienen por reglamento la función de organizar y dirigir lo relacionado con el tránsito y transporte en su respectiva jurisdicción

y que cada organismo de tránsito contará con un cuerpo de agentes de tránsito.

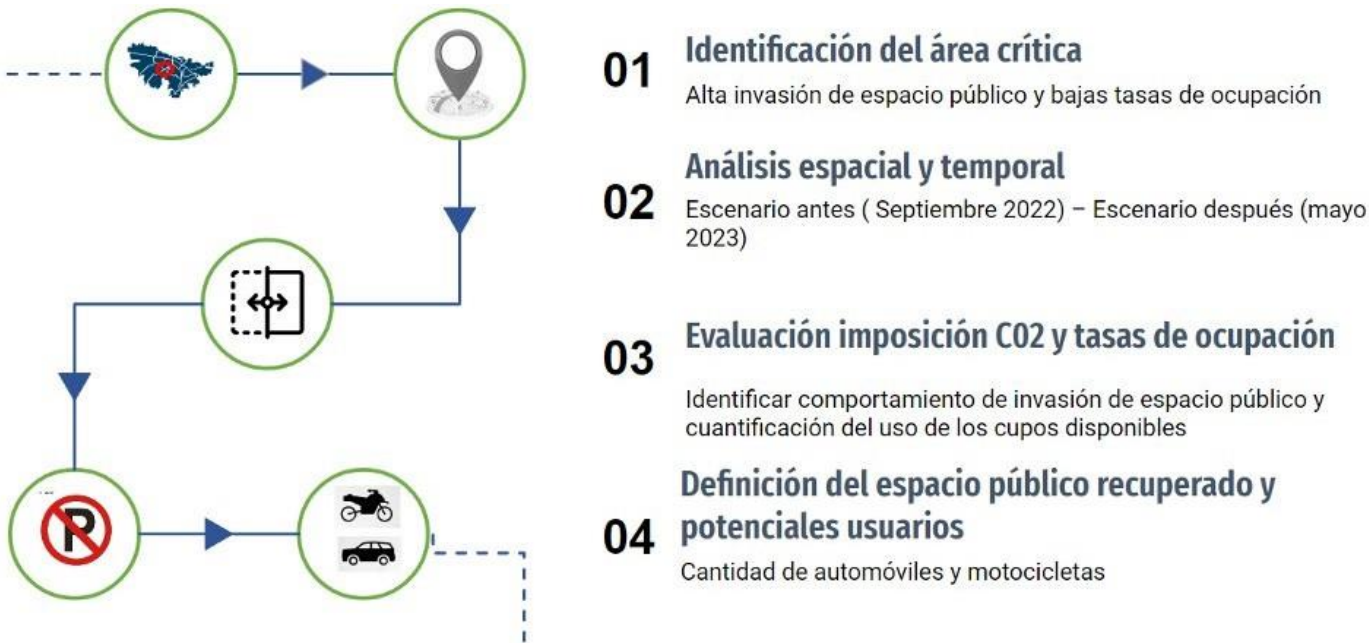
Teniendo en cuenta lo anterior la SDM en el año 2020 inicia la conformación de un cuerpo operativo y logístico de personal civil identificado e investido de autoridad de tránsito denominado Cuerpo Especializado de Agentes Civiles de Tránsito y Transporte ACTT, sustentado en la normatividad vigente aplicable principalmente en la Ley 1310 de 2009 mediante la cual se unifican normas sobre agentes de tránsito y transporte y grupos de control vial de las entidades territoriales y se dictan otras disposiciones.

Así, con el fin de garantizar el uso correcto de las ZPP, se establece en el Artículo 76 del CNT, los lugares prohibidos para estacionar, por lo cual la Autoridad de Tránsito en vía ejerce el control y fiscalización a los vehículos que se estacionen en lugares prohibidos mediante la imposición de la orden de comparendo C.02 “Estacionar en sitios prohibidos” y procederá a la inmovilización del vehículo en caso de que el propietario o conductor no esté presente.

5. Metodología

En la *Figura 1* se presenta un esquema de los pasos de la metodología utilizada

Figura 1. Esquema de la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto



5.1 Contexto

Actualmente, operan 12 Áreas de ZPP en Bogotá las cuales, de acuerdo con la demanda de estacionamiento, la seguridad ciudadana y operacional y la invasión de espacio público por estacionamiento, se consideraron viables para su implementación. Al respecto, de acuerdo con el análisis de los criterios de alta invasión de espacio público y bajas tasas de ocupación de los cupos disponibles de las 12 áreas de implementación, para la presente investigación se identificó el área 7 como crítica la cual concentró un total de 1.509 órdenes de comparendo por invasión de espacio público en el año 2022 y presentó tasas de ocupación en las ZPP menores a 50%.

El área 7, se localiza en la localidad de Teusaquillo y convergen distintos equipamientos de salud, recreativos, educativos y comerciales. Los tramos de estudio se ubican en: KR 27 entre CL 26 y CL 27, CL 27 entre KR 25 y KR 27, CL 27 entre KR 24 y KR 25 y KR 27 entre CL 27 y CL 27 A con un total de 38 cupos habilitados para estacionamiento en vía: 21 y 17 cupos para automóviles y motocicletas, respectivamente.

5.2 Análisis de resultados

Análisis espacial y temporal de la ZPP crítica

El área 7 inició operación el 22 de junio de 2022 y teniendo en cuenta que los ACTT comenzaron su labor de control alrededor de esta área en octubre de este mismo año, se determinó tomar el mes de septiembre 2022 como escenario Antes “A”. Con base en la información de seguimiento que adelanta la Terminal de Transporte de las tasas de ocupación se estableció el mes de mayo 2023 como escenario después “D”.

Evaluación de las variables imposición de comparendos C02 y tasa de ocupación de los cupos disponibles para estacionamiento en vía autorizado (%) en los escenarios antes y después del control por ACTT para las tipologías vehiculares de automóviles y motocicletas.

Se realiza un análisis espacial del área crítica y se georreferencia la cantidad de comparendos C02 en el escenario “A” y “D”. Esto, con el fin de identificar el

comportamiento en cuanto a la invasión de espacio público en las áreas. Por otra parte, la tasa de ocupación, es una variable que permite cuantificar la utilización de los cupos disponibles, la información se relaciona con la base de datos suministrada por la Terminal de Transporte de Bogotá.

Emisión de resultados respecto de la variación en la tasa de ocupación (%), cuantificación del espacio público recuperado (m²) y cantidad de vehículos que podrían ser potenciales usuarios de ZPP (cantidad de automóviles y motocicletas).

Se calcula la variación de las tasas de ocupación de los cupos disponibles para estacionamiento autorizado y se determina si hubo recuperación de espacio público con base en la diferencia de áreas ocupadas “A” y “D” a los conductores de vehículos sancionados por la infracción C.02 según su tipología. Finalmente, se establece la cantidad de vehículos (automóviles y motocicletas) que podrían dejar de ocupar indebidamente el espacio público y convertirse en potenciales usuarios de las ZPP teniendo en cuenta la relación entre el área recuperada (m²) y el área de los cajones de las ZPP, empleando 13.75 M² para automóviles y 3.75 M² para motocicletas.

6. Resultados

Realizando un comparativo entre los escenarios “A” y “D” se evidencia que en el escenario “D” de la presencia e inicio de actividades de control por los ACTT, hay una disminución de las sanciones por C.02 en el área crítica de -15.28%. Así, se evidenció que hay un 20% menos de ocupación indebida del espacio público por parte de motocicletas.

Por otra parte, se incrementó en un 32% la tasa de ocupación promedio de los cupos disponibles para estacionamiento en dicha área. Asociado a lo anterior, se tuvo una recuperación de área de espacio público indebidamente ocupado de 110 M² para automóviles y de 11.25 M² para motocicletas. Es posible precisar que, 8 automóviles y 3 motocicletas serían la cantidad de vehículos que dejaron de usar indebidamente el espacio público y pueden convertirse en potenciales usuarios de los cupos de estacionamiento disponibles en el área crítica.

Figura 2. Localización del área crítica y concentración de comparendos por invasión de espacio público - C02

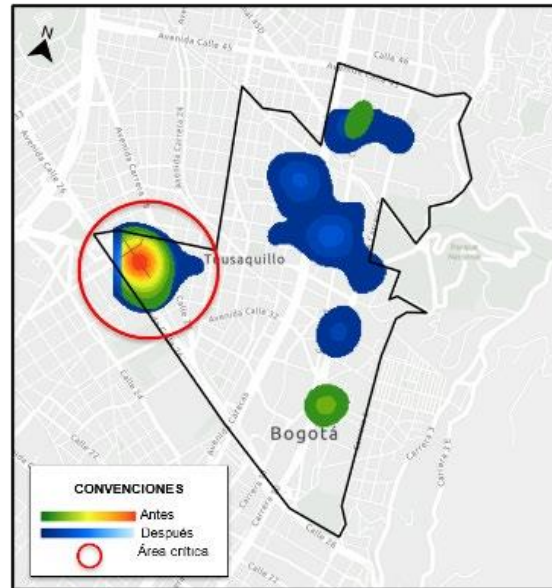


Tabla 1. Resultados análisis escenarios "A" - "D" en área crítica

Variable / Escenario	Antes	Después
Comparendos C02	72	61
Comparendos C02 - Automóviles	57	49
Comparendos C02 - Motocicletas	15	12
Ocupación del espacio público -Automóviles (m2)	783.75	673.75
Ocupación del espacio público-Motocicletas (m2)	56.25	45.00
Variación ocupación del espacio público Automóviles	-14 %	
Variación ocupación del espacio público Motocicletas	-20 %	
Tasa de ocupación promedio ZPP	54 %	71 %
Variación tasa de ocupación promedio ZPP	32%	
Área recuperada Automóviles m2	110	
Área recuperada Motocicletas m2	11.25	
Cantidad de automóviles potenciales usuarios de ZPP	8	
Cantidad de motocicletas potenciales usuarios de ZPP	3	

Fuente: Elaboración propia - SDM

7. Conclusiones

Las acciones implementadas por los ACTT inciden positivamente en la optimización del espacio público, con lo cual, en la presente investigación, se evidenció una reducción de la cantidad de conductores de vehículos sancionados por invadir el espacio público con la implementación de los controles en las ZPP y por lo tanto, se espera una mejora en las condiciones de movilidad (velocidad, seguridad vial, mejores tiempos de viaje) en estos tramos viales.

Si bien, la medida de ZPP promueve el uso correcto del espacio público, esto se logra con estrategias que coadyuven a mitigar la problemática de invasión indebida, con lo cual se evidenció que los controles implementados por los ACTT contribuyen mediante la aplicación de la norma, que traducido cuantitativamente es recuperación en M2 de espacio público y organización del estacionamiento autorizado para tener un uso eficiente del espacio público.

8. Impactos a corto, mediano y largo plazo

Las medidas implementadas para promover el uso de espacio público deben estar ligadas al control y fiscalización por parte de una autoridad competente, con lo cual se encuentra el factor sancionatorio y el factor disuasorio. Como resultado, se espera que se mejore el comportamiento de los actores viales que infringen la normatividad en materia de tránsito mediante la persuasión. A futuro, con el fortalecimiento de la medida de ZPP y la creación de nuevas estrategias que promuevan el correcto uso del espacio público, la implementación de los controles

que ayuden al cumplimiento de las medidas será un factor clave para reducir la cantidad de vehículos estacionados en lugares prohibidos y en consecuencia se aporte a la movilidad.

9. Referencias bibliográficas

- [1] CONCEJO DE BOGOTÁ. Acuerdo Distrital 695 de 2017. Autoriza la tasa por el derecho de estacionamiento en vías públicas. {Fecha de consulta 15 de agosto de 2023} Disponible en <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=73360&dt=S>
- [2] Barter, P. “Logrando ciudades sostenibles a través de políticas de estacionamiento”. {Fecha de consulta 15 de agosto de 2023}. Disponible en https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/2018-12-21/02_Paul%20Barter.pdf
- [3] ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Acuerdo 257 de 2006. “ Por el cual se dictan normas básicas sobre la estructura, organización y funcionamiento de los organismos y de las entidades de Bogotá”. {Fecha de consulta 23 de agosto de 2023} Disponible en https://www.participacionbogota.gov.co/sites/default/files/2022-09/acuerdo_257_de_2006.pdf
- [4] LEY 769 DE 2002. Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre. {Fecha de consulta 23 de agosto de 2023} Disponible en https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/ley-769-de-2002-codigo-nacional-de-transito_3704_0.pdf
- [5] SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD. Zona de parqueo Pago. {Fecha de consulta 23 de agosto de 2023}. Disponible en: <https://zonadeparqueopago.gov.co/>



Porcentaje de participación de la malla vial con alto tráfico para la determinación del índice de congestión

Andrés A. Rincón Guerrero, Alimar Benítez Molina, Bibiana Rivera Guerrero, Cristian Ríos Hernández, Julián Otero Niño

- Secretaría Distrital de Movilidad /
Dirección de Inteligencia para la Movilidad -

arincong@movilidadbogota.gov.co,
abenitez@movilidadbogota.gov.co,
brivera@movilidadbogota.gov.co,
criosh@movilidadbogota.gov.co,
jotero@movilidadbogota.gov.co

Resumen

Este artículo presenta un proyecto de análisis de congestión urbana desarrollado en colaboración con el grupo de analítica de la Dirección de Inteligencia para la Movilidad (DIM). El proyecto se basa en dos componentes fundamentales: primero, crear una herramienta de alerta en tiempo real para monitorear la congestión en la ciudad y, segundo, atender la creciente demanda de información sobre la congestión de la ciudad y su evolución en el tiempo. Utilizando el programa Connected Citizens Program (CCP) de Waze, se accede a datos de tiempos de viaje y alertas de congestión actualizados cada dos minutos. Se analizan los “Jams” de Waze para caracterizar la causa de las reducciones de velocidad y se desarrolla un indicador de congestión para la ciudad y áreas específicas. Este enfoque cuantitativo respalda la toma de decisiones en políticas públicas y proyectos urbanos, proporcionando un tablero de control de congestión en tiempo real.

