



La implementación de inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano y su influencia en la reducción de los tiempos de desplazamiento en la ciudad de Bogotá.

Luis Miguel Osorio Polanía

Colegio Estudios Superiores de Administración – CESA

Administración de Empresas

Bogotá

2025

La implementación de inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano y su influencia en la reducción de los tiempos de desplazamiento en la ciudad de Bogotá.

Luis Miguel Osorio Polanía

Director: Nicolas Gómez Osorio

Colegio Estudios Superiores de Administración – CESA

Administración de Empresas

Bogotá

2025

Tabla Contenido

Resumen.....	10
Introducción.....	12
1.1 Planteamiento del problema	13
1.2 Justificación	17
1.2.1 Fundamentos y Relevancia	17
1.2.2 Pregunta de Investigación.....	19
1.3. Objetivos	20
1.3.1 Objetivo general.....	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	20
2. Revisión de la literatura	22
2.1. Implementación de inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano	23
2.2. Tiempos promedio de desplazamiento urbano	25
2.3 Factores contextuales de la movilidad urbana	27
2.4 Hipótesis	30
3. Metodología de la Investigación	33
3.1. Tipo y diseño de la investigación	34
3.2 Población y Muestra.....	36
3.2.1 Población y muestra para la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia	36

3.2.2. Población y muestra para la base de datos de la red semafórica, como fuente documentada oficial.....	38
3.3. Instrumentos de recolección de información.....	38
3.3.2 Base de Datos de la Red Semafórica	43
3.3.3 Instrumento para la triangulación analítica	45
3.4 Procedimientos	45
3.4.1 Procedimiento Encuesta Ciudadana de Construcción Propia	47
3.4.2 Procedimiento Fuente Oficial Red de Semaforización.....	48
3.4.3 Procedimiento Integración y triangulación analítica	53
3.4.4 Procedimiento Análisis estadístico complementario – ANOVA y regresión múltiple	55
4. Resultados	57
4.1. Marco General para presentación de los resultados y análisis	57
4.2 Implementación de inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano – Red Semafórica de Bogotá.....	58
4.2.1. Descripción General de la Base de Datos	59
4.2.2 Distribución Geográfica.	60
Índice Compuesto de Implementación e Inteligencia Artificial	65
4.3. Tiempos Promedio de Desplazamiento Urbano (Variable Dependiente)	66
4.3.1 Perfil de la muestra encuestada.....	67
4.3.2 Hábitos de movilidad y desplazamiento	72
4.3.3 Conocimiento y Percepción frente a la Infraestructura de IA instalada.....	74

4.3.4. Percepción e impacto en los tiempos de desplazamiento	78
4.4 Triangulación Analítica	81
4.4.1 Perspectiva General.....	81
4.4.2 Cruces Analíticos	82
4.4.2.1 Cruce 1: Cobertura IA x Tiempos Promedio de desplazamiento en minutos ...	84
4.4.2.2 Cruce 2: Cobertura IA x Percepción de Mejora de Tiempos de desplazamiento	87
4.4.2.3 Cruce 3: Cobertura IA percibida % × Percepción Mejora tiempos de desplazamiento %.....	90
4.4.2.4 Cruce 4: Uso de aplicaciones de movilidad × Percepción de Mejora de Tiempos	92
4.4.2.5 Cruce 5: Cobertura IA (%) × Indicador de Percepción Global Integrada (ICPG).....	94
4.4.2.6 Factores contextuales de la movilidad urbana.....	97
4.4.2.7 Cierre Triangulación Analítica	101
4.5. Análisis estadísticos complementarios	102
4.5.1. ANOVA.....	103
4.5.2. Regresión Múltiple	105
5. Discusión de Resultados	109
5.1 Planteamiento de la discusión.....	109
5.2 Discusión frente a los cruces analíticos.....	110

5.3 Reflexión frente a la literatura	116
5.4 Interpretación de las diferencias	117
6. CONCLUSIONES	119
Implicaciones, Recomendaciones y Futuras Líneas de Investigación	123
Referencias Bibliográficas	131

Tabla de Figuras

Figura 1 Modelo de investigación.....	32
Figura 2 ¿Cuál es su edad?.....	68
Figura 3 Frecuencia desplazamiento en la semana	69
Figura 4 Distribución por modo de transporte.....	70
Figura 5 Modalidad de transporte público	70
Figura 6 Sector Zonal de destino	71
Figura 7 Top 10 corredores viales más frecuentados por la muestra.....	73
Figura 8 Franja de horario desplazamiento.....	74
Figura 9 Percepción nivel de conocimiento.....	75
Figura 10 Utilidad de la tecnología para movilidad.....	76
Figura 11 Reconocimiento de semafóros IA	77
Figura 12 Uso de aplicativos para movilidad	78
Figura 13 Percepción tiempos de desplazamiento dos ultimos años	79
Figura 14 Tiempos de desplazamiento – Hora pico y hora valle.....	80

Tabla de Tablas

Tabla 1 Bloques del instrumento y su soporte documental	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2 Guía estructurada para levantamiento de información oficial – Tematicas e indicadores.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3 Guía estructurada para levantamiento de información oficial –Indicadores y Proósito.	
.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4 Cuadro resumen – Procedimiento de procesamiento de datos ...	46
Tabla 5 Variables principales.....	49
Tabla 6 Indicadores compuestos aplicados al IA estudio	51
Tabla 7 Proceso de triangulación metodológica aplicada en el estudio.....	54
Tabla 8 Cobertura semaforización Bogotá con tecnología IA por sector zonal.	62
Tabla 9 Rango de valoración cobertura según percentil.....	63
Tabla 10 Cobertura semaforización Bogotá con tecnología IA por corredor vial.....	65
Tabla 11 Indicadores para cruce 1 – cobertura IA% x Tiempos_promedio_min	85
Tabla 12 Cobertura IA% x Percepción_de_Mejora.....	88
Tabla 13 Aplicativos moviles x Evolución_de_Tiempo.....	93
Tabla 14 Cobertura IA% x Indicador _Percepción_Global ICPG.....	96
Tabla 15 Factor contextual modo de desplazamiento	
Percepción_Mejora_Tiempos_Desplazamiento	99
Tabla 16 Factor contextual Tiempos_Promedio_de_Desplazamiento	100
Tabla 17 Síntesis de Resultados Anova.....	82
Tabla 18 Síntesis de Resultados Regresión Múltiple.....	84

Tabla 19 Resumen Triangulación de Resultados.....	87
---	----

Tabla de Anexos

Anexo 1 Encuesta Ciudadana de Construcción Propia.....	140
Anexo 2 Ficha Técnica - Diccionario de Datos Red Semafórica.....	148
Anexo 3 Calculo del tamaño de la muestra.....	151
Anexo 4 Sector zonal según la localidad	152
Anexo 5 Matriz de Operacionalización de Variables.....	153
Anexo 6 Nivel promedio semafórico IA por sector zonal.....	154
Anexo 7 Resultados ANOVA	155
Anexo 8 Resultados Regresión Múltiple	157

Resumen

Este estudio analizó la aplicación de tecnologías de inteligencia artificial (IA) en la gestión del tráfico urbano de Bogotá y su relación con los tiempos de desplazamiento. A partir de la información técnica de la red semafórica y de una Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, se evaluó cómo la incorporación de sistemas inteligentes en la red semafórica incide en la movilidad y en la percepción de los tiempos de desplazamiento. El análisis incluyó la construcción de indicadores como densidad semafórica, presencia de IA y distribución de semáforos con capacidades adaptativas, procesados mediante tablas dinámicas y contrastados a través de una triangulación metodológica que integró datos técnicos y percepción ciudadana. Asimismo, se consideraron factores contextuales, la distribución desigual de la infraestructura, el modo de transporte y la concentración de desplazamientos por franja horaria. De manera complementaria, se aplicaron análisis inferenciales, ANOVA y regresión lineal múltiple, para profundizar en la variabilidad de las percepciones y en el peso relativo de factores explicativos asociados a la percepción de mejora en los tiempos de viaje. Los resultados mostraron correlaciones positivas pero moderadas entre la implementación tecnológica y la percepción de mejora, destacando que el impacto de la IA depende de las condiciones estructurales e institucionales del sistema de movilidad. El estudio concluye que la semaforización inteligente debe fortalecerse en cobertura, interoperabilidad y articulación institucional, en línea con el marco de políticas públicas distritales en transformación digital. Finalmente, se propone avanzar hacia evaluaciones basadas en datos de operación en tiempo real y hacia encuestas ciudadanas longitudinales que permitan medir cambios y orientar decisiones estratégicas para el futuro de la ciudad.