1. Introducción

Este proyecto surge al interior del grupo de analítica y automatización de la DIM, con dos propósitos, el primero es poder contar con una herramienta que permita tener alertas de información en tiempo real de la congestión de la ciudad y el segundo, es poder dar respuesta a un número significativo de solicitudes referentes al tema de congestión de la ciudad y su comportamiento a través del tiempo, es por ello que haciendo uso del convenio: Connected Citizens Program (CCP) de Waze, en el cual la SDM tiene acceso a un conjunto de APIs, en las que Waze le entrega datos de tiempos de viaje sobre



tramos específicos, pero también alertas, atascos e irregularidades de toda la ciudad que se actualizan cada 2 minutos; se procesan los datos de Jams, que son los registros de Waze en donde la aplicación percibe que la velocidad de un tramo vial en particular ha tenido reducciones de velocidad significativas, en comparación con su velocidad de flujo libre. Estos datos se procesan en primer lugar para caracterizar la razón o el motivo de la reducción de velocidad y posteriormente para generar un indicador que permita ver cuál es el nivel de congestión de la ciudad y de las zonas de análisis como lo pueden ser localidades, ZAT's (Zonas de Análisis de Transporte), corredores principales o zonas particulares sobre las que se requiera hacer un análisis de congestión. Esto permite poder tener un comportamiento cuantificable y comparable de gran utilidad en seguimiento a planes, políticas públicas y proyectos que se implementen en la ciudad. Así como una herramienta de monitoreo en tiempo real de la ciudad. Los resultados que al momento se tienen es el tablero de medición de congestión en tiempo real para la ciudad en general, las localidades, las ZAT, los corredores principales y los corredores de entradas y salidas, y se espera en un corto plazo la implementación de datos históricos que permitan la visualización de todos estos datos de acuerdo con la solicitud que el usuario requiera.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Determinar el nivel de congestión en zonas urbanas y corredores viales específicos de Bogotá mediante el análisis del porcentaje de participación de la malla vial con alto tráfico, con el fin de proporcionar información relevante para evaluar la eficiencia y capacidad del sistema de transporte en la ciudad.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar y mapear la malla vial en la zona urbana bajo estudio, destacando las arterias con mayor volumen de tráfico.
- Desarrollar un algoritmo que permita la extracción de los datos de la API de Waze y su geoprocesamiento para el cruce geoespacial con capas de las diferentes zonas de análisis.
- Clasificar los segmentos de la malla vial reporta-

da por waze según su nivel de congestión, priorizando aquellos con un alto volumen de tráfico y potencial impacto en la movilidad.

- Desarrollar un modelo o método para calcular el índice de congestión utilizando el porcentaje de participación de la malla vial con alto tráfico en relación con el total.

3. Justificación

Es importante ver cómo la movilidad y el desplazamiento de un punto de origen a un punto de destino forman parte intrínseca del ser humano y de la sociedad, sin embargo existen diferentes eventos que hacen que esta actividad no se desarrolle en los tiempos esperados y sin tener un punto de comparación de qué tan efectivo o perjudicial están siendo estos tiempos de desplazamiento impidiendo de cierto modo la intervención oportuna y la toma de decisiones de manera sustentada en los datos y la información. Es por ello que al contar con las herramientas que permiten la elaboración de algoritmos computacionales para el manejo de grandes volúmenes de datos, estas barreras que parecían difíciles de superar, ahora están dejando de ser un impedimento y están permitiendo que día a día la toma de decisiones, la implementación de planes, programas y políticas públicas tengan un fundamento objetivo y medible al poder contar con la cuantificación por medio de indicadores desarrollados gracias a estos algoritmos. Es por ello que, desde la Dirección de Inteligencia para la Movilidad de la Secretaría Distrital de Movilidad, se adelantan a diario propuestas para abordar las diferentes problemáticas que enfrenta la ciudad mediante el uso de tecnologías y la información disponible, tal es el ejemplo de la generación de indicadores de congestión por zonas de análisis o los diferentes corredores viales de la ciudad usando datos geoespaciales de aplicaciones como Waze.

4. Marco Teórico

“En los períodos de máxima demanda, el movimiento vehicular se va tornando deficiente con pérdidas de velocidad, lo que hace que el sistema tienda a saturarse, hasta llegar a funcionar a niveles de congestión con las consiguientes demoras y colas asociadas. Las demoras pueden causarlas los

dispositivos para el control del tránsito al interrumpir el flujo y las ocasionadas por la misma corriente vehicular en situaciones de flujo continuo. La influencia de todas estas demoras puede medirse como una relación de demora, que consiste en la diferencia entre la relación del movimiento observado y la relación del movimiento considerada como normal para diferentes tipos de vías urbanas” [1].

“En general la capacidad de un sistema es el número máximo de entidades que puede ser procesado por unidad de tiempo. De allí que, la congestión ocurre porque el sistema tiene una capacidad limitada y porque la demanda colocada y el proceso mismo tienen un carácter aleatorio” [2]

5. Metodología

- Seleccionar una zona urbana específica para llevar a cabo el estudio, considerando factores como la densidad de tráfico, la complejidad de la malla vial y la disponibilidad de datos.
- Extracción de Datos de la API de Waze:

Utilizar el convenio Connected Citizens Program entre la Secretaría Distrital de Movilidad y Waze para acceder a la API y extraer los reportes generados por los usuarios de la aplicación y el algoritmo interno de Waze.

Categorizar los datos en dos grupos: alertas generadas por usuarios y datos generados por el algo-

ritmo (tiempos de desplazamiento, longitudes, etc.).

Los datos se encuentran en formato JSON, y se tomará un ejemplo de salida como referencia.

El proceso de transformar la información que arroja la API de WAZE consta de 5 etapas o subprocesos los cuales comienzan con:

La extracción de la información, esto se realiza mediante el convenio Connected Citizens Program entre la Secretaría Distrital de Movilidad y Waze, en donde este último dispone de los reportes que el uso de la aplicación permite generar y están categorizados en dos grupos principales, los que generan los usuarios de la aplicación como las alertas, y lo que genera el algoritmo con la información que se puede extraer de los dispositivos que hacen uso de la aplicación, como lo es tiempos de desplazamientos entre un punto y otro, longitudes, y una gran variedad de atributos asociados a cada uno de los puntos espaciotemporales en los que se extrae información de cada uno de los dispositivos. Gracias a este último grupo de datos, se pueden generar velocidades y datos de atascos o Jams los cuales son generados cuando el algoritmo detecta que un tramo o segmento vial se encuentra con una velocidad promedio inferior a la estimada de flujo libre, los cuales son la base de este proyecto. Esta información la dispone Waze en formato JSON¹ y un ejemplo de esta salida se presenta en la siguiente imagen:

Ilustración 1. Ejemplo de salida en formato JSON

```
{
  "alerts": [ ... ], // 564 items
  "endTimeMillis": 1687400340000,
  "irregularities": [ ... ], // 1 item
  "startTimeMillis": 1687400280000,
  "startTime": "2023-06-22 02:18:00:000",
  "endTime": "2023-06-22 02:19:00:000",
  "jams": [
    {
      "country": "CO",
      "city": "Bogotá",
      "level": 5,
      "line": [
        {
          "x": -74.132225,
          "y": 4.645986
        },
        { ... }, // 2 items
        { ... }, // 2 items
        { ... }, // 2 items
        { ... }, // 2 items
        { ... }, // 2 items
      ],
      "speedKMH": 0,
      "length": 562,
      "turnType": "NONE",
      "type": "NONE",
      "uuid": 1235425698,
      "endNode": "Carrera 80",
      "speed": 0,
      "segments": [ ... ], // 1 item
      "blockingAlertUuid": "d4ff931e-f536-47b8-9f56-5dee0c89f0b1",
      "roadType": 2,
      "delay": -1,
      "street": "Av. Guayacanes / Calle 12 >Occidente",
      "pubMillis": 1687324561609
    }
  ]
}
```

¹ JavaScript Object Notation, formato para la estructuración de datos en forma de texto.

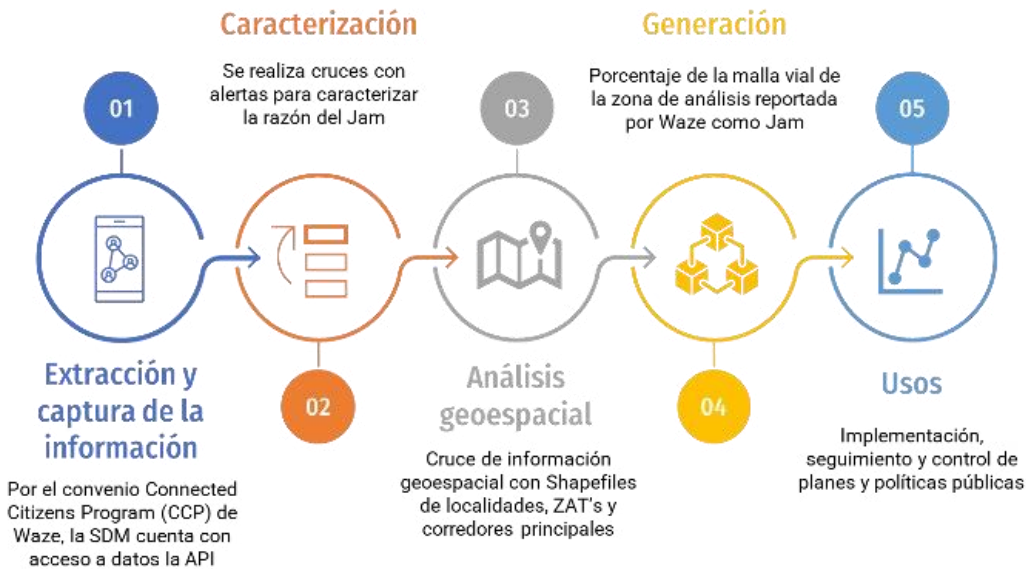
Esta información es capturada por el algoritmo desarrollado en Python, cada cinco minutos mediante el uso de automatización de tareas con herramientas CRON² y se inicia el segundo subproceso, el cual consiste en el procesamiento de la información con el objetivo de categorizar cada uno de los Jams en grupos que permitan establecer la razón por la cual se está generando esta reducción de la velocidad en cada uno de los segmentos, con lo que se hace uso de las alertas de los usuarios de la aplicación, en donde en primer lugar se determina cuáles pueden ser asociadas por llaves dentro de los dos conjuntos de datos (Jams y Alertas) y que permita vincular un registro de Jam con su respectiva alerta. Los Jams que no cuentan con una vinculación directa con una alerta, pasan a ser emparejados mediante un análisis espacio temporal con las alertas, con el fin de identificar qué alertas se crearon en el mismo intervalo de tiempo de los jams y dentro de un radio cercano al Jam. Aquellos que no logran ser asociados a una alerta después de estas dos etapas del algoritmo reciben la categoría de Jam por alta demanda del segmento vial. Ya con los Jams categorizados, se procede a establecer las zonas de análisis para las cuales se les va a realizar el cálculo del indicador de congestión. A la fecha de la elaboración de este documento, las zonas de análisis son: las Zonas de análisis de transporte (ZAT), las localidades, la ciudad de Bogotá en general, los 14 corredores principales de la ciudad y los 9 corre-

dores de entradas y salidas de la ciudad. Al haber tenido estas zonas de análisis definidas, el algoritmo lleva a cabo el análisis geoespacial asociando a cada uno de los Jams las diferentes zonas a las que pertenece. Lo que da la posibilidad de llevar a cabo el cuarto subproceso del algoritmo, es cual consiste en determinar la longitud total de malla vial de cada una de las zonas y la longitud total de jams que pertenecen a cada una de las zonas, datos que permiten generar el indicador para cada zona de análisis al compararlos, siendo este indicador de congestión el porcentaje de la malla vial que reporta Waze como Jam o en congestión respecto al total de la malla vial de cada una de las zonas de análisis.

Finalmente, el último subproceso del algoritmo consiste en el almacenamiento de estos datos y el desarrollo de una herramienta de visualización de esta información para que pueda servir de soporte en el momento de realizar seguimientos a planes, programas, políticas y demás, relacionadas o afectadas directa e indirectamente con la congestión y más importante aún para la toma de decisiones de manera sustentada en los datos y la información real de la ciudad.

En la siguiente imagen se presenta el esquema diagramático de los diferentes subprocesos del algoritmo y el orden de ejecución de cada uno de ellos dentro de este proceso.

Ilustración 2. Proceso de generación de la información



2 Administrador regular de procesos en segundo plano que ejecuta procesos o guiones a intervalos regulares en el sistema operativo LINUX.

6. Resultados

Los resultados obtenidos de esta investigación se componen de dos elementos principales, en primer lugar está la consolidación de una base de datos con tablas en las cuales se almacenan datos del procesamiento realizado cada 5 minutos para cada una de las zonas de análisis, lo cual permite realizar consultas de información desde el momento en el que se empezó a ejecutar el algoritmo respectivo. Esto permite contar con información histórica importante al momento de validar diferencias entre grupos antes y después de la implementación de un programa, proyecto o política que esté involucrada o que afecte directa o indirectamente la movilidad y poder determinar qué tan efectivo está siendo esta actividad.

Por otro lado, se encuentra la salida del tablero el cual está diseñado en una versión preliminar para mostrar datos por un lado históricos y por el otro

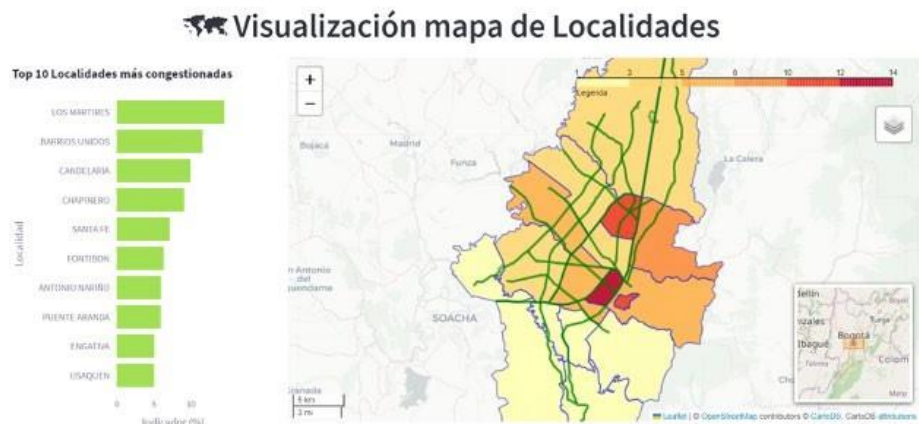
en tiempo real y para la fecha en la que se redacta el documento ya se cuenta con la visualización de datos en tiempo real y se está empezando a trabajar en la incorporación del componente histórico. Esto ayuda a la respuesta oportuna de solicitudes de información a la Secretaría Distrital de Movilidad sin tener que realizar visualizaciones a partir de los datos almacenados en la base.

En el tablero de visualización de tiempo real, se ha organizado la salida de cada uno de los indicadores generados de acuerdo al nivel de detalle que presenta cada uno, en primer lugar, se encuentra el indicador de la ciudad en general, este indicador informa del porcentaje de la malla vial de toda la ciudad que Waze está reportando en condiciones de velocidades inferiores a las velocidades esperadas de flujo libre, la ilustración que se presenta a continuación son los resultados obtenidos de lo que al momento de la visualización reporta el algoritmo en relación a la ciudad:

Ilustración 3. Indicador general de la ciudad



Ilustración 4. Visualización del análisis por localidad



Visualización de los resultados obtenidos del procesamiento de Jams y con zona de análisis las localidades de la ciudad. En la parte izquierda se encuentra el top 10 de las localidades con indicadores de congestión más altos al momento de la revisión de la información. En la parte derecha se encuentra el mapa choropletico de las localidades y los colores con tonalidades más oscuras indican mayor congestión. El visualizador permite para cada una de las salidas obtener información detallada al ubicar el cursor sobre las zonas del mapa o sobre las barras del top 10.

Ilustración 5. Visualización del análisis por Zona de Análisis de Transporte ZAT



Visualización de los resultados obtenidos del procesamiento de Jams y con zona de análisis las ZAT de la ciudad. En la parte derecha se encuentra el top 10 de las ZAT con indicadores de congestión más altos al momento de la revisión de la información. En la parte izquierda se encuentra el mapa choropletico de las ZAT y los colores con tonalidades más oscuras indican mayor congestión. El visualizador permite para cada una de las salidas obtener información detallada al ubicar el cursor sobre las zonas del mapa o sobre las barras del top 10.

Ilustración 6. Visualización del análisis por corredores principales



Visualización de los resultados obtenidos del procesamiento de Jams y con zona de análisis los corredores principales de la ciudad. En la parte derecha se encuentra el top 10 de los tramos viales que pertenecen a los corredores principales con indicadores de congestión más altos al momento de la revisión de la información. En la parte izquierda se encuentra el mapa choropletico de los tramos viales que conforman los corredores principales y los colores con tonalidades más oscuras indican mayor congestión. El visualizador permite para cada una de las salidas obtener información detallada al ubicar el cursor sobre las zonas del mapa o sobre las barras del top 10.

7. Conclusiones

A nivel general, el poder contar con este tipo de convenios entre la Secretaría y las demás entidades, genera múltiples posibilidades de crear herramientas y elaborar propuestas que permitan aportar soluciones a las problemáticas que a diario enfrenta la ciudad entorno a la movilidad.

El poder contar con estas herramientas permite tener un alcance más acertado al momento de la toma de decisiones y disminuye los tiempos de respuesta que a diario realizan los ciudadanos a la Secretaría.

Es importante mencionar que día a día el manejo de grandes volúmenes de datos se vuelve indispensable en estos tipos de análisis y que contar con los sistemas de bases de datos y la infraestructura apropiada facilitará en gran medida cualquier tipo de generación de reportes, datos e información que se pueda derivar de estos grandes conjuntos de información. En este ejercicio se pudo evidenciar que los datos de 5 minutos pueden rondar los 2000 registros, pero al almacenar, y procesar datos de manera continua, al cabo de pocos días se convierten en millones de datos y en tan solo un año se puede estar superando los 1,500 millones de registros. Es por ello que se está desplegando la infraestructura apropiada desde el centro de datos de la Dirección de Inteligencia para la Movilidad, con el fin de procesar estos volúmenes de datos y poder contar con datos históricos desde donde se tenga registro de información por parte de Waze.

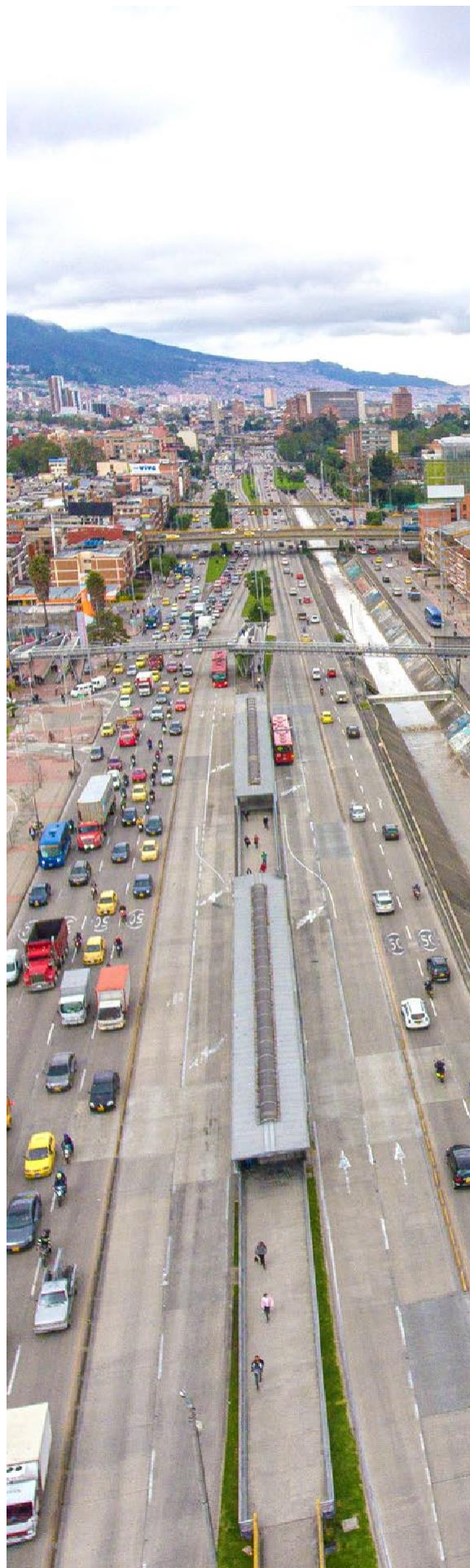
8. Impactos a corto, mediano y largo plazo

Con el desarrollo de este ejercicio se pudo tener un panorama del monitoreo que pueden llegar a tener cada uno de los tramos viales de la ciudad y se plantea la posibilidad de poder categorizar cada uno de estos segmentos viales y que se esté reportando información con variables y atributos que pueden ir desde la velocidad vehicular como tiempos de desplazamiento hasta el estado de la infraestructura y poder contar con tableros de control que reporten alertas para cada una de las variables analizadas.

9. Referencias Bibliográficas

[1] Cal Y Mayor Reyes Spindola, R. Ingeniería De Transito Fundamentos y Aplicaciones (9a. ed.). MEXICO: ALFAOMEGA.

[2] Manheim, Marvin L. Fundamentals of Transportation Systems Analysis, Volume 1: Basic Concepts. Fourth printing, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, and London, England.





TECNOLOGÍAS EN MOVILIDAD

Estimación de la evasión zonal a través de análisis de anomalías operativas

A. Lucy Cucaita, B. Simón Moya, C. Julian García, D. Elkin Riaño, E. Kevin Quiroga, F. Anderson Cuervo

- Transmilenio -

lucy.cucaita@transmilenio.gov.co,
simon.moya@transmilenio.gov.co,
julian.garcia@transmilenio.gov.co,
elkin.riano@transmilenio.gov.co,
kevin.quiroga@transmilenio.gov.co,
anderson.cuervo@transmilenio.gov.co

Resumen

El déficit en el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) es del orden de 2.9 billones de pesos para el 2023. Uno de los principales factores que agudiza dicho déficit es la evasión tarifaria, la cual se define como el acto de viajar en el sistema de transporte público sin efectuar el pago por el disfrute de este. Actualmente, se cuenta con estimaciones de este fenómeno en el componente troncal pero no en el componente zonal.

Estimar la evasión en dicho componente es un gran reto, debido a las características de la operación como: el tráfico mixto, la frontera comercial al interior del bus, la dispersión geográfica, la variabilidad en los puntos críticos, tipo de contrato de concesión, tipo de datos recolectados por los vehículos, entre otros. Adicionalmente, el componente zonal es el que presenta la mayor brecha entre costos e ingresos por usuario.

1. Introducción

El fenómeno de la evasión en los sistemas de transporte masivo conlleva consecuencias económicas críticas. Un estudio realizado en Bogotá, enfocado en el impacto económico de la evasión de pagos en Transmilenio, reveló que este fenómeno perjudica directamente los ingresos del sistema. Esto, a su vez, limita la capacidad de realizar inversiones en mejoras y expansiones del servicio [1].

El acto de evadir el pago puede ser motivado por distintos factores, ya sea por razones socioculturales, económicas u otras. Aunque es común pensar que estos son los motivos principales, en realidad, pue-



den ser menos relevantes en comparación con la influencia de las dinámicas grupales. Estas dinámicas pueden crear una dualidad en la decisión de optar por la legalidad o ilegalidad, o incluso entre evadir o pagar [2]. Por ejemplo, un estudio realizado por Cardozo & Suárez [6] encontró que, de un grupo de personas que evadieron el pago del pasaje, el 80% indicó que la razón principal fue el ahorro económico.

Lo anterior, sugiere que la evasión podría estar altamente relacionada con factores económicos, incluso si esto implica poner en riesgo la seguridad personal [3]. Un análisis adicional de la Universidad Nacional de Colombia (2023) respalda esta conclusión, al encontrar que el 75% de los usuarios que evadieron el pago lo hicieron por motivos económicos, y que aquellos que evaden con frecuencia son más propensos a hacerlo en grupo.

Además, los vehículos en el sistema Zonal están equipados con una unidad lógica que permite estandarizar el control realizado por el personal dentro del sistema de transporte, una práctica que se ha implementado en ciudades como Santiago de Chile, Buenos Aires y Londres [3]. Esta unidad lógica incluye una función que permite a los conductores registrar los casos de evasión: al presionar la tecla 4, se activa el 'evento 4', que indica que un pasajero ha ingresado al sistema sin validar el pago.

De acuerdo con Tirachini & Quiroz [3]. Bogotá se ubica en el segundo puesto en la lista de ciudades con mayor cantidad de personas que evaden el pago de su pasaje, solo superada por Santiago de Chile y seguida por Buenos Aires, con tasas de evasión de entre 10-15%, 26% y 3,9% respectivamente. En Bogotá, el enfoque ha estado en el sistema BRT (Bus Rapid Transit), conocido como el sistema Troncal, donde los esfuerzos se han centrado en medir la evasión dentro de las estaciones. Sin embargo, aún no se ha logrado medir adecuadamente la evasión en el componente Zonal.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Desarrollar e implementar, al finalizar el año 2023, una solución tecnológica, basada en analítica de datos capaz de identificar, con al menos un 70% de confiabilidad, las cenefas (paraderos), franjas ho-

rrarias y rutas del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) con mayor riesgo de evasión de pago. Esta herramienta deberá ser capaz de adaptarse a las variaciones estacionales y condiciones dinámicas del servicio de transporte.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar los factores predominantes que influyen en la evasión de tarifas en el componente zonal del SITP, con especial atención en la influencia de la proximidad a colegios y estaciones del componente troncal, en un periodo de 2 meses, a fin de desarrollar estrategias más efectivas para abordar este fenómeno desde múltiples perspectivas.
- Establecer una aproximación a una línea base de evasión teórica para el componente zonal del SITP en Bogotá, utilizando la analítica de datos de evasión obtenidos y validados en las etapas previas de este proyecto, con el propósito de dirigir con mayor certeza las inspecciones en campo y desarrollar estrategias de control más eficaces.

3. Justificación

Estimar la evasión del pasaje en el SITP es un reto vital, en la medida que impacta la sostenibilidad económica, la calidad del servicio, la gestión de recursos y la equidad. Por tanto, una estimación precisa de este fenómeno es estratégicamente crucial. Los beneficios de una solución para detectar y mitigar la evasión son:

1. Reducir la afectación sobre el fondo de estabilización tarifaria (FET), el cual es financiado por los impuestos de los bogotanos y representa un monto significativo en las finanzas del distrito.
2. Incrementar la calidad del servicio al estimar la demanda correctamente, permitiendo una programación eficiente del servicio, disminuyendo los tiempos de espera y mejorando la satisfacción del usuario.
3. Optimizar el rendimiento de los recursos para combatir la evasión, permitiendo una asignación estratégica y basada en datos, mejorando la eficiencia de las acciones de control.
4. Mejorar la equidad del sistema, asegurando una contribución justa al costo del servicio por todos

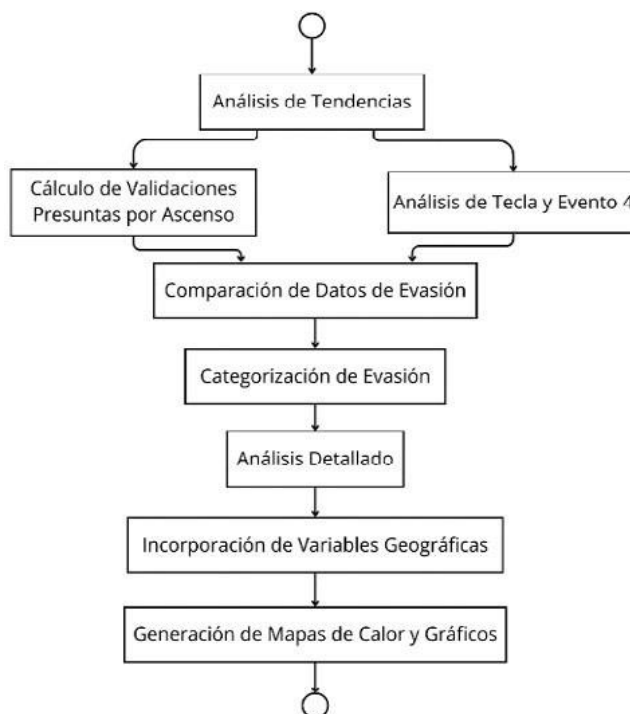
los usuarios. Esto es relevante para las comunidades de bajos ingresos, quienes podrían ser desproporcionadamente afectadas por la evasión.

4. Metodología

La metodología se basa en la implementación de dos algoritmos diseñados para identificar patrones de comportamiento en los usuarios y asociarlos con la ocurrencia de evasión. Estos algoritmos se ejecutan de forma secuencial. Primero se hace la evaluación del comportamiento de tiempos de

ascenso y luego la evaluación de los reportes de evasión elaborados por los conductores. Con los resultados, se identificaron los puntos críticos con alta certeza de ocurrencia de evasión durante la semana de evaluación mediante una categorización de los puntos identificados. Finalmente, los puntos identificados son objeto de análisis más profundos donde se evalúan aspectos como: consistencia en diferentes áreas y franjas horarias, características geográficas y recurrencia. A continuación en la *figura 1*, se describen algunos aspectos con más detalle.