Palabras Clave: Inteligencia artificial. Movilidad urbana. Gestión del tráfico.
Semaforización inteligente. Tiempos de desplazamiento.

Introducción

La movilidad urbana en las grandes ciudades se ha convertido en un desafío crítico dado el incremento del parque automotor, los retos de la infraestructura, de la gestión del tráfico y el impacto que la movilidad tiene frente a la productividad, la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida de los ciudadanos (Akhtar y Moridpour, 2021). Diferentes estudios a nivel internacional muestran la inteligencia artificial (IA) como una herramienta clave para mejorar la eficiencia del tráfico urbano, mediante los sistemas de semaforización adaptativa, sensores de tráfico, sistemas digitales de predicción de tráfico y la integración de plataformas inteligentes de movilidad (Akhtar y Moridpour, 2021). Estos avances han sido implementados de manera exitosa en diferentes ciudades del mundo, como, por ejemplo, Singapur, Londres, Los Ángeles o Barcelona, donde la IA contribuye a la regulación del tráfico y a una gestión eficiente en tiempo real de la gestión de movilidad (Ebadinezhad et al., 2024).

Ahora bien, en una ciudad como Bogotá que para el año 2024 ya superaba los 7,9 millones de habitantes según las proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], (2025) y que históricamente ha figurado como una de las más congestionadas del mundo (INRIX, 2022), la movilidad urbana continúa siendo un desafío recurrente, así como la aplicación de herramientas de IA para la gestión de movilidad. Esta investigación se realiza a partir de la identificación de las soluciones de IA que a nivel internacional comprenden la gestión de tráfico, como es su aplicación en Bogotá y el impacto en los tiempos de desplazamiento.

A partir de lo anterior, se presenta la organización de este documento el cual está conformado por cinco capítulos. El primer capítulo contiene la introducción al problema de investigación, su relevancia, contexto y una descripción de la situación e identifica cual es la

necesidad por satisfacer, llegando a su justificación y planteando la pregunta central de la investigación. En este capítulo, también se fijan los objetivos de la investigación. El segundo capítulo corresponde a la revisión de la literatura, donde se abordan los principales conceptos teóricos y los antecedentes sobre la temática relacionada con la movilidad urbana y la inteligencia artificial en la gestión de tráfico, información de la que se deriva la hipótesis de investigación. En el tercer capítulo se desarrolla la metodología de investigación, identificando el tipo de estudio, el diseño de la investigación, la población y muestra, los instrumentos de recolección y los procedimientos empleados para asegurar su validez y confiabilidad de la información obtenida. En el Capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos, tanto de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, como del análisis documental, junto con los cruces exploratorios que permiten contrastar los hallazgos. Finalmente, en el quinto capítulo se exponen las conclusiones y recomendaciones, resaltando los principales aportes del estudio y las posibles líneas de investigación futura.

1.1 Planteamiento del problema

Bogotá es una de las ciudades con mayores problemas de congestión de tráfico (González et al. 2019). Esta afirmación se soporta en diferentes indicadores. Según el informe TomTom Traffic Index (TomTom, 2024), el tiempo promedio de viaje de un trayecto de 10 minutos es de 29 min 23 s, es decir 2,9 veces más de lo normal e indica que los habitantes de Bogotá pierden en horas pico un promedio de 119 horas al año. La encuesta de movilidad de Bogotá y municipios vecinos de 2023, indica que con respecto al año 2022 se registró una disminución en el tiempo promedio de desplazamiento en transporte público pasando de 87 minutos promedio a 71 minutos, pero, los tiempos de desplazamiento promedio en carro particular se aumentaron

pasando de 51,9 minutos a 55 minutos para el mismo periodo (Secretaría Distrital de Movilidad, 2023).

La ciudad ha venido implementando en la última década diferentes estrategias y múltiples políticas orientadas a mejorar la movilidad, como es la expansión del SITP, proyectos de ciclorrutas, implementación de restricciones vehiculares, entre otras (Secretaría de Movilidad, 2023). Así mismo, en años recientes el gobierno distrital ha impulsado también estrategias tecnológicas, orientadas a modernizar la gestión del tráfico. Avances que se enmarcan en las orientaciones establecidas por la política pública distrital en materia de datos, transformación digital y movilidad inteligente. Entre ellas se destaca la instalación de más de 1.600 semáforos inteligentes y el fortalecimiento de plataformas de monitoreo en tiempo real (Secretaría Distrital de Movilidad, 2023), con el propósito de optimizar los flujos vehiculares y reducir los tiempos de viaje. Sin embargo, los tiempos de desplazamiento promedio no han mostrado una reducción sustancial, mientras en 2019 los viajes cotidianos registraban una media de 51,9 minutos para 2022, como ya se anotó llegan a 55 minutos (Secretaría Distrital de Movilidad, 2023). La situación planteada muestra una contradicción aún no resuelta, entre los avances tecnológicos reportados por la administración y la persistencia de altos tiempos de desplazamiento.

En el contexto internacional, la inteligencia artificial (IA), se ha consolidado como una herramienta relevante para la optimización del tráfico urbano. Con soluciones que comprenden principalmente sistemas de semáforos inteligentes, plataformas integradas de movilidad, y la predicción de la congestión (Akhtar y Moridpour, 2021). La aplicación de los modelos de IA a la gestión del tráfico y la mejora de los tiempos incluye además de lo ya señalado el uso de redes neuronales, algoritmos de optimización de rutas y otros, como el machine learning (Shakil et al., 2022).

La efectividad de estas implementaciones se refleja en ciudades como Singapur donde los sistemas de IA permiten ajustar los semáforos en tiempo real con base en datos de tráfico, reduciendo la congestión alrededor de 20%. De manera similar, por ejemplo, la ciudad de Los Ángeles ha integrado modelos predictivos basados en IA que optimizan las rutas del transporte público y particular, disminuyendo los tiempos de desplazamiento en porcentajes que rondan el 15% (Ebadinezhad et al., 2024). En Santander, España, pionera en el uso del Internet de las Cosas (IoT), han implementado sensores dinámicos en vehículos para el seguimiento del tráfico, optimizando así los flujos de movilidad en la ciudad (González et al. 2019). Estos casos internacionales muestran, en la referenciación académica, que los factores de éxito han estado asociados con contextos de transporte integrado, infraestructura digital robusta y políticas públicas sostenidas, factores que han sido determinantes para alcanzar mejoras significativas en la movilidad.

En contraste con los factores de éxito mencionados sobre el contexto internacional, para el caso de Bogotá, diversos estudios y reportes señalan que la ciudad enfrenta múltiples barreras. En primer lugar, se tiene que la informalidad en el transporte urbano, que alcanza el 38% según estimaciones recientes, limita la posibilidad de integrar todos los sistemas de movilidad en un modelo digital unificado (González et al. 2019). En segundo lugar, la falta de políticas públicas claras y de inversión sostenida tanto en investigación como en innovación representa un obstáculo, es el caso que el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2022) reporta que el presupuesto en I+D para transporte no alcanza el 1% del PIB, en contraste con los niveles de inversión de las ciudades referentes.