Figura 1. Análisis de Tendencias



De acuerdo con lo descrito anteriormente, el primer paso fue definir un valor apropiado para el tiempo promedio de ascenso por usuario. Estudios realizados por Urazán et al [4]. Se determinó que los pasajeros demoran en promedio 2.12 segundos en ascender al vehículo, donde principalmente los factores que influyen en este tiempo son: la edad del pasajero y la cantidad de pasajeros a bordo del vehículo. El estudio anterior difiere con el estudio realizado por Espejo [5] (2019), donde principalmente se obtuvo que el tiempo de ascenso de un pasajero está determinado por la tipología del bus y por la cantidad de pasajeros a bordo del vehículo, teniendo tiempos promedio de ascenso en vehículo de entre 4 a 8 segundos, teniendo los promedios más altos en los

buses pequeños (tipología 19) que encuentran con mayor número de pasajeros a bordo. Dado que los torniquetes adicionan 1.5 segundos [4] al tiempo de ascenso del pasajero, se determina en 8 segundos el tiempo de ascenso en el sistema Zonal.

El primer algoritmo analiza la discrepancia entre los tiempos de apertura de puertas de los buses y las validaciones de pago registradas. Dividiendo el tiempo de apertura de puertas por 8 segundos (tiempo estimado para que un pasajero suba) se calculan las validaciones presuntas. Si la diferencia entre las validaciones reales y presuntas supera 8, se identifica como posible punto de evasión. De manera similar, el segundo algoritmo evalúa

específicamente la tendencia del uso de la tecla y evento 4. Si esta conducta cumple con la misma condición de repetición y persistencia mencionada anteriormente, se clasifica como una evasión “Muy Probable”. Finalmente, ambos algoritmos se combinan al comparar los datos de evasión detectados por la diferencia de tiempo de apertura de puertas y el uso de la tecla y evento 4, considerando la coincidencia en hora, línea, ruta y parada. Si estas variables concuerdan, la posible evasión se categoriza como “Altamente Probable”.

De esta forma, se establecen tres categorías de probabilidad de evasión:

- **Altamente probable:** Coincidencia entre la tecla y evento 4 y el algoritmo de evasión de apertura de puertas.
- **Muy Probable:** Solo se reporta el evento de evasión a través de la tecla y evento 4.
- **Probable:** Se detecta el evento de evasión únicamente en el algoritmo de evasión de apertura de puertas.

Este análisis detallado se realiza para cada viaje, desglosado por franjas horarias, y se centra en días hábiles. Permite cuantificar la diferencia entre las validaciones esperadas y las que realmente ocurrieron, proporcionando una estimación de la cantidad de usuarios que evaden el pago del pasaje.

Se examina la consistencia de este fenómeno en cada área estudiada, utilizando el valor esperado de evasión para cada semana procesada.

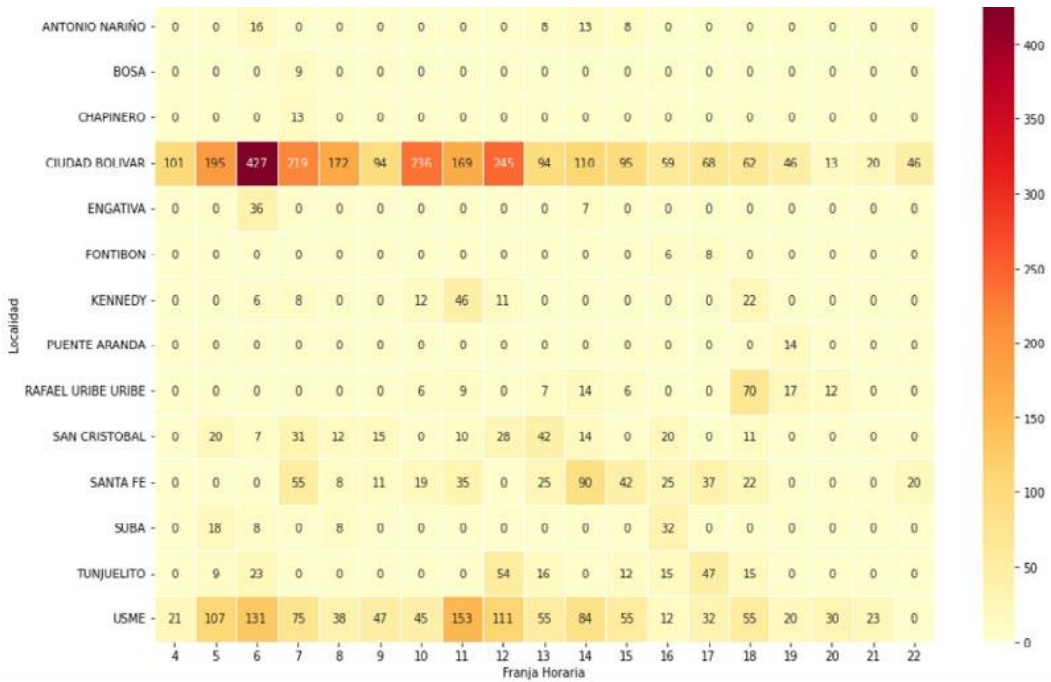
La incorporación de variables geográficas y la agrupación de puntos de evasión por paradero, colegios, y proximidad a estaciones del troncal ofrecen una caracterización más completa de cada una de las áreas de estudio y contribuyen a explicar mejor el fenómeno de la evasión. La metodología también incluye la generación de mapas de calor y gráficos, facilitando la interpretación y permitiendo identificar patrones y tendencias clave, esenciales para la planificación y control efectivos del fenómeno de la evasión en el sistema Zonal del SITP.

5. Resultados

Comportamiento de la evasión por localidades vs franja horaria

El análisis por localidades revela que Ciudad Bolívar y Usme son las zonas donde la problemática de la evasión se intensifica notoriamente, en la categoría de ‘Altamente Probable’. Asimismo, se evidencia un patrón temporal en el fenómeno: durante la mañana, la evasión es más prominente en las localidades previamente mencionadas, mientras que a partir de la 1:00 pm, la intensidad del fenómeno aumenta, como se aprecia en la localidad de Santa Fe.

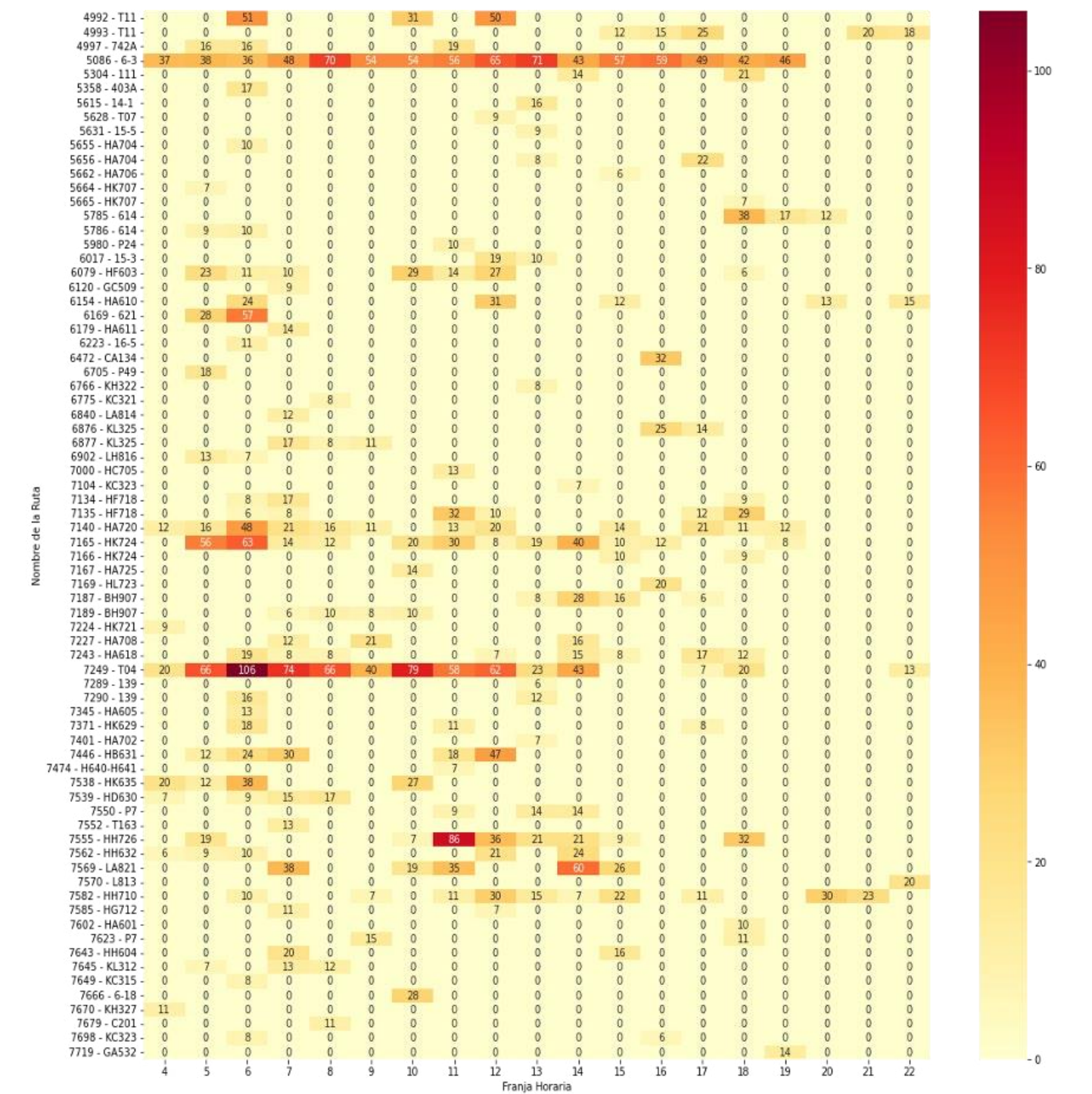
Figura 2. Comportamiento de la evasión por localidades vs franja horaria



Análisis de evasión por rutas con mayor vs franja horaria

En la *Figura 3* se muestra el análisis realizado de la evasión por rutas teniendo en cuenta la franja horaria.

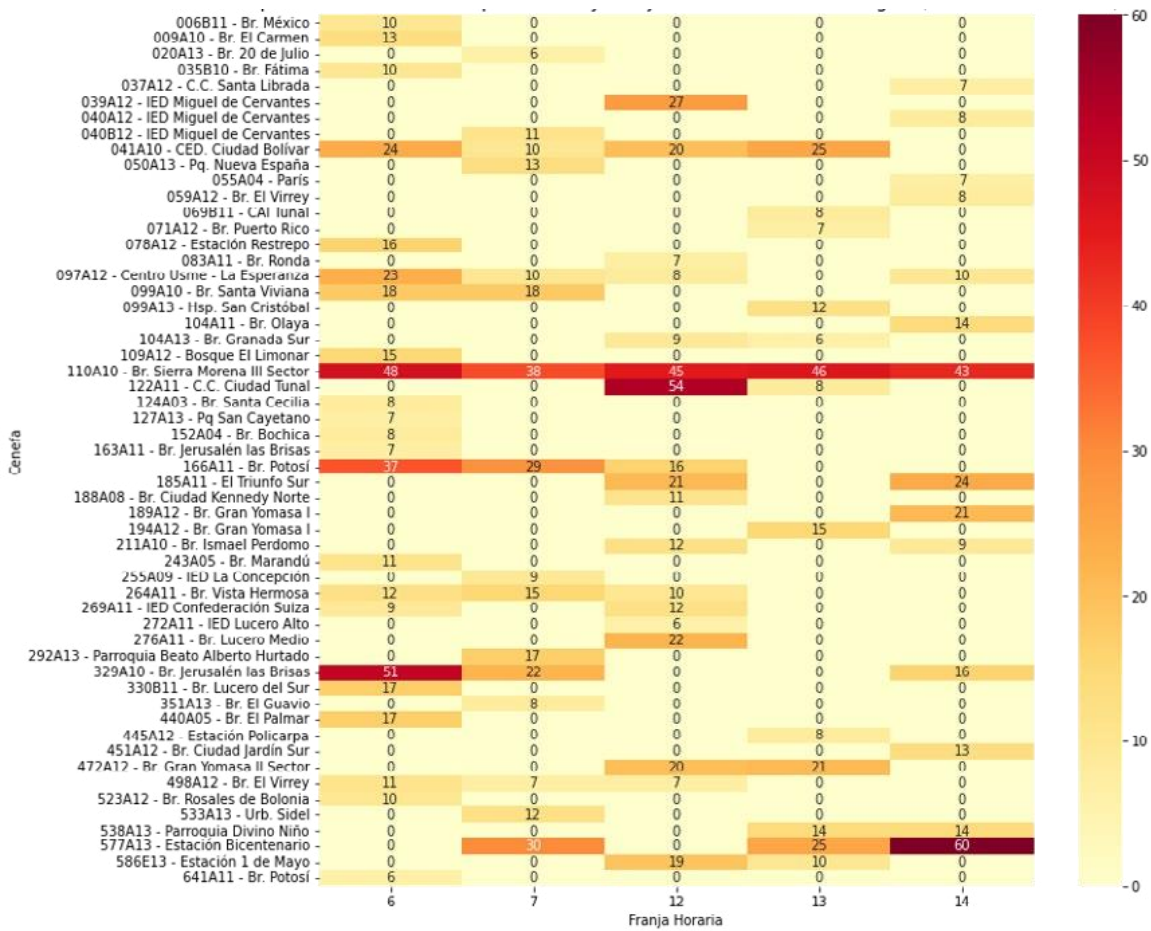
Figura 3. Análisis de evasión por rutas con mayor vs franja horaria



Análisis de evasión por rutas con cercanía a colegios vs franja horaria de entrada/salida

A partir del análisis realizado, se puede concluir que, dentro de la categoría de Altamente probable, un 29.72% de la problemática de evasión, en la categoría Altamente Probable, se concentra en los paraderos del componente zonal que están ubicados cerca a colegios *Figura 4*, coincidiendo principalmente con los horarios de entrada y salida de las jornadas escolares.

Figura 4. Análisis de evasión por rutas con cercanía a colegios vs franja horaria de entrada/salida



Análisis de evasión por rutas con cercanía a Estaciones y Portales del Componente BRT

A partir del análisis realizado, se puede concluir que, dentro de la categoría de Altamente probable, un 22.29% de la problemática de evasión se concentra en los paraderos del componente zonal que están ubicados cerca de estaciones y portales del componente troncal.

Figura 5. Análisis de evasión por rutas con cercanía a Estaciones y Portales del Componente BRT

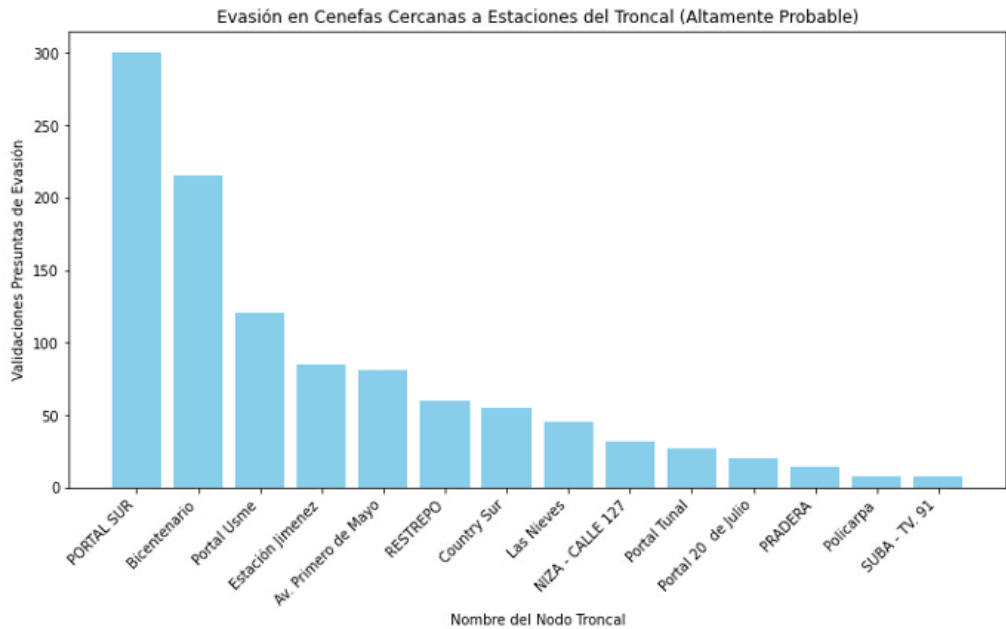
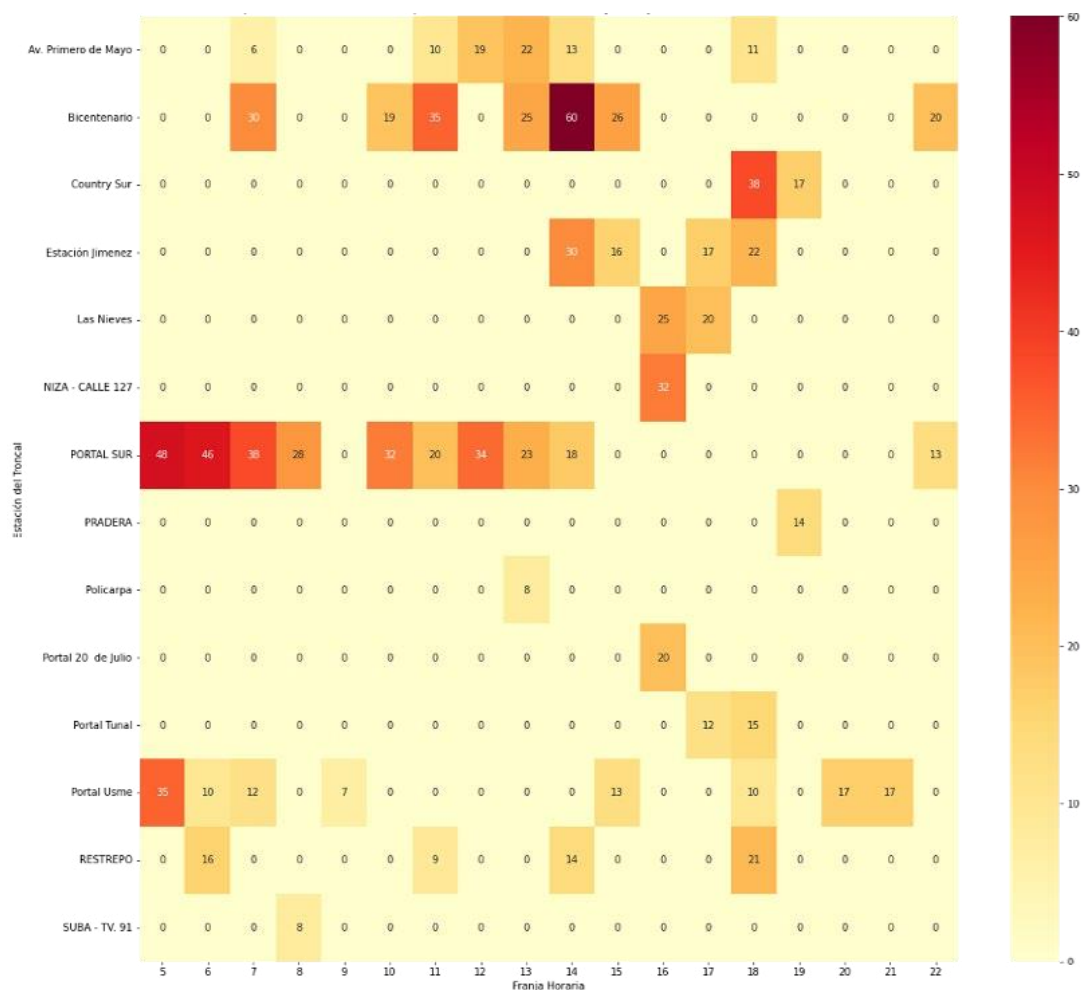


Figura 6. Análisis de evasión rutas con cercanía a Estaciones vs franja horaria



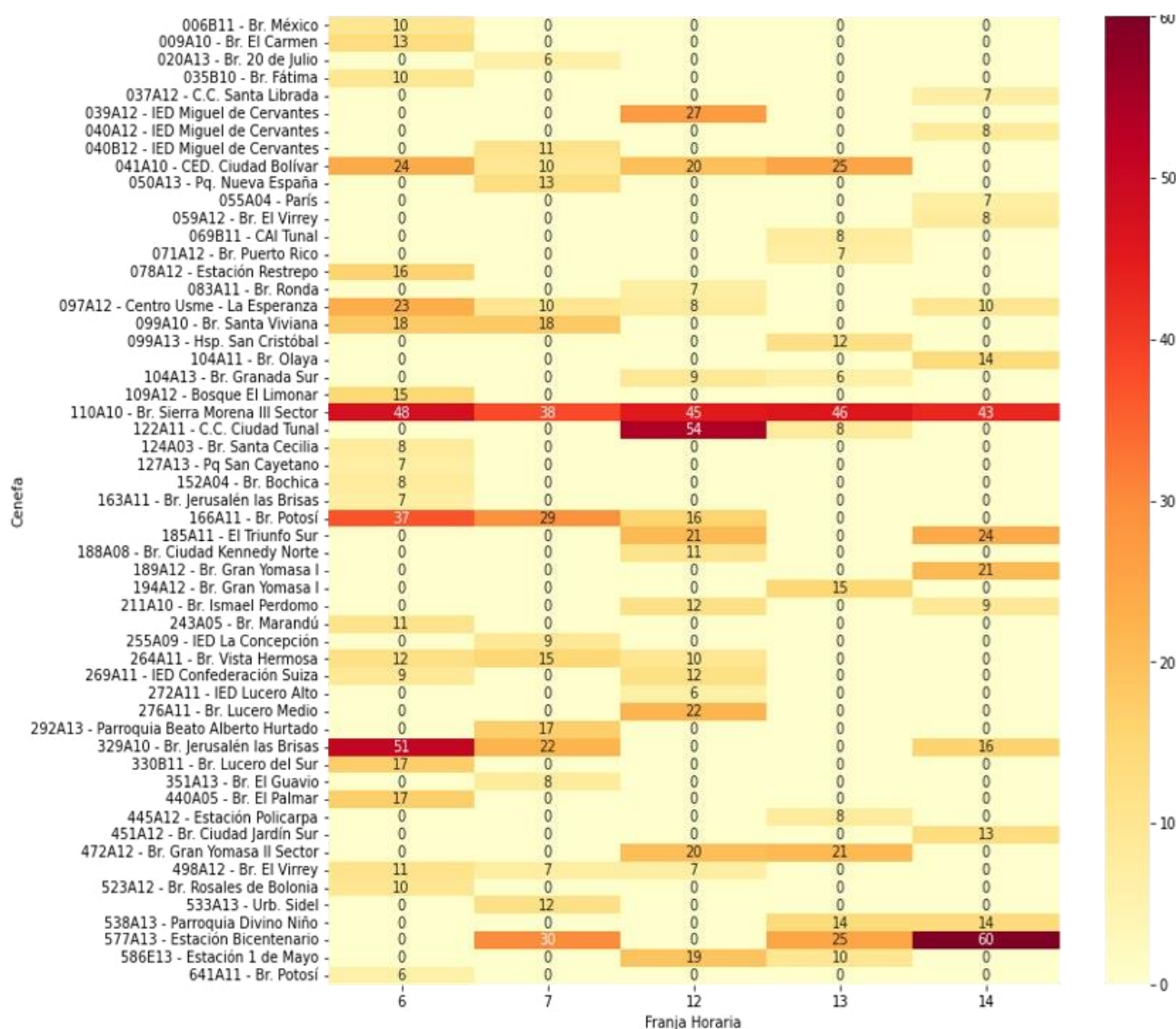
Análisis de evasión rutas con cercanía a Estaciones y Portales del Componente BRT vs franja horaria

El análisis realizado por franja horaria en rutas cercanas a estaciones y portales del componente BRT corrobora los resultados obtenidos en el análisis por localidades. Se observa un incremento en la evasión durante la tarde en la localidad de Santa Fe, un patrón que también se refleja en estaciones como Bicentenario y Jiménez, pertenecientes a dicha localidad. De manera similar, durante la mañana, se evidencia un aumento considerable de la evasión en estaciones cercanas al Portal Sur y al Portal Usme.

Los análisis realizados con relación a la cercanía a colegios y a estaciones y portales del componente BRT, permiten dirigir esfuerzos hacia la identificación de paraderos específicos y franjas horarias donde la evasión es más prominente. A continuación, se detallan los hallazgos obtenidos en ambos escenarios.



Figura 7. Análisis de evasión en paraderos con cercanía a colegios vs franja horaria de entrada/salida



Análisis de evasión en paraderos con cercanía a colegios vs franja horaria de entrada/salida

A partir del análisis realizado, se identifican los paraderos y horarios críticos que requieren intervención. Entre los hallazgos más notables se destacan:

- Paradero 110A10 – Br Sierra Morena III, con presunción en las franjas 6 – 7 y 12 – 14.
- Paradero 041A10 – CED Ciudad Bolívar, con presunción en las franjas 6 – 7 y 12 -13.
- Paradero 577A13 – Estación Bicentenario, con presunción en las franjas 7 y 13 – 14.
- Paradero 166A11 – Br Potosí, con presunción en las franjas 6-7, 12 y 14.

- Paradero 122A11 – Ciudad Tunal, con presunción en la franja 12.

Análisis de evasión rutas con cercanía a Estación Bicentenario y Portal Sur vs franja horaria

A partir del análisis ejecutado, se determinan específicamente las rutas y franjas horarias donde existe una alta probabilidad de evasión.

Al validar los hallazgos obtenidos tanto en paraderos cercanos a estaciones como a colegios, es notable que en la ruta LA821, específicamente en el paradero 577A13 - Estación Bicentenario, durante las franjas horarias de 7 y 14, existe una probabilidad de evasión comparable a la identificada en el análisis de cercanía a colegios.

Figura 8. Análisis de evasión rutas con cercanía a Estación Bicentenario y Portal Sur vs franja horaria

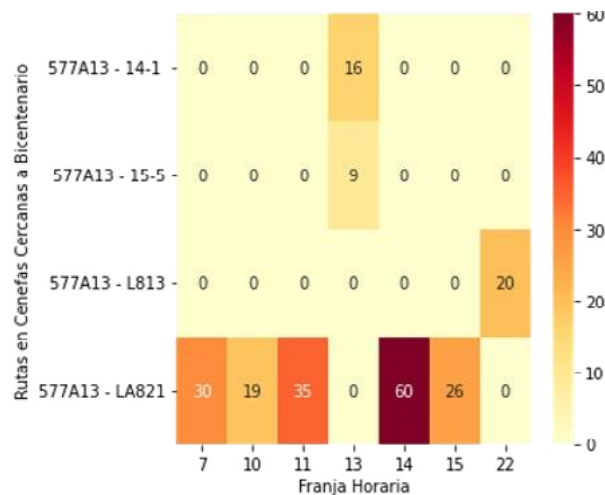
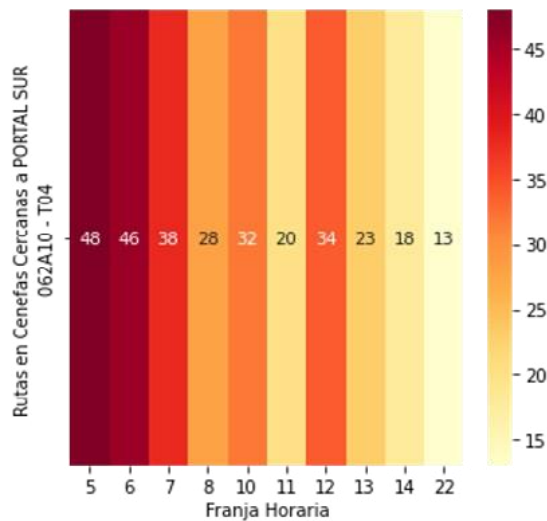


Figura 9. Análisis de evasión rutas con cercanía a Portal Sur vs franja horaria



6. Conclusiones

1.

El análisis revela que la evasión se produce, en parte, por causas específicas como el acceso a estaciones del componente troncal, donde se registra presencia de transporte ilegal. Esto refuerza la idea de que, a pesar de que la motivación económica es un factor predominante, existen otras circunstancias que contribuyen a la evasión.
2.

Asimismo, el estudio de la evasión en relación con la proximidad a colegios indica que esta es otra causa significativa de evasión en ciertas localidades de la ciudad. Esta observación, junto con los datos obtenidos en otros estudios, subraya la complejidad del fenómeno de evasión y la necesidad de abordarlo desde múltiples perspectivas.
3.