Adicionalmente, a los aspectos planteados, se suma una infraestructura vial deficiente, se reporta que más 40% de las vías de Bogotá se encontraban para 2023 y 2024 en estado no

satisfactorio, (Secretaría de Movilidad, 2024), dificultando la integración de soluciones tecnológicas avanzadas (Vasirani y Ossowski, 2014). Otro factor es el referente a la resistencia al cambio tecnológico (González et al, 2019) y la fragmentación de los sistemas de monitoreo actuales, que no permiten una gestión eficiente basada en datos en tiempo real.

Es así como, las consecuencias de esta situación son múltiples y de gran impacto. En términos de calidad de vida, Bogotá registra en promedio trayectos de hasta 90 minutos en horas pico, lo que limita el tiempo disponible para la vida personal y social (TomTom, 2024). En el ámbito ambiental, la ciudad presenta concentraciones de material particulado PM2.5 y niveles de CO₂ superiores a los recomendados por la OMS (Secretaría de Ambiente de Bogotá, 2023). En el plano económico, la congestión genera sobre costos logísticos y reduce la competitividad empresarial (Secretaría de Movilidad de Bogotá, 2023). En términos de salud pública, la exposición prolongada a ambientes de tráfico denso se asocia con enfermedades respiratorias y con un incremento del estrés crónico en los habitantes urbanos (González et al, 2021). Los efectos señalados muestran que la congestión en Bogotá no solo constituye un problema de movilidad, sino también una amenaza para la sostenibilidad urbana y el bienestar ciudadano.

De otra parte, adicional a lo ya descrito, se encuentra con respecto a Bogotá, y en general con respecto a Colombia, un vacío de información académica y práctica en torno al impacto de la inteligencia artificial en la movilidad urbana y los retos de su implementación. Aunque la literatura internacional ha documentado experiencias exitosas en ciudades con sistemas de transporte integrados y políticas públicas sólidas, persiste una brecha en la investigación sobre la aplicabilidad de estas tecnologías en contextos de alta informalidad y con limitaciones estructurales y regulatorias, como el bogotano. La información disponible sobre IA y movilidad en Colombia es fragmentada, y no existe una base consolidada de estudios que permita evaluar

de manera integral los efectos de su implementación en la reducción de los tiempos de desplazamiento. Esta situación limita el diseño de estrategias basadas en evidencia y dificulta la toma de decisiones fundamentadas por parte de las autoridades locales y los actores del sector transporte.

Es así como, se hace fundamental analizar de manera sistemática la relación entre la implementación de tecnologías de IA y los tiempos promedio de desplazamiento en Bogotá, integrando tanto la perspectiva ciudadana como la evidencia documental. Este análisis permitirá aportar elementos de juicio sólidos sobre la pertinencia, efectividad y limitaciones de las iniciativas actuales de movilidad basadas en inteligencia artificial para la gestión de movilidad en la ciudad de Bogotá, a partir también, de la revisión de experiencias internacionales y su contraste con el contexto local.

1.2 Justificación

1.2.1 Fundamentos y Relevancia

La movilidad urbana, como se evidenció, en el planteamiento del problema, constituye uno de los principales retos para Bogotá, con repercusiones en la calidad de vida de los habitantes, la competitividad económica y la sostenibilidad ambiental. La congestión vehicular genera pérdidas en productividad, sobrecostos logísticos, mayor contaminación y afectaciones en la salud pública. Estas consecuencias resaltan la importancia de estudiar alternativas innovadoras que puedan aportar soluciones a la gestión del tráfico.

A nivel internacional, la inteligencia artificial (IA) ha demostrado ser una herramienta eficaz para optimizar la movilidad. Ciudades como Singapur, Londres, Los Ángeles o Santander en España han implementado sistemas de semaforización adaptativa, algoritmos predictivos y

plataformas integradas de movilidad, alcanzando reducciones de hasta el 20% en los tiempos de viaje (Ebadinezhad et al, 2024). Sin embargo, estas experiencias se han desarrollado en entornos con condiciones muy distintas a las de Bogotá: sistemas de transporte integrados, infraestructura digital sólida y políticas públicas consistentes. Esto genera un vacío de conocimiento acerca de cómo la IA puede funcionar en contextos con alta informalidad en el transporte, rezagos en la infraestructura vial y limitaciones regulatorias, como es el caso de la capital colombiana.

La relevancia de esta investigación se enmarca precisamente en esa brecha. Aunque Bogotá ha implementado proyectos como la instalación de semáforos inteligentes y plataformas de monitoreo en tiempo real, los indicadores de desplazamiento muestran que los tiempos de viaje no han mejorado y la congestión en el tráfico sigue siendo un reto significativo. Esto plantea la necesidad de generar evidencia basada en datos, que permita comprender la relación real entre la implementación de IA y los tiempos de desplazamiento urbano en un contexto complejo como el bogotano.

Las implicaciones de este estudio se proyectan en diferentes dimensiones. En lo social, permitirá comprender cómo las tecnologías inteligentes pueden incidir en una mejor calidad de vida al disminuir el impacto del tráfico prolongado sobre el bienestar físico y mental de los ciudadanos. En lo ambiental, un sistema de movilidad más eficiente aportaría a la reducción de emisiones contaminantes, en línea con los compromisos de sostenibilidad urbana. En lo económico, el estudio puede ofrecer insumos para mejorar la productividad al disminuir los costos asociados con la congestión. En lo institucional, los resultados podrán servir como guía para diseñar políticas públicas fundamentadas en evidencia y con mayor pertinencia frente a la realidad local.

Los beneficiarios de este trabajo son diversos. Las autoridades locales podrán contar con información más clara sobre la efectividad de las inversiones en tecnologías inteligentes; las empresas de transporte, tanto público como privado, podrán acceder a insumos para optimizar sus operaciones; los ciudadanos se beneficiarán de las mejoras que puedan lograrse en tiempos de desplazamiento y calidad del aire; y la comunidad académica encontrará un referente útil para futuras investigaciones sobre movilidad urbana en contextos similares en América Latina.

En conclusión, este estudio es relevante porque busca llenar un vacío de conocimiento académico y práctico sobre la aplicación e impacto de la inteligencia artificial en la movilidad urbana de Bogotá. Al generar evidencia sobre su relación con los tiempos de desplazamiento, la investigación aportará herramientas útiles para la toma de decisiones en el sector transporte y se convertirá en un referente para ciudades con problemáticas semejantes en la región.

1.2.2 Pregunta de Investigación

De acuerdo con los planteamientos efectuados, se formula la pregunta que orienta esta investigación: **¿Cuál es la relación entre la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en la gestión del tráfico y los tiempos promedio de desplazamiento urbano en la ciudad de Bogotá?**

De esta pregunta se derivó el objeto de estudio, como la relación entre la implementación de la IA y los tiempos promedio de desplazamiento en la ciudad de Bogotá.

Este planteamiento conlleva a la definición de las variables relevantes, en primer lugar, la implementación de inteligencia artificial en la gestión de tráfico, como variable independiente y en segundo lugar, los tiempos promedio de desplazamiento urbano en la ciudad de Bogotá, como variable dependiente.

1.3. Objetivos

Considerando que esta investigación tiene como finalidad establecer la relación entre la implementación de tecnologías de inteligencia artificial (IA) en la gestión del tráfico urbano y los tiempos promedio de desplazamiento en la ciudad de Bogotá, se define el objetivo general y los objetivos específicos que orientan el proceso de recolección, análisis y triangulación de la información, tanto desde fuentes documentales como datos de primera mano obtenidos de respuestas ciudadanas recolectadas a través de encuestas estructuradas.