El progreso en el desarrollo de la solución tecnológica basada en analítica es notable, mostrando capacidad preliminar para identificar paraderos, franjas horarias y rutas con mayor riesgo de evasión en el componente zonal del SITP. Aunque los resultados son alentadores y se alinean con las observaciones en terreno, es necesario contar con más pruebas para confirmar su confiabilidad y asegurar su adaptabilidad a las variaciones estacionales y dinámicas del transporte antes de su implementación final.

7. Impactos a corto, mediano y largo plazo

Corto plazo

Aumentar la vigilancia y la presencia de personal de seguridad en las zonas y franjas horarias identificadas con alta evasión.

Lanzar campañas de concienciación sobre las consecuencias económicas y legales de la evasión de tarifas.

Mediano plazo

Involucrar proactivamente a diversas entidades del distrito en el proceso de elaboración de estrategias destinadas a combatir el fenómeno de la evasión. Al convertirse en participantes activos en este esfuerzo, estas entidades no solo aportarán con perspectivas y soluciones únicas, sino que también compartirán la responsabilidad y el compromiso de abordar este problema.

Largo plazo

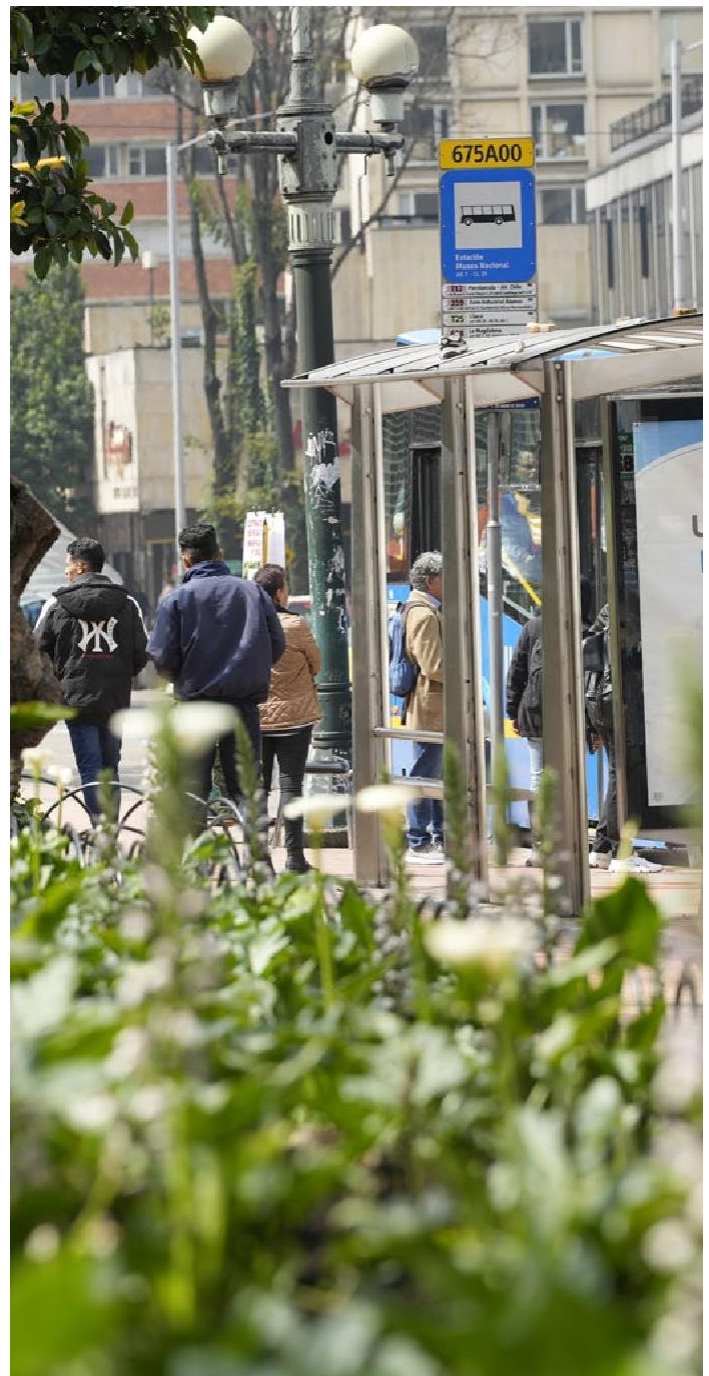
Trabajar en colaboración con la Secretaría Distrital de Educación para promover programas de educación a los estudiantes de Entidades del Estado, sobre la importancia de pagar las tarifas de transporte y las consecuencias de la evasión.

8. Referencias bibliográficas

[1] Corral M., Figueredo W, “Plan de inversión para la disminución de evasores del pago en las estaciones del sistema de transporte masivo Transmilenio”, COL, 2021

[2] Guarda, P., Galilea, P., Paget-Seekins, L., Ortúzar, J. “What is behind fare evasion in urban bus systems? An econometric approach.” *Transportation Research Part A*, 84, 55–71, 2016.

[3] Tirachini A., Quiroz M., Evasión del pago en transporte público: evidencia internacional y lecciones para Santiago. Documento de Trabajo, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA, 2016.



[4] Uzarán C., Velandia E., Guzmán J., “Ascenso y descenso de pasajeros de transporte público colectivo.” *Épsilon: Iss. 18, Article 3*, 2012.

[5] Espejo-Fandiño F, “Análisis del tiempo de ascenso de pasajeros en buses de la ciudad de Bogotá usando un diseño factorial”, *Ingeniería, investigación y tecnología*, vol. XXI, núm. 1, e00005, 2019.

[6] Cardozo R., Suárez M, “Estimación del nivel de evasión de tarifa de transporte con enfoque comportamental basado en encuestas de elección discreta híbrida dentro del portal de Transmilenio 20 de Julio”. COL, 2022

Estructura dinámica y congestión en la red de movilidad de la ciudad de Bogotá

Santiago Ramírez Vallejo

- Universidad Nacional de Colombia,
Secretaría Distrital de Movilidad -

sramirezv@movilidadbogota.gov.co

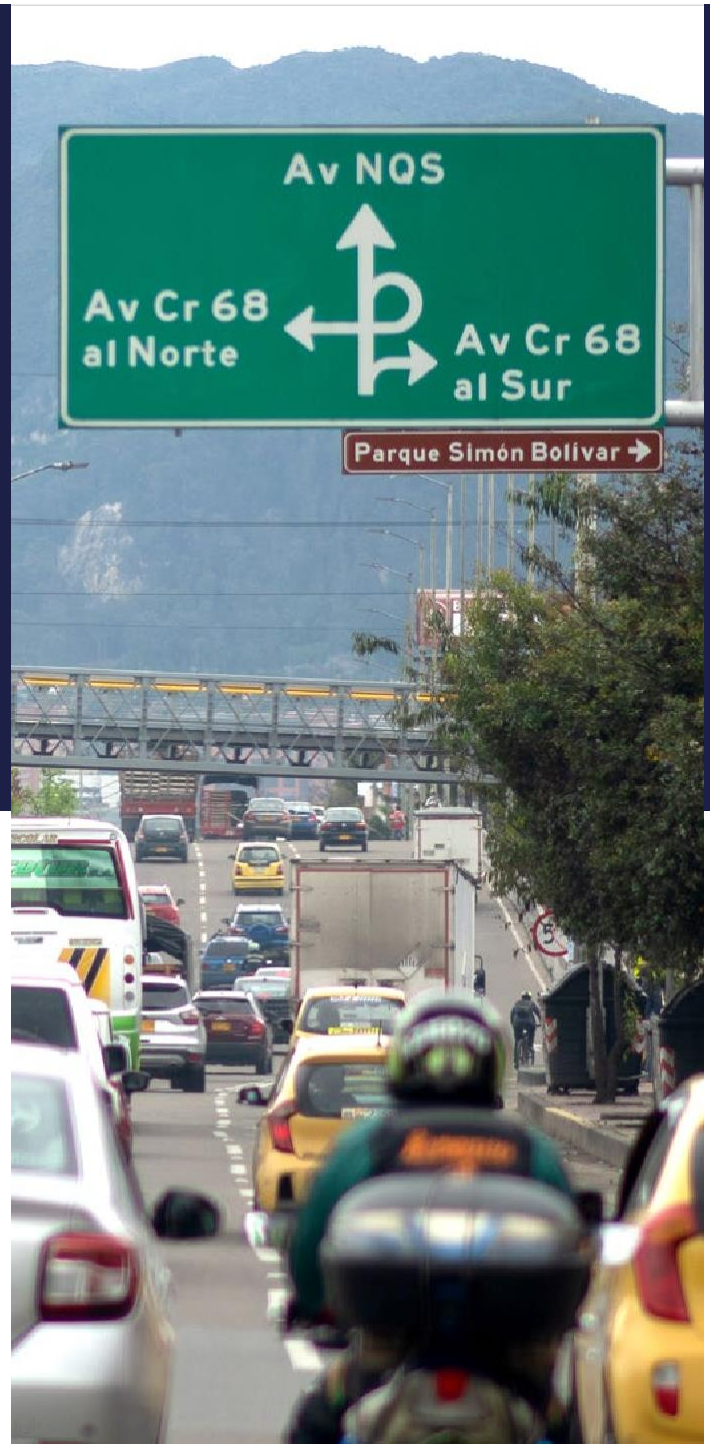
Resumen

Este estudio analizó el fenómeno de la congestión en Bogotá utilizando la encuesta origen destino del año 2019, empleando redes complejas. Se encontró que la distribución de probabilidad del grado se ajusta a una ley exponencial Ae^{-bk} , donde $A = 1, 1399$ y $b = 0, 0126$, para el caso de la red no dirigida. Se encontró que la red sufre un proceso de conexiones y desconexiones entre zonas de la ciudad en función del número de viajes hechos, y hora del día, generando que la estructura de la red cambie en función de estos. Se midieron la cantidad de viajeros, duración, distancia y velocidad de los viajes por estrato socioeconómico y por modo de transporte, encontrando que la mayor diferencia en los patrones de movilidad entre estratos es la distancia recorrida. Para los medios de transporte, Transmilenio es el más veloz, y el menos veloz el Sitp provisional.

1. Introducción

En el mundo actual, abordar problemas complejos requiere herramientas refinadas. Los sistemas complejos, que involucran interacciones no lineales entre numerosos elementos [7], son mejor comprendidos mediante la teoría de grafos y las redes complejas. La teoría de grafos, nacida en 1736 con Leonhard Euler, ha evolucionado con modelos aleatorios [Erdos, 1959], y se han aplicado a sistemas del mundo real, como redes sociales [10] y movilidad urbana.

En el contexto de la movilidad urbana, las redes complejas han sido utilizadas para estudiar patrones de movilidad en diversas ciudades, considerando factores socioeconómicos [7]. Además, se ha anali-



zando la susceptibilidad de las redes a la congestión mediante simulaciones computacionales [2] [4] y estudios en sistemas del mundo real [9].

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

La tesis tiene como objetivo aplicar el formalismo de las redes complejas para estudiar la red de movilidad urbana en Bogotá. Se busca determinar sus características estructurales y topológicas, centrándose en medir los fenómenos de congestión en la red. En resumen, el trabajo pretende modelar la movilidad en Bogotá como una red compleja para analizar tanto la estructura del sistema como los problemas de congestión asociados.

2.2. Objetivos específicos

- Modelar la manera en cómo la gente se mueve a través de la ciudad de Bogotá como una red compleja, a partir de los datos de origen-destino.
- Identificar y analizar la topología de la red de movilidad de Bogotá
- Estudiar los patrones de movilidad a partir del estudio y análisis de la topología de la red en función de la hora del día.
- Medir cantidades como la duración de los viajes por la red y la velocidad, como medidas de congestión.

3. Justificación

Según el Banco Mundial, aproximadamente el 55% de la población mundial reside en áreas urbanas, y muchas de estas enfrentan problemas de congestión en la movilidad. Esta congestión afecta la calidad de vida, aumenta la contaminación y reduce la competitividad. Por ello, es relevante estudiar la movilidad urbana utilizando el formalismo de las redes complejas. El objetivo es comprender las condiciones que generan la congestión y desarrollar modelos y políticas para mitigar este fenómeno.

4. Marco Teórico

4.1. Introducción a la teoría de grafos

La base teórica principal de esta investigación es la teoría de grafos, que define un grafo como un conjunto de nodos y las conexiones entre ellos. Hay diferentes tipos de grafos según la información o sistema que se quiera modelar. El grafo simple no tiene información en las conexiones, mientras que los grafos dirigidos consideran la dirección de las conexiones. Los grafos pesados asignan valores a las interacciones entre nodos, como en el caso de movimientos entre zonas urbanas. Por último, los multígrafos representan más de un tipo de relación entre nodos [10].

4.2. Propiedades de las redes

El objetivo al modelar sistemas como redes es analizar sistemáticamente sus principales características. Es relevante destacar ciertas propiedades que proporcionan información sobre nodos individuales o el comportamiento general del sistema.

La característica clave de cada nodo es su grado, definido como el número de conexiones que posee. En grafos dirigidos, se distingue entre el grado de salida y de entrada, representando las conexiones que entran y salen del nodo. En grafos pesados, se considera la fuerza nodal, que es la suma de los pesos de las conexiones de un nodo. Estas cantidades permiten calcular la probabilidad de elegir aleatoriamente un nodo de cierto grado, lo que proporciona la distribución de probabilidad del grado y el grado promedio, revelando información crucial sobre la estructura de la red. [7]

4.3 Modelos de redes

Una de las maneras más sofisticadas de crear redes sintéticas está basada en la mecánica estadística. Se plantea la idea de un ensamble de grafos, cada uno con un respectivo grado promedio, como análogo a la energía de una partícula en un gas. Aplicando la maximización de la entropía en este sistema, y a partir de multiplicadores de Lagrange, se encuentra que la distribución de probabilidad de que un grafo tenga un grado medio $\langle k \rangle$ sigue una distribución tipo Gibbs-Boltzmann [8].

5. Metodología

Este trabajo se basa fundamentalmente en la Encuesta de Movilidad de Bogotá del 2019, que proporciona información crucial sobre los patrones de movilidad individual de los encuestados. La encuesta abarca a personas mayores de cinco años en hogares específicos, recopilando datos sobre el origen y destino de los viajes, así como otros indicadores como sexo, estrato, modo de transporte, ocupación, entre otros.