1.3.1 Objetivo general

Analizar la relación entre la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano y los tiempos promedio de desplazamiento urbano en la ciudad de Bogotá.

1.3.2 Objetivos específicos

-Identificar el nivel de conocimiento, percepción y uso de tecnologías de inteligencia artificial por parte de los ciudadanos en relación con la movilidad urbana en Bogotá.

-Recolectar datos sobre los tiempos promedio de desplazamiento urbano en diferentes zonas y condiciones, según la percepción ciudadana.

-Contrastar la presencia documentada de tecnologías de IA en la gestión del tráfico con la información recolectada en encuestas ciudadanas.

-Delimitar los factores contextuales (tipo de transporte, zona geográfica, horario y nivel de infraestructura digital) que podrían influir en dicha relación.

-Establecer si existe una relación entre la presencia de tecnologías de IA y una reducción en los tiempos promedio de desplazamiento urbano.

Los objetivos de esta investigación fueron formulados siguiendo la taxonomía de Bloom, avanzando progresivamente desde niveles cognitivos básicos como la identificación y recolección de información, hasta niveles superiores de análisis y establecimiento de relaciones. Asimismo, cumplen con los criterios SMART, al ser específicos, medibles, alcanzables, relevantes y delimitados en el tiempo y en el contexto de la ciudad de Bogotá.

2. Revisión de la literatura

Para este trabajo de investigación, se definieron dos variables de trabajo, la primera de ellas referida a la implementación de la inteligencia artificial (IA) aplicada a la gestión de tráfico urbano, como variable independiente y la segunda los tiempos promedio de desplazamiento, como variable dependiente. Estas variables fueron seleccionadas con base en la literatura académica, donde se destaca su incidencia frente al problema de esta investigación, el cual está referido a la congestión vehicular y la oportunidad que ofrece la IA para mejorar la gestión de movilidad y su relación con los tiempos de desplazamiento. (Akhtar y Moridpour, 2021; Ebadinezhad et al., 2024; Zhang et al., 2024).

La presente revisión de literatura permitió entender y comprender para cada una de las variables su base y fundamento teórico, así como profundizar en su definición a través de estudios previos, identificar su uso en la investigación y explorar las estrategias y metodologías aplicadas para su medición de manera válida y confiable. Estos hallazgos permitieron también, establecer una relación clara entre el fenómeno investigado y el objetivo de esta monografía, al evidenciar como la implementación de IA se relaciona con la variable dependiente definida.

Asimismo, se incluyeron referencias orientadas a comprender los factores contextuales que inciden en la relación entre ambas variables. Estos factores se refieren a las condiciones de la ciudad, la densidad vehicular, la planificación vial, los temas culturales relacionados con el comportamiento y la capacidad institucional para adoptar y mantener soluciones tecnológicas. Dichos aspectos permitieron sustentar teóricamente el análisis y reconocer que los efectos de la IA sobre la movilidad no dependen únicamente de la presencia tecnológica, sino también de las dinámicas de cada ciudad. Comportamientos que influyen significativamente en la efectividad de las estrategias inteligentes de gestión del tráfico (Injac et al., 2025).

2.1. Implementación de inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano

En los últimos años, la inteligencia artificial (IA) se ha consolidado como una herramienta clave en el ámbito del transporte urbano, particularmente en la gestión del tráfico. Investigaciones recientes muestran como el uso de algoritmos de aprendizaje profundo y de refuerzo permiten optimizar la sincronización semafórica y mejorar la predicción de condiciones de tráfico en tiempo real. Por ejemplo, Akhtar y Moridpour (2021) documentan cómo los modelos de IA, aplicados a la movilidad urbana, han permitido integrar semáforos adaptativos, plataformas de movilidad inteligente y sistemas predictivos, logrando impactos significativos en eficiencia. De manera similar, Shakil et al. (2022) destacan que la combinación de machine learning y big data ha sido utilizada para anticipar patrones de congestión y proponer rutas alternativas más eficientes en entornos metropolitanos. En el caso de Singapur, Londres o Los Ángeles, la adopción de estas herramientas se ha traducido en reducciones en la congestión vehicular que oscilan entre el 15 % y el 20 % (Ebadinezhad et al., 2024).

El uso de la IA en el tráfico urbano no se limita únicamente a contextos con infraestructura avanzada. Investigaciones en ciudades intermedias de Europa y Asia han mostrado que la implementación de sensores dinámicos e Internet de las Cosas (IoT) también permite recopilar datos para alimentar sistemas predictivos de tráfico (González et al. 2019). Sin embargo, la literatura también advierte que estos resultados dependen de factores estructurales y de gobernanza: infraestructura digital robusta, integración del transporte público, continuidad en las políticas públicas y aceptación cultural de la tecnología (González et al. 2019). Esto implica que los logros alcanzados en ciudades altamente desarrolladas no son automáticamente replicables en entornos con alta informalidad en el transporte y limitaciones regulatorias, como es el caso de Bogotá.

Desde el punto vista teórico, IA aplicada al tránsito, surge como una evolución dentro del campo de los sistemas inteligentes de transporte (ITS, por sus siglas en inglés), enmarcándose en la teoría de la automatización de sistemas complejos y la ciencia de datos. En Zhu et al, (2019) y Timalisina y Parajuli, (2024) dan una visión general sobre como los ITS han evolucionado al aprovechar las diferentes tecnologías de comunicación, para darle seguridad a los usuarios en las carreteras, apoyar la movilidad urbana y la movilidad autónoma, basados en sistemas de control. Sustenta también, que estos modelos se fortalecen al integrarlos con las tecnologías emergentes y que permiten el desarrollo de modelos más precisos de inteligencia artificial para la gestión del tráfico urbano. Su origen teórico se vincula también, a lo que se denomina un nuevo paradigma del desarrollo urbano y las ciudades inteligentes. Donde, por ejemplo, en Englund et al. (2021), muestran como la administración de las ciudades y las comunidades se centran en buscar eficiencias a través de la automatización de actividades y servicios para lograr su optimización, dando paso a las ciudades inteligentes. Estas ciudades buscan integrar tecnologías emergentes para optimizar servicios urbanos, como el tráfico (Zhang et al., 2024). Este enfoque concibe la movilidad como un fenómeno dinámico, en el que las decisiones automatizadas pueden influir en tiempo real para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas viales (Ebadinezhad et al., 2024). También en Englund et al. (2021) se resalta la importancia de la captura de datos y la conciencia de las situaciones para que el flujo de datos se logre y retroalimente a los actores de las ciudades inteligentes.

Los diferentes autores estudiados, se detienen para su definición sobre los componentes tecnológicos y tanto en las implicaciones estratégica como operativas en el medio urbano. Es así como, Aktahar y Moridpour (2021) resalta que la inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano se refiere a la utilización de algoritmos predictivos y a los modelos de aprendizaje

automático para con base en datos anticiparse al comportamiento del tráfico y efectuar el correspondiente ajuste de forma dinámica a los flujos de tráfico, a partir de la integración de tecnologías tanto de captura como de respuesta. En Shaikh et al. (2022) definen a la inteligencia artificial en la gestión de tráfico, como el uso de redes neuronales, sistemas evolutivos e inteligencia enjambre que facilitan la sincronización de semáforos inteligentes y la optimización de los patrones de circulación de tráfico. En Ebadinezhad et al. (2024), se presenta como la integración de tecnologías de inteligencia artificial con tecnologías de procesamiento de datos cercanas a los usuarios provenientes de múltiples dispositivos, para monitoreo, predicción y control del tráfico urbano, buscando garantizar seguridad y eficiencia en la movilidad.

Finalmente, en Nigam et al. (2023) y Zhang et al, (2024) plantean el procesamiento de datos masivos en tiempo real a través de modelos algorítmicos capaces de dar respuestas automáticas ante el comportamiento del flujo vehicular a través de la red de semaforización, como la columna vertebral de la inteligencia artificial en la movilidad, permitiendo el desarrollo de ciudades inteligentes. Ilgin et al. (2014) explora como la tecnología puede optimizar el funcionamiento de las intersecciones viales, ajustando en tiempo real los parámetros de los tiempos de señalización, para permitir una gestión, más adaptativa y dinámica que ayude a reducir los tiempos de desplazamiento.

2.2. Tiempos promedio de desplazamiento urbano

El tiempo promedio de desplazamiento urbano constituye una de las métricas más utilizadas a nivel internacional para evaluar la eficiencia de los sistemas de transporte y la calidad de la movilidad en las ciudades. En los últimos cinco años, múltiples estudios han utilizado esta variable como un indicador clave para medir la congestión, comparar el desempeño entre ciudades y evaluar el impacto de políticas públicas. Por ejemplo, el Global Traffic

Scorecard de INRIX (2022) ubica a Bogotá entre las ciudades con mayores tiempos de viaje en el mundo, alcanzando más de 120 horas perdidas al año por conductor en congestión. De igual manera, reportes como el TomTom Traffic Index,(TomTom, 2024) muestran que en ciudades latinoamericanas como Ciudad de México, Lima y Bogotá, los tiempos de viaje en horas pico superan en promedio los 90 minutos por trayecto, reflejando patrones comunes de ineficiencia en la movilidad urbana en la región.

Desde la perspectiva académica, los tiempos de desplazamiento también han sido empleados en investigaciones para contrastar la efectividad de proyectos de infraestructura y de la implementación de tecnologías inteligentes. Estudios como los de González et al. (2019), evidencian que el aumento de la congestión en Bogotá se traduce en un deterioro directo de la calidad de vida y de la salud pública, mientras que análisis comparativos en Europa y Asia han demostrado que la reducción de los tiempos promedio de viaje se correlaciona con mejoras en productividad y sostenibilidad urbana (Akhtar y Moridpour, 2021).

El origen de esta variable puede rastrearse a los primeros estudios de movilidad urbana en la década de 1960, cuando los tiempos de viaje se consolidaron como una medida estándar dentro de los estudios de transporte metropolitano. Estos indicadores fueron inicialmente aplicados en ciudades norteamericanas para evaluar la eficiencia de las inversiones en autopistas y transporte público, y posteriormente adoptados por organismos internacionales como la OCDE y el Banco Mundial para comparar la competitividad urbana (Vasirani y Ossowski, 2014).

En cuanto a las definiciones, el tiempo promedio de desplazamiento ha sido conceptualizado de distintas formas. El TomTom Index (TomTom, 2024) lo define como la media de minutos que tarda un conductor en completar un trayecto en condiciones de congestión. La Encuesta de Movilidad de Bogotá (Secretaría de Movilidad 2019) lo entiende como el tiempo

que tarda un ciudadano en recorrer un trayecto habitual entre su lugar de residencia y su destino principal. Por su parte, INRIX (2022) lo conceptualiza como las horas anuales perdidas en congestión por conductor. En esta investigación, la variable se adoptará como la duración promedio, expresada en minutos, que un ciudadano tarda en completar un trayecto urbano en Bogotá, diferenciando entre horas pico y horas valle, con base en la percepción ciudadana y en datos secundarios documentales.

2.3 Factores contextuales de la movilidad urbana

En este punto se revisaron los factores contextuales que, aunque no corresponden una variable dentro del alcance de la presente investigación si se ha detectado en la revisión de la literatura que estos conforman un elemento fundamental para la relación existente entre la implementación de IA en la gestión de tráfico y los tiempos de desplazamiento.

Este elemento reúne las características de contexto que condicionan la relación entre la implementación de IA en la gestión del tráfico y los tiempos de desplazamiento: el tipo de transporte utilizado por los usuarios, la sectorización geográfica de la ciudad, las franjas horarias de mayor demanda y el nivel de infraestructura digital disponible. Su incorporación en la revisión permite interpretar con mayor precisión los resultados reportados por la literatura y delimitar la aplicabilidad de los hallazgos al caso de Bogotá.

Múltiples estudios (González & Liberona, 2019; Kumar & Raubal, 2021; Sobral et al., 2019; Wolniak & Stecula, 2024), han mostrado que la efectividad de las intervenciones inteligentes en movilidad depende en buena medida del contexto operativo. La presencia de transporte público formal e integrado, la proporción de viajes en vehículo particular y motocicleta, y la coexistencia con modos no motorizados influyen en la manera como se forman

y disipan las colas en la red, afectando el desempeño de algoritmos de control adaptativo y de predicción de tráfico. Investigaciones en ciudades latinoamericanas y asiáticas señalan que, donde existe una alta participación de modos informales o servicios no regulados, se dificulta la alimentación consistente de los sistemas de datos y la coordinación entre intersecciones, lo que atenúa los beneficios esperados de la IA. Estas dificultades incluyen la falta de integración con la infraestructura existente, así como los desafíos propios del sistema regulatorio, hasta la privacidad en los datos ya las preocupaciones sobre la seguridad de los datos ((Wolniak & Stecuła, 2024).

La dimensión geográfica también es crítica: los resultados varían entre corredores estructurantes, mallas locales y áreas centrales con alta densidad de cruces semaforizados. Asimismo, la literatura distingue patrones diferentes entre horas pico y horas valle, subrayando que la sensibilidad de los modelos a la variabilidad de la demanda exige mecanismos de control y predicción que se adapten a cambios rápidos en la ocupación vial (Soomro et al, 2018; Kumar & Raubal, 2021; Lombardi et al., 2012). Finalmente, se ha documentado que la infraestructura digital sensores confiables, cámaras, lazos inductivos, comunicaciones estables y centros de controles un habilitador indispensable para que los modelos de IA operen en tiempo real y escalen más allá de pilotos.

El tratamiento de factores contextuales tiene sustento en la teoría de la demanda de transporte y en la teoría de flujos y formación de colas, que plantean que el desempeño del sistema resulta de la interacción la capacidad vial, el control, y la gestión de la demanda con sus aspectos de temporalidad y espacio. Desde la perspectiva de sistemas, estos factores operan como variables de entorno que condicionan la observabilidad y controlabilidad del tránsito; en términos de analítica, afectan la calidad y disponibilidad de datos, así como la posibilidad de

aprender políticas robustas en modelos de aprendizaje por refuerzo y de generalizar predictores espaciotemporales.

En esta investigación, los factores contextuales se entenderán como: (i) tipo de transporte predominante en el viaje habitual del encuestado (público formal, particular, motocicleta, no motorizado), (ii) sector geográfico de destino principal según la sectorización adoptada para Bogotá, (iii) franja horaria de desplazamiento (pico mañana, pico tarde, valle) y (iv) nivel de infraestructura digital observable en los sectores zonales y corredores con presencia documentada de semaforización inteligente, entendida como aquella que tiene sistemas actuados o responsivos. Operacionalmente, estos factores se incorporarán como variables de control y de segmentación para interpretar los resultados y para contrastar, mediante análisis comparativos, si la relación entre la implementación de IA y los tiempos de desplazamiento se mantiene o varía según el contexto.