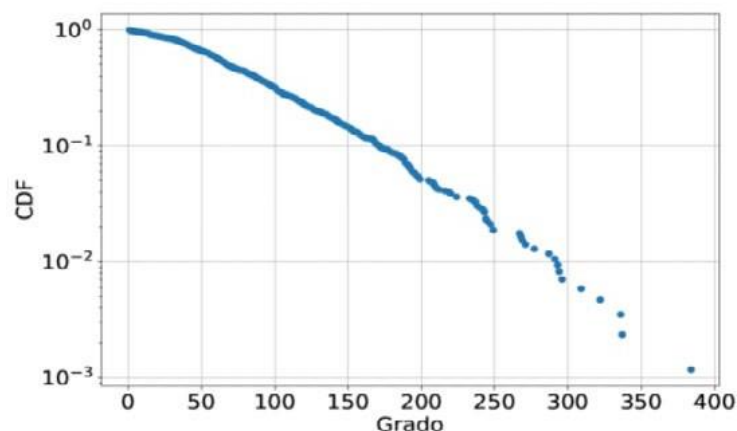
La ciudad de Bogotá se divide en Zonas de Análisis de Transporte (ZAT), que funcionan como nodos en las redes. Aunque la encuesta incluye todos los municipios cercanos a Bogotá, el estudio se limita a Bogotá y Soacha debido a incongruencias en el muestreo con los demás municipios. La elección se basa en la unión de Bogotá y Soacha como una única área urbana, a diferencia de los otros municipios.

6. Resultados

6.1. Distribución de probabilidad del grado y flujo en la red

Uno de los objetivos clave de este trabajo es identificar y analizar las características topológicas de la red de movilidad de Bogotá. Un método apropiado para lograr esto es a través de la distribución de probabilidad del grado de la red. En este caso, se observó que la distribución acumulativa complementaria del grado sigue una ley exponencial de la forma $Ae^{-\beta k}$ en donde $A = 1,399$ y $\beta = 0,0126$ como se puede apreciar en la Figura 1. Un resultado importante es el hecho que el grado promedio $\langle k \rangle = 84,1972$, se aproxima al inverso del parámetro de ajuste $1/\beta = 79,3624$, es decir, $\langle k \rangle \approx 1/\beta$, esto da a entender que la red de movilidad de Bogotá se aproxima al comportamiento visto en un gas ideal, pero no completamente, lo cual da a entender que existe algún tipo de interacción o potencial entre las componentes de la red.

Figura 1: Distribución acumulativa de probabilidad del número de conexiones de cada ZAT



Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con los hallazgos en [7], donde se encontró que la distribución acumulativa complementaria de probabilidad del grado sigue una ley exponencial, aunque los parámetros de ajuste varían. Esta variación puede atribuirse a que este trabajo se centra exclusivamente en los municipios de Soacha y Bogotá, a diferencia del estudio anterior que consideraba la encuesta origen-destino del año 2011.

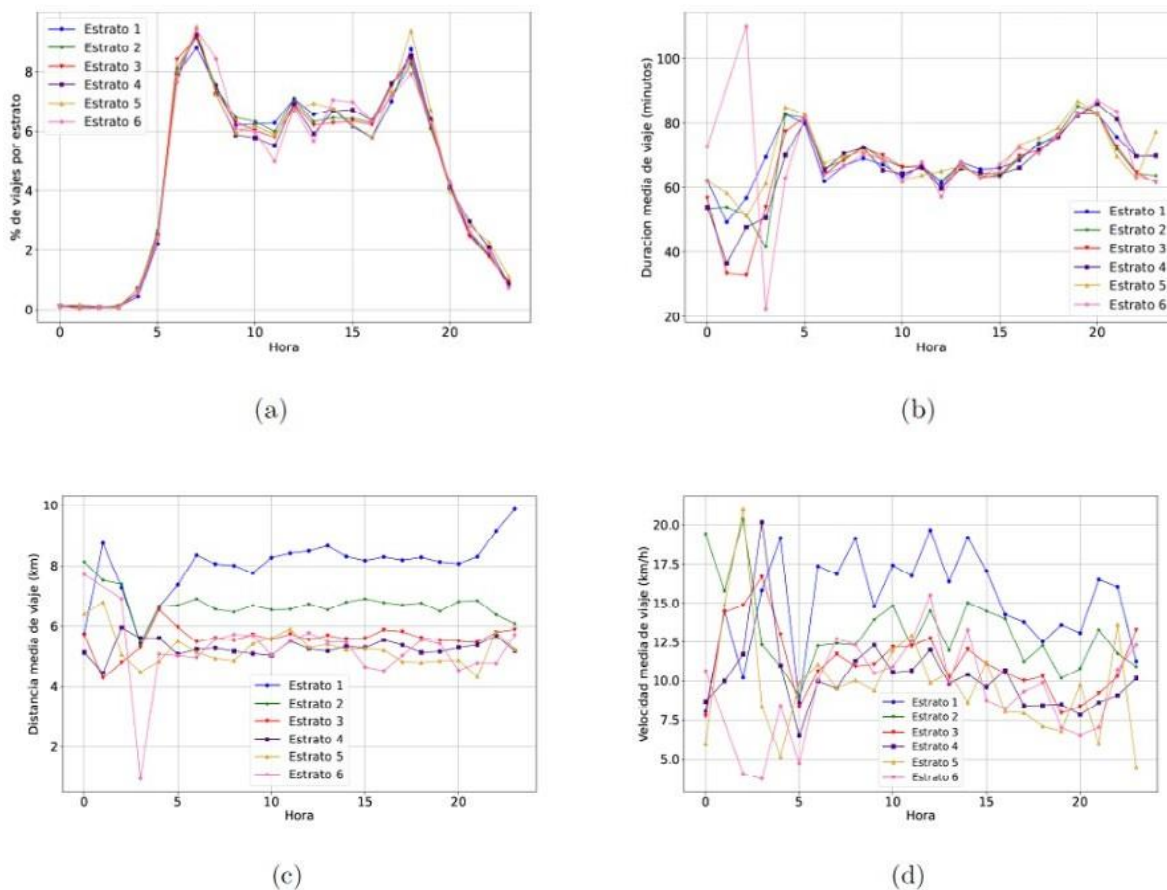
Destaca que las diez zonas con mayor grado se concentran en Chapinero Central, Salitre y el Centro Histórico, caracterizadas por su diversidad de equipamientos, zonas de trabajo y estudio, generando una afluencia constante desde toda la ciudad.

En la red ponderada por el flujo de personas, las zonas con mayor grado también son las de mayor flujo, pero se identifican tres zonas de grado moderado, pero con una fuerza nodal significativa: Soacha, Bosa y Portal de las Américas. Estas áreas, densamente pobladas, exhiben una alta fuerza nodal coherente con su influencia en el flujo de personas. Cabe resaltar que el área de influencia del futuro metro de Bogotá atraviesa varias de estas zonas con alta fuerza nodal, indicando su correspondencia con las áreas de mayor flujo de personas.

6.2. Patrones de movilidad en función del estrato

La *figura 2*, revela ciertas particularidades en términos del porcentaje de personas de diferentes estratos que se desplazan en determinadas horas. Notablemente, los viajes del estrato 1 están distribuidos de manera más uniforme, mientras que los del estrato 6 se concentran en picos específicos. En cuanto a la duración de los viajes, se observan peculiaridades, especialmente antes de las 5 de la mañana, donde el estrato 1 muestra una mayor duración a pesar de tener menos viajes en la red. A lo largo del día, los promedios de duración de viaje no difieren significativamente entre estratos.

Figura 2: En la figura (a) se muestra el porcentaje de viajes por hora en función del estrato, en (b) se puede apreciar la duración media de los viajes en función de la hora a la cual comienza un viaje, la figura (c) se muestra la distancia media y, en (d) se puede ver la velocidad media de los viajes, dependiendo del estrato.

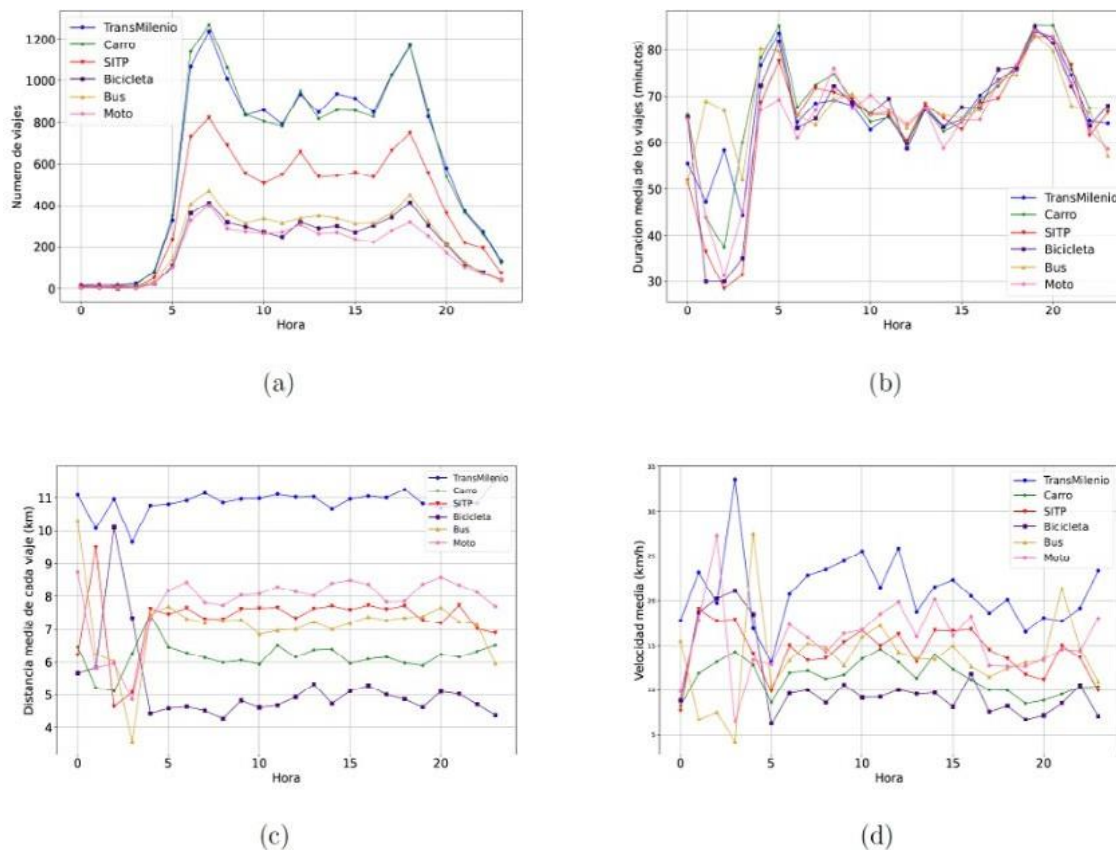


La diferencia más significativa entre estratos se refleja en la segregación geográfica, evidenciada por la tendencia a distancias más largas a medida que el estrato disminuye. Esto ilustra que los patrones de movilidad según el estrato están influenciados por la distancia media de viaje. La disparidad en la velocidad de los viajes entre estratos se deriva directamente de las distancias recorridas y el modo de transporte utilizado. Los estratos más bajos optan por medios de transporte más rápidos, señalando que los estratos con mayor propensión a la congestión son los más altos.

6.2. Patrones de movilidad en función del modo de transporte

Los distintos patrones de movilidad, además de depender del estrato socioeconómico, se ven fuertemente influenciados por los modos de transporte utilizados ver *figura 5*. Se analizan los parámetros previamente mencionados en función de los principales modos de transporte en la ciudad: Transmilenio, carro, Sitp, Sitp provisional (ya inexistente desde 2021), moto y bicicleta.

Figura 3: La figura (a) muestra la cantidad de viajes que se realizan a una determinada hora del día dependiendo de cada modo de transporte, mientras que en (b) se muestra la duración media de los viajes en función de la hora, en la figura (c) se puede ver la distancia media de cada viaje, y en (d) se puede ver la velocidad media de los viajes, en función del modo principal de transporte.



La cantidad de viajes según el medio de transporte sigue el mismo patrón de horas pico y valle visto anteriormente, donde el transporte público representa el 55% de los viajes, mientras que el transporte privado constituye el 45%, destacando la prevalencia del transporte público. En cuanto al promedio de duración de los viajes a lo largo del día, no se muestran muchas diferencias entre los diferentes modos de transporte.

La figura 5(c) revela los medios de transporte más eficientes y, por ende, menos congestionados, siendo Transmilenio, Sitp y moto los más eficientes, seguidos por la bicicleta, el carro y el Sitp provisional, siendo este último el menos eficiente. Este comportamiento se atribuye a la exclusividad de carriles para Transmilenio y algunos buses en la ciudad. Se destaca que el carro, a pesar de ocupar más espacio público, es el segundo medio de transporte menos eficiente como primera aproximación. Además, se observa una diferencia interesante entre Sitp y Sitp provisional, siendo el primero más eficiente en

términos de velocidad, lo cual puede atribuirse a su política de paradas específicas, generando un sistema más veloz y eficiente.

7. Conclusiones

La red de movilidad de Bogotá se comporta aproximadamente como un gas ideal, pero no completamente, lo cual da razón de algún tipo de interacción o potencial entre las componentes de la red.

Los diferentes patrones de movilidad en función del estrato están determinados por la distancia de los viajes producto de la segregación generada por esta clasificación.

8. Impactos a corto, mediano y largo plazo

La importancia de este tipo de estudios radica en que es el primer paso para poder modelar de manera teórica el sistema de movilidad y transporte de



la ciudad de Bogotá, de tal manera que se pueden hacer predicciones y estimaciones en el cambio de los patrones de movilidad al cerrar calles o construir nuevas avenidas o líneas de metro, antes de que estas sean construidas, y así lograr procesos mucho más eficientes y transparentes.