Ahora bien, en cuanto al estado del arte, se puede concluir que se observa que la evolución y tendencias se centran, en que el primer aspecto básico es superar la conectividad de los elementos que conforman la red de gestión de tráfico, la implementación de algoritmos de aprendizaje automático, la orientación a la automatización de los sistemas de control, como es la semaforización, que propone modelos híbridos para la predicción del tráfico y la implementación de tecnologías emergentes integradas son los enfoques de los últimos cinco años. Desde el aspecto geográfico o regional, se muestra una concentración en estudios predictivos integrados con las plataformas de movilidad inteligente, en India, China y Emiratos Árabes. (Kumar & Raubai, 2021; Zhang et al., 2024). En Europa y Norteamérica se tienen estudios recientes que aplican las técnicas de aprendizaje profundo y modelos de simulación basados en big data. Por ejemplo, en estudios realizados por Shabestary & Abdulhai (2018) para Canadá, aplican

aprendizaje profundo en las señales de tránsito, logrando reducción del tiempo de viaje y emisiones. Para esta misma región en Yin et al. (2021) se realiza una revisión sobre la predicción de tráfico basados en modelos híbridos de IA para toma de decisiones en tiempo real. En América Latina se encuentra aún literatura escasa, aunque se evidencian estudios como los abordados por Gonzales, Ferro & Liberona (2020) y Ramirez & Valencia (2020), quienes, si bien no muestran una tendencia tecnológica, resaltan los retos de gobernanza, informalidad en el transporte, fragmentación tecnológica entre los diferentes sistemas y la falta de calidad de datos.

Otro aspecto para destacar de esta revisión es que la mayoría de los estudios sean realizado en contextos de alta formalización del transporte y una fuerte infraestructura tecnológica. Existe una brecha regional en estudios con respecto a Latinoamérica, lo cual evidencia el vacío investigativo y la adopción de estas tecnologías en la región. Aunque, emergen estudios como el Gonzales, Ferro & Liberona 2020 que exponen para el contexto colombiano y específicamente Bogotá, las limitaciones del entorno dada por la informalidad en el transporte, la falta de inversión tecnológica y la fragmentación institucional. Sin embargo, con una visión de futuro y reforzando la pertinencia de la presente investigación, estos factores deben ser considerados no como insalvables sino como dimensiones críticas de análisis. Shaikh et al. (2022); Nigam et al. (2023).

2.4 Hipótesis

La formulación de la hipótesis de esta investigación se fundamenta en la evidencia teórica y empírica reportada en la literatura, que vincula el uso de inteligencia artificial (IA) en la gestión del tráfico urbano con la eficiencia de la movilidad. Diversos estudios han demostrado que herramientas como los semáforos inteligentes, los algoritmos de predicción de tráfico y las

plataformas integradas de movilidad permiten anticipar la congestión y redistribuir los flujos vehiculares en tiempo real (Akhtar y Moridpour, 2021; Shakil et al., 2022). Estos sistemas han mostrado impactos positivos en ciudades como Singapur o Londres, donde se reportan reducciones entre el 15% y 20% en los tiempos de viaje (Ebadinezhad et al., 2024). Tales hallazgos sustentan la premisa de que la implementación de IA puede tener una correlación directa con la disminución de los tiempos de desplazamiento urbano.

En términos conceptuales, la variable independiente definida es la implementación de inteligencia artificial en la gestión del tráfico, mientras que la variable dependiente corresponde a los tiempos promedio de desplazamiento urbano en Bogotá. La literatura revisada documenta que, al automatizar procesos como la sincronización de semáforos o la detección de incidentes, los sistemas de IA generan mejoras significativas en la movilidad (Shabestary y Abdulhai, 2018; Sattari et al., 2017). En algunos casos, se han reportado incrementos de eficiencia en un rango del 10% al 40%, dependiendo de la robustez de la infraestructura y el grado de integración de los sistemas (Zhang et al., 2024). Con base en estos antecedentes, se plantea que la relación entre las variables en Bogotá podría ser positiva y de intensidad moderada a alta, aunque modulada por factores contextuales como la informalidad del transporte y las limitaciones de infraestructura.

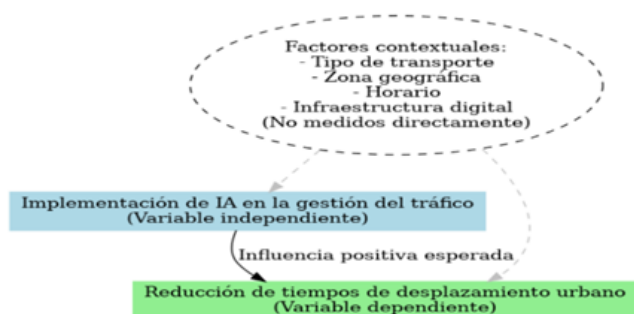
Por lo tanto, se plantea la siguiente hipótesis central de la investigación: La implementación de inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano influye en la reducción de los tiempos de desplazamiento en la ciudad de Bogotá.

El modelo gráfico correspondiente representa esta hipótesis como una relación unidireccional entre la variable independiente (IA en gestión del tráfico) y la variable dependiente (tiempos promedio de desplazamiento urbano), con la inclusión de factores

contextuales, modo de transporte, zona geográfica, horario que aunque no se miden directamente, se consideran moduladores de dicha relación.

Figura 1

Modelo de Investigación



Nota. Construcción Propia

3. Metodología de la Investigación

La metodología para esta investigación se estructuró, de manera tal que permitiera, analizar la relación entre la implementación de tecnologías de IA para la gestión de tráfico urbano y los tiempos de desplazamiento urbano en Bogotá, identificando el nivel de conocimiento de los ciudadanos sobre el uso de este tipo de tecnología, así como su percepción acerca de los tiempos de desplazamiento urbano en diferentes zonas y condiciones. Así mismo, también estuvo orientada a poder contrastar dichas percepciones con información oficial documentada, sobre la presencia de tecnologías de IA en la gestión de tráfico y su impacto en la gestión de movilidad y a delimitar los factores contextuales que podrían influir en dicha relación como tipo de transporte, la zona geográfica y la franja horaria.

Con el fin de lograr lo anterior, se aplicaron dos instrumentos, el primero de ellos una encuesta estructurada dirigida a los ciudadanos, en adelante denominada, Encuesta Estructurada de Construcción Propia, cuyo contenido completo se muestra en el Anexo 1. Esta encuesta fue realizada, con el fin de obtener datos de los ciudadanos, sobre su conocimiento y percepción, relativos a los aspectos antes señalados y un segundo instrumento, diseñado para establecer la información relevante desde la fuente oficial, para lo cual se diseñó, una guía estructurada para el levantamiento de la información oficial sobre la presencia y uso de tecnologías de IA en la gestión de tráfico. Sin embargo, una vez iniciado el levantamiento de información y análisis de esta, se estableció que la red semafórica constituía el núcleo y el eje central de la investigación pues, como lo plantean diversos autores a nivel internacional, la semaforización es el vehículo a través del cual, otros componentes de los sistemas inteligentes de transporte (ITS), como son los algoritmos de predicción, los sensores y monitores para control de tráfico son capaces de dar respuesta (Nigam et al. 2023; Zhang et al. 2024). Es así como, la expresión implementación de

IA para la gestión de tráfico, en este estudio se centró exclusivamente en la red semafórica inteligente, por ser como ya se mencionó el núcleo operativo y medible, que para su funcionamiento se sirve de sensores, controladores y diversos algoritmos. Constituyéndose de esta manera, la base de datos de la red semafórica en el segundo instrumento. Este instrumento fue tomado del Portal de Datos Abiertos de la Secretaría de Movilidad (2025) con corte a mayo 2025, la cual a dicha fecha contenía 1692 registros, correspondientes a las intersecciones en Bogotá y su nivel de semaforización. En el Anexo 2, se explica la descripción del archivo y el contenido de los principales campos de los datos que se utilizaron en la presente monografía.

Los dos Instrumentos, con enfoque cuantitativo permitieron la recolección de datos y la aplicación de métodos estadísticos, para identificar la relación entre las dos variables planteadas y también el entendimiento de los factores contextuales, sobre su implicación en los tiempos de desplazamiento. Estos factores contextuales se contrastaron, también con los conceptos obtenidos en la revisión de la literatura académica, para obtener una visión global sobre las oportunidades y desafíos de la implementación de la IA en la gestión de tráfico.

3.1. Tipo y diseño de la investigación

El diseño de esta investigación tuvo un enfoque de tipo cuantitativo, no experimental, transeccional o transversal y descriptivo correlacional. El diseño de tipo cuantitativo permitió medir y analizar comportamientos observables a través de la recolección de datos y la aplicación de métodos estadísticos para identificar las relaciones entre las variables. La investigación efectuada fue de tipo no experimental, dado que las variables fueron solamente observadas, no manipuladas, es decir, no se intervinieron, ni se modificaron. Su carácter transeccional o transversal, estuvo dado porque los datos se recolectaron en un único momento, es decir, no se planteó hacer una medición a través del tiempo. Su alcance descriptivo-correlacional permitió

describir características de la movilidad urbana en Bogotá y analizar la posible relación entre la presencia de tecnologías basadas en IA para la gestión de tráfico y los tiempos de desplazamiento, sin llegar a establecer relaciones de causalidad, aplicando el análisis correlacional simple a través del coeficiente de Pearson, en un proceso de triangulación metodológica entre las dos fuentes (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Una vez efectuada la triangulación metodológica, la cual permitió identificar patrones de relación al contrastar las dos fuentes de información, el estudio incorporó adicionalmente un análisis complementario con pruebas inferenciales como ANOVA y regresión múltiple para profundizar el análisis cuantitativo, de acuerdo con este tipo de diseño según Hernández-Sampieri et al. (2014). Estas técnicas se incorporaron como una fase adicional del diseño analítico, con el propósito de ampliar la capacidad explicativa del estudio, permitiendo evaluar de manera más precisa las relaciones entre variables y detectar patrones que no emergen en los análisis correlacionales básicos.”

De esta manera, y en coherencia con el análisis inferencial previamente descrito, la integración de los dos instrumentos, la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia y la información de la base de datos semafórica, se pudo consolidar la evidencia basada en datos desde la percepción ciudadana y la información técnica institucional. Esta estrategia metodológica, cuya columna vertebral fue la triangulación entre ambas fuentes, además de haber permitido establecer la relación entre la variable independiente y la variable dependiente, en pro del cumplimiento del objetivo general, permitió también, caracterizar, describir y contrastar los factores que inciden en los desplazamientos, cumpliendo así con lo propuesto en los objetivos específicos y fortaleciendo la comprensión integral del estudio.

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población y muestra para la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia

Para la aplicación del instrumento de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, se definió como población objetivo a los habitantes de Bogotá con edades entre los 18 y los 65 años, que realicen al menos cuatro desplazamientos en transporte formal durante la semana. Esta delimitación, permitió efectuar los análisis con el grupo etario de habitantes que conforma la población económicamente activa y con movilidad recurrente, según los datos de las proyecciones poblacionales del DANE (2018) para la ciudad de Bogotá y la Encuesta de Movilidad de Bogotá (Secretaría de Movilidad 2019), en su orden. Esta delimitación también aseguró hacer el análisis con personas que de manera habitual estén expuestas al tráfico urbano y puedan tener un mayor contacto con tecnologías de IA aplicadas en la movilidad urbana.

De acuerdo con los anteriores parámetros, se calculó una población objetivo para el estudio en 3,2 millones de habitantes. Calculo que se efectuó a partir de la proyección del DANE (2018), que estimo en 7,9 millones los habitantes para Bogotá en 2023, de los cuales el 70% se encontraban en el grupo etario de 18 a 65 años y a su vez, con base en el Encuesta de Movilidad (Secretaría de Movilidad 2019), se estableció que cerca del 60% de este grupo tiene movilidad recurrente, es decir que hace más de cuatro desplazamientos a la semana.

Ahora bien, el método de muestreo empleado fue no probabilístico por cuotas y en cadena, de acuerdo con la clasificación propuesta por Hernández-Sampieri et al., (2014), quienes señalan que este tipo de muestro es aplicable cuando no se tiene un marco muestral completo que permita tener una muestra aleatoria, pero si se requiere asegurar la representación de grupos relevantes para los objetivos de la investigación, como es el caso de la presente investigación.

Es así, como el esquema de cuotas se definió con base en los grupos de clasificación territorial que empleó la Encuesta de Movilidad de Bogotá (Secretaría de Movilidad 2019), la cual delimita la ciudad sectores zonales de movilidad, de acuerdo con los principales ejes de desplazamiento urbano, según la ubicación cardinal de las localidades definidas en el Plan de Ordenamiento Territorial (Planeación Distrital 2021). Este esquema de cuotas permitió tener la participación equilibrada de encuestados en los grupos relevantes para los objetivos de la investigación y compensar la posibilidad de dicho muestreo aleatorio.

En cuanto al esquema en cadena se aplicó como una técnica, para poder llegar a poblaciones amplias y dispersas (Hernández-Sampieri et al., 2014). En el presente estudio se aplicó esta técnica, a partir de los encuestados iniciales que cumplieran los criterios de inclusión en la muestra. Estos encuestados, compartieron el enlace dado para contestar la encuesta, con otros individuos que cumplieran los mismos criterios de inclusión, favoreciéndose así la cobertura territorial y modal.

De acuerdo con las consideraciones anteriores, se calculó el tamaño de la muestra, sobre una población estimada de 3,2 millones de personas con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%. Dicho cálculo arrojó un requerido de 385 encuestas válidas, ver Anexo 3. Los parámetros de nivel de confianza del 95% y margen de error entre del 5% son comúnmente utilizados, pues permiten un equilibrio entre precisión estadística y manejo operativo. (Hernández-Sampieri et al., 2014). Es de anotar, que el cálculo del tamaño de la muestra se realizó de manera total, utilizando la distribución por cuotas como criterio de diversidad territorial y modal, para garantizar la participación de distintos sectores de movilidad dentro de las encuestas, por lo tanto, estas cuotas no tienen un cálculo estadístico independiente.

Es de anotar, que durante el desarrollo de la investigación se efectuó un ajuste metodológico con respecto al cálculo del tamaño de la muestra, sin perder validez estadística, recalculando el margen de error para dos escenarios el del 5.5%, que se encuentra dentro de los permitidos por Hernandez_Sampieri (2014) y el tomado por la Secretaría de Movilidad para las encuestas de movilidad los cuales normalmente calcula en la nota técnica con un margen de error del 7% para este tipo de encuestas. Arrojando una muestra requerida de 318 y 197 encuestados, respectivamente. Si embargo, la muestra alcanzada con la aplicación de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia fue de 316 encuestas encontrándose dentro de estos rangos.

3.2.2. Población y muestra para la base de datos de la red semafórica, como fuente documentada oficial

El universo de análisis para esta base de datos corresponde a la totalidad del contenido del archivo, dado que corresponde a las intersecciones semaforizadas en Bogotá y tomar la totalidad permite tener una perspectiva y panorama total sobre el comportamiento de la ciudad en cuanto al flujo vehicular sin tener que efectuar segmentaciones distintas a las que se requieren para el propio análisis de la información. Sobre la totalidad de los registros se establecerán las unidades de observación agrupándolas por sectores zonales de acuerdo con la localidad a la que pertenece la intersección. Es de anotar que los sectores zonales coinciden tanto para esta base de datos como para la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia y fue el punto de cruce. Los sectores zonales se describen en el Anexo 4 y están conformados por el sector Nororiental, Noroccidente, Occidente, Centro Ampliado, Suroccidente y Suroriental.