9. Referencias bibliográficas

- [1] Arenas, A., Díaz-Guilera, A., and Guimera, R. (2001). Communication in networks with hierarchical branching. *Physical review letters*, 86(14):3196.
- [2] De Martino, D., Dall'Asta, L., Bianconi, G., and Marsili, M. (2009). Congestion phenomena on complex networks. *Physical Review E*, 79(1):015101.
- [3] Derrible, S. and Kennedy, C. (2011). Applications of graph theory and network science to transit network design. *Transport reviews*, 31(4):495–519.
- [4] Echenique, P., Gomez-Gardeñes, J., and Moreno, Y. (2005). Dynamics of jamming transitions in complex networks. *EPL (Europhysics Letters)*, 71(2):325.
- [5] Euler, L. (1741). *Solutio problematis et geometriam situs pertinentis. Commentarii academiae scientiarum Petropolitanae*, pages 128–140.
- [6] Lotero, L., Hurtado, R. G., Floría, L. M., and Gómez-Gardeñes, J. (2016). Rich do not rise early: spatio-temporal patterns in the mobility networks of different socio-economic classes. *Royal Society open science*, 3(10):150654.
- [7] Lotero Velez, L. (2015). Model for the analysis of urban mobility using the complex networks formalism. *Escuela de Sistemas*.
- [8] Park, J. and Newman, M. E. (2004). Statistical mechanics of networks. *Physical Review E*, 70(6):066117.
- [9] Tan, F., Wu, J., Xia, Y., and Chi, K. T. (2014). Traffic congestion in interconnected complex networks. *Physical Review E*, 89(6):062813.
- [10] Wasserman, S., Faust, K., et al. (1994). *Social network analysis: Methods and applications*.

Monitoreo de velocidad de vehículos usando flujo óptico y el Kalman filter

David Leonardo Moreno, Bibiana Rivera,
Alimar Benitez Molina

- Secretaría Distrital de Movilidad/
Dirección de Inteligencia
para la Movilidad -

dmorenob@movilidadbogota.gov.co,
brivera@movilidadbogota.gov.co,
abenitezm@movilidadbogota.gov.co

Resumen

La ciudad de Bogotá enfrenta un desafío crucial relacionado a la imprudencia en el manejo vehicular. Un estudio hecho por la secretaría de movilidad revela que la mayoría de los accidentes ocurren en días laborables, particularmente en las mañanas y sobre el final de la tarde. Se cree que la velocidad es un factor crítico para que estos incidentes se presenten. Para mitigar esta problemática, se están implementando modelos de analítica usando video para la gestión del tráfico y la seguridad vial. Esta tecnología permite la captura, análisis y extracción de información detallada de imágenes y videos, lo que proporciona una identificación del comportamiento de los conductores en relación con la velocidad. Esta información puede respaldar la toma de decisiones de las autoridades y abre oportunidades para estrategias de control en corredores críticos dentro en la ciudad. La metodología empleada combina detección de objetos, el flujo óptico y el filtro de Kalman para rastrear la velocidad de los vehículos, además de considerar la disposición espacial de la escena. La implementación de esta tecnología permite mejorar el seguimiento de objetos y estimar la velocidad de los vehículos lo que podría contribuir a políticas públicas enfocadas a la mejora de la seguridad vial.

1. Introducción

En la ciudad de Bogotá, se presenta una problemática que requiere un abordaje riguroso y eficaz: la imprudencia en el manejo vehicular. Un estudio adelantado dentro de la secretaría de movilidad, muestra que desde el año 2015 al 2022, se presentó



una mayor accidentalidad en las vías de la capital los días laborales, siendo los martes, miércoles, jueves, viernes y lunes, en orden descendente, los días de mayor accidentalidad en el horario de entre las 6 y las 8 de la mañana. Si hablamos de las muertes, el día que más se presentaron fueron los sábados, con una pendiente notablemente ascendente a partir de las 6 de la tarde siendo crítica la situación entre las 7 y las 8 de la noche. Se cree que estos accidentes están asociados a temas de velocidad que es uno de los temas críticos en la ciudad. Para este desafío se está intentando recurrir a los datos y a la tecnología. La secretaría de movilidad específicamente está diseñando programas de monitoreo y estudiando la posibilidad de implementar controles a través de la implementación de analítica en video.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Mejorar la seguridad vial en la ciudad de Bogotá. El objetivo es reducir los accidentes de tráfico y, en particular, las muertes relacionadas con estos accidentes a través de la generación de políticas públicas basadas en datos.

2.2 Objetivos específicos

Implementar programas de monitoreo de tráfico que utilicen tecnología de video analítica para recopilar datos sobre el comportamiento de los conductores y la velocidad de los vehículos en las vías de Bogotá.

Identificar zonas críticas de alta velocidad para identificar las áreas de la ciudad donde se presenta una alta velocidad y los momentos en los que este comportamiento es más recurrente.

3. Justificación

Hay una necesidad de abordar el grave problema de la imprudencia en el manejo vehicular en la ciudad de Bogotá que se ha identificado con un aumento en las muertes en las vías. En este contexto, la incorporación de la video analítica en la gestión del tráfico y la seguridad vial se presenta como una solución esencial. Al utilizar datos objetivos y cuantitativos, se mejora la toma de decisiones por parte de las autoridades y la implementación de estrategias de control más efectivas y focalizadas.

4. Marco Teórico

Flujo óptico

El desarrollo de la teoría de flujo óptico (Fleet and Weiss, 2005), se basa en la premisa de que la intensidad de los píxeles de un objeto no cambia entre imágenes consecutivas. Esto también aplica para los píxeles vecinos del objeto dado.

Considérese entonces un píxel, $I(x,y,t)$, en un cuadro inicial extraído de un video de seguimiento donde, (x,y) es la posición horizontal y vertical del centroide del objeto detectado y, t , es la variable para el tiempo. Considérese ahora la imagen siguiente en el video, suponga que el objeto es un vehículo y que su centroide se mueve a una distancia, Δx , Δy , con respecto a la imagen anterior y esto tarda un tiempo, Δt . El tiempo está dado por el número de imágenes transcurridas en el video, sobre la cantidad de imágenes por segundo definidas para la cámara en estudio, $t = c/\text{fps}$, y en donde, $\Delta t = 1/\text{fps}$. La intensidad de color del centroide del vehículo no debería cambiar entre una imagen y otra y podemos decir que dicha intensidad es igual en las dos imágenes bajo observación. Es decir, la intensidad del píxel cuando se ha movido una cierta distancia de una imagen a la otra no debería haber cambiado.

Si aproximamos la ecuación de la intensidad usando series de Taylor de primer orden para tres variables y dividiéndola por el tiempo, asumiendo que la intensidad del píxel no cambia, obtendremos la llamada ecuación de flujo óptico.

Esta ecuación describe la variación de la intensidad y de la posición en el componente horizontal y en el componente vertical de una imagen con respecto a otra para el objeto bajo estudio. La función muestra la variación en el tiempo. Sin embargo, los valores de la velocidad, (u,v) , no son conocidos y no son fácilmente calculables. De hecho, esta ecuación termina en un sistema indeterminado que no puede ser resuelto por tener una ecuación con dos incógnitas.

La solución es calcular la velocidad de los puntos vecinos, asumiendo que su velocidad es similar. Se crea entonces una ventana de 3 por 3 píxeles alrededor del punto de interés. Esto resulta en 9 puntos para los cuales se considera se tiene la misma velocidad. Para estos 9 puntos es posible encontrar

los valores de los gradientes de la imagen y solo restaría usar dichos valores para realizar el cálculo de velocidad, (u,v) . A esto se le llama un problema sobre-determinado que puede resolverse usando el método de los mínimos cuadrados, tal cual lo propuso Lucas-Kanade (Lucas and Kanade, 1981).

Monitoreo del tráfico

Una cámara utilizada para monitorear el tráfico, que se encuentra fija en su posición, puede aprovechar el conocimiento de la disposición tridimensional de la escena. Esto incluye la orientación y la distancia de la calle observada con respecto a la cámara, es decir, la distancia desde el nivel del suelo. Al calcular el flujo óptico del centroide de un vehículo, se vuelve factible determinar la velocidad del vehículo en cada momento. Esto se logra mediante las ecuaciones diseñadas para la medición del movimiento usando proyección perspectiva (Shree K. Nayar en 2000).

Detección de objetos mediante YOLO y SSD.

La detección de objetos en imágenes y videos es un campo esencial en la visión por computadora que ha experimentado un rápido avance en los últimos años. Entre las innovaciones más destacadas se encuentran los enfoques de detección basados en redes neuronales convolucionales (CNN), con técnicas como YOLO (You Only Look Once) y SSD (Single Shot MultiBox Detector). Estas metodologías revolucionarias han transformado la forma en que abordamos la detección precisa y eficiente de objetos en diversas aplicaciones científicas y tecnológicas.

El enfoque YOLO, como su nombre sugiere, adopta una perspectiva única y radicalmente eficiente para la detección de objetos. A diferencia de los enfoques de múltiples pasos convencionales, YOLO aborda la detección y clasificación de objetos como un problema de regresión directa en una única pasada. Esto significa que YOLO es capaz de detectar objetos de manera instantánea y precisa en tiempo real, lo que resulta invaluable para aplicaciones como vigilancia, conducción autónoma y análisis de video en tiempo real.

Por su parte, el detector SSD es otro pilar en la detección de objetos impulsada por CNN. Aprovechando una arquitectura de red neuronal profunda, SSD ofrece una combinación única de precisión y

velocidad. Su abordaje multiescalar permite detectar objetos de diferentes tamaños en una sola pasada, lo que garantiza una mayor robustez en escenarios complejos. Esta versatilidad ha convertido a SSD en una opción popular en aplicaciones que requieren tanto alta precisión como rapidez.

Kalman Filter usando flujo óptico.

En problemas de seguimiento de objetos, el filtro Kalman (Y.Chen et al.,2019), permite construir un modelo de detección para estimar el estado objetivo, que en nuestro caso es la posición de un objeto dado. Las arquitecturas disponibles, i.e. Yolo, SSD, para la detección de objetos generan entonces unas cajas alrededor de los objetos de interés. Estas cajas contienen cuatro valores principalmente: ubicación horizontal y vertical del centroide, s , la escala (el área) y , r , la relación entre el ancho y el largo de dicha detección. Las velocidades de la imagen deben ser más o menos constantes (en situaciones normales). Es por esto por lo que podemos limitar nuestros modelos a la ubicación y las velocidades de los objetos. Entonces, el estado que tomaría el Kalman filter para el seguimiento de este tipo de objetos sería el siguiente:

Se ha usado un punto encima de la variable para indicar la tasa de cambio de esa variable entre imágenes.

Para poder mejorar la predicción del movimiento del objeto, del cual tenemos medidas obtenidas de las coordenadas de las cajas, a través del detector de objetos, podemos, usando dos imágenes consecutivas, obtener la velocidad de los objetos, usando flujo óptico, y así tendremos no solamente datos de la detección como las coordenadas x y y , su tamaño y su aspecto, pero también las velocidades del objeto en la dirección horizontal y vertical que pueden ser integradas al análisis, mejorando la estimación de la posición de los objetos a los que se les hace el seguimiento. Sin embargo, esto requiere modificaciones especializadas a las herramientas de tracking (seguimiento).

5. Metodología

El flujo óptico es un concepto fundamental en el ámbito de la visión por computadora, cuyo fundamento radica en la premisa de que la intensidad

de los píxeles de un objeto permanece constante entre imágenes consecutivas, incluso en los píxeles adyacentes al objeto. Esta teoría se aplica de manera específica a un píxel en una imagen inicial de un video de seguimiento, en la que (x, y) representa la posición del centroide del objeto y t denota el tiempo. La ecuación del flujo óptico se deriva asumiendo que la intensidad del píxel no cambia entre imágenes consecutivas. Esta ecuación describe de qué manera evoluciona tanto la intensidad como la posición de un objeto en imágenes sucesivas. Sin embargo, no proporciona directamente las velocidades (u, v) de los objetos, lo que da lugar a un sistema indeterminado. Para resolver este problema, se recurre a métodos de mínimos cuadrados, como el propuesto por Lucas-Kanade, que calcula las velocidades de puntos cercanos asumiendo que estas son similares.

En el contexto de aplicaciones de monitoreo de tráfico, el flujo óptico desempeña un papel crucial en la determinación de la velocidad de los vehículos. Este cálculo se logra mediante ecuaciones que toman en cuenta la disposición tridimensional de la escena y la proyección perspectiva. Esto permite calcular el flujo óptico del centroide del vehículo y, por ende, determinar su velocidad en tiempo real. La obtención del centroide del vehículo se lleva a cabo mediante la detección de objetos a través de arquitecturas de detección, como YOLO y SSD.

Para llevar a cabo el seguimiento de objetos, se utiliza comúnmente el filtro de Kalman, que estima la posición actual del objeto y predice su posición futura en la imagen. Para enriquecer este proceso y mejorar la precisión en las predicciones de movimiento, se incorpora el flujo óptico para obtener las velocidades de los objetos en las direcciones horizontal y vertical. Esto enriquece el análisis y mejora el seguimiento de objetos, aunque requiere adaptaciones especializadas en las herramientas de seguimiento.

6. Resultados

Se tiene la implementación del algoritmo base que hace el cálculo de la velocidad en ciertas vías de la ciudad de Bogotá, y se espera que pronto se pueda hacer el despliegue de dicho análisis para la toma de datos masivos que permitan generación de políticas públicas correspondientes. Ya es posible sin

embargo identificar infractores en las vías usando esta tecnología.

7. Conclusiones

Se propone entonces un modelo basado en la detección de objetos usando arquitecturas como YOLO o SSD, y, posteriormente, usando ecuaciones de flujo óptico, junto con las coordenadas de la detección, como mediciones, se estima la posición del objeto en tiempo real para poder mejorar el seguimiento y al mismo tiempo, para poder usar las ecuaciones de movimiento usando proyección perspectiva para realizar el cálculo de velocidades de cada vehículo en la vía.

8. Referencias Bibliográficas

Fleet, D. J. and Weiss, Y. (2005). Optical flow estimation. *Mathematical Models in Computer Vision: The Handbook*, 1:239–258.

Kalman, R. E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. *Transactions of the ASME—Journal of Basic Engineering*, 82(Series D):35–45.

Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C.-Y., and Berg, A. C. (2016). SSD: Single shot multibox detector. In Leibe, B., Matas, J., Sebe, N., and Welling, M., editors, *Computer Vision – ECCV 2016*, pages 21–37, Cham. Springer International Publishing.

Lucas, B. D. and Kanade, T. (1981). An iterative image registration technique with an application to stereo vision. *Proceedings of Imaging Understanding Workshop*, (1):121–130.

Redmon, J. and Farhadi, A. (2018). Yolo3: An incremental improvement. *arXiv*, 1(1804.02767):1–6.

Y.Chen, D.Zhao, and HaoranLi (2019).

Deep kalman filter with optical flow for multiple object tracking. *IEEE International Conference on systems, Man and Cybernetics*, 1(1):3036–3041.

MEMORIAS MOVI-INNOVA 2023

La SDM no se hace responsable de la información suministrada, ya que los textos son de total autoría de las personas identificadas como autores.



SECRETARÍA DE
MOVILIDAD