3.3. Instrumentos de recolección de información

Los dos instrumentos cuantitativos con enfoque descriptivo correlacional utilizados para el presente estudio, fueron la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia y la base de datos de

la red semafórica, los cuales se complementaron entre sí. Estos instrumentos alineados con el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación permitieron medir la variable independiente, implementación de la IA en la gestión de tráfico en Bogotá a través de la base de datos de la red semafórica y la variable dependiente, tiempos de desplazamiento a través de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, obteniendo evidencia basada en datos desde la óptica de la percepción ciudadana y desde las fuentes técnicas oficiales.

Los instrumentos se diseñaron con base en la matriz de operacionalización de variables, que se presenta en el Anexo 5, la cual permitió de manera estructurada la definición de las dimensiones y aspectos a medir de manera tal que estuvieran alineados con los objetivos general y específicos del presente estudio asegurándose su coherencia y que mediante el análisis pudieran dar respuesta tanto a la pregunta de investigación como a la hipótesis planteada.

3.3.1. Encuesta Ciudadana de Construcción Propia

Este cuestionario, el cual se muestra en el Anexo 1, constituyó el instrumento principal y estuvo conformado por 17 preguntas cerradas, las cuales se agruparon según su propósito en cuatro bloques. Se elaboró siguiendo los lineamientos de Hernández Sampieri (2014) para estudios cuantitativos no experimentales, donde se recomiendan las preguntas cerradas y escalas tipo Likert para medir percepciones. Adicionalmente, La formulación de cada una de las preguntas y las opciones de respuesta se contextualizaron y soportaron con documentos oficiales o técnicos relacionados con la movilidad y la implementación de tecnologías inteligentes para la gestión de tráfico en Bogotá, estructura que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.

Bloques del instrumento y su soporte documental

Bloque / Pregunta	Propósito	Soporte Documental de la Pregunta
Bloque 1 – P1 a P3	Identificar el perfil del encuestado y garantizar los criterios de inclusión definidos. Garantiza los criterios de inclusión definidos como población objetivo.	DANE (2023) – Proyecciones de población de Bogotá.
Bloque 2 – P4 a P8	Analizar los patrones de movilidad, frecuencia y modos de transporte empleados por los ciudadanos Datos relevantes para controlar la variabilidad en el análisis.	Encuesta de Movilidad de Bogotá (2023).
Bloque 3 – P9 a P13	Explorar el conocimiento, percepción y observación de tecnologías de inteligencia artificial aplicadas a la movilidad. Alineado con el objetivo específico 1.	Plan Maestro de Movilidad de Bogotá (2023); Informe INRIX Global Traffic Scorecard (2024).
Bloque 4 – P14 a P17	Evaluar la percepción de los tiempos de desplazamiento y su evolución en los 2 últimos años. Alineado con los objetivos	Observatorio de Movilidad de Bogotá (2022).

Bloque / Pregunta	Propósito	Soporte Documental de la Pregunta
	específicos 2 y 5. Información para evaluar la variable dependiente.	

Nota. Construcción propia con base en Hernández-Sampieri et al. (2014) y documentos técnicos distritales referenciados en la tabla 1.

Validez y Confiabilidad del Instrumento Encuesta Ciudadana de Construcción Propia

De acuerdo con lo expuesto, el instrumento se estructuró para medir atributos directamente observables de la experiencia de movilidad urbana, tales como los tiempos de desplazamiento, el modo de transporte utilizado y la percepción puntual respecto a los tiempos de desplazamiento. Dado que estas variables corresponden a constructos concretos, unidimensionales y específicos, su medición se diseñó mediante ítems únicos. Metodología adecuada para este tipo de medición, que como lo señalado por Bergkvist y Rossiter (2007) es apropiada cuando el atributo es concreto y directamente observable. También, otros autores como Fuchs y Diamantopoulos (2009) y Diamantopoulos et al. (2012), destacan que para constructos simples y específicos, los indicadores de ítem único son válidos y no requieren estructuras complejas de medición. La estructura del instrumento se alinea, por tanto, con las recomendaciones metodológicas para investigaciones aplicadas en movilidad urbana.

La validez del instrumento se estableció asegurando, en primer lugar, que cada ítem representara de manera precisa el atributo que buscaba medir. Esto corresponde a la validez de contenido, entendida como la relevancia y representatividad del ítem respecto al fenómeno estudiado (Haynes, Richard & Kubany, 1995). En este estudio, las preguntas se diseñaron con

base en la revisión conceptual de la movilidad urbana y se cotejaron con los indicadores empleados en la Encuesta de Movilidad de Bogotá (Secretaría Distrital de Movilidad, 2023), que utiliza ítems únicos para medir tiempos de viaje, modos de transporte y percepciones del usuario. De acuerdo con DeVellis (2016), este tipo de medidas son válidas cuando el atributo es directo, específico y observable, como ocurre con los fenómenos incluidos en esta investigación.

En segundo lugar, se garantizó la validez de criterio, entendida como la correspondencia entre las medidas del instrumento y los indicadores aceptados en el campo de estudio. De acuerdo con la American Educational Research Association (2014), la validez de criterio se fortalece cuando las medidas utilizadas se alinean con prácticas consolidadas y con indicadores externos relevantes. En este estudio, los ítems incluidos, como la percepción de mejora en los tiempos de desplazamiento, las condiciones del viaje y el modo de transporte y demás de la encuesta, son acordes con los indicadores empleados por organismos internacionales como el International Transport Forum de la OCDE (2021) y la International Association of Public Transport (UITP, (2018), así como por el Observatorio de Movilidad de Bogotá (Secretaría Distrital de Movilidad, 2023). Estos referentes utilizan medidas directas, puntuales y observables para caracterizar la experiencia del usuario, lo cual respalda la coherencia del instrumento con los estándares reconocidos en el sector.

La confiabilidad del instrumento se evaluó con base en la claridad y estabilidad conceptual de los ítems, así como en la capacidad del encuestado para valorar directamente cada atributo. En medidas simples, directas y unidimensionales, como tiempos de viaje, modo de transporte o percepción puntual de mejora, la literatura especializada indica que los ítems únicos poseen niveles de confiabilidad adecuados para investigación aplicada. Bergkvist y Rossiter (2007) demostraron que los ítems únicos pueden predecir resultados con precisión equivalente a

escalas más extensas cuando el atributo evaluado es concreto y no requiere descomposición interna. De manera complementaria, Diamantopoulos et al. (2012) señalan que los coeficientes de consistencia interna no son apropiados para este tipo de medidas y que, en estos casos, la confiabilidad se sustenta en la claridad del ítem, la estabilidad conceptual y la familiaridad del encuestado con el atributo evaluado.

En este estudio, las condiciones mencionadas, se cumplieron mediante, la formulación de preguntas específicas y de interpretación inequívoca, un piloto previo de la herramienta, que permitió verificar la comprensión y la estabilidad semántica, el uso de variables comunes en estudios de movilidad urbana, ampliamente conocidas por los ciudadanos, la correspondencia con indicadores empleados por organismos como la OCDE, la UITP y la Secretaría Distrital de Movilidad. De otra parte, cabe mencionar, que la medición de confiabilidad y validez mediante herramientas como el Alfa Cronbach o análisis factorial están recomendadas para instrumentos o métodos que impliquen múltiples ítems requiriendo mediciones o coeficientes de consistencia interna y no a cuando el indicador se mide a partir de un único ítem (Diamantopoulos et al., 2012) como es el caso en el presente estudio.

3.3.2 Base de Datos de la Red Semafórica

Este instrumento lo constituyó la base de datos extractada del Portal de Datos Abiertos de la Secretaría de Movilidad cuyas especificaciones y ficha técnica se presenta en el Anexo 2 y en la Tabla 2, donde se muestran los aspectos relevantes para el levantamiento de información y la Tabla 3 donde se explica la relación con el indicador, su propósito y relación con las variables.

Tabla 2.

Guía Estructurada para Levantamiento de Información Oficial – Temáticas e Indicadores

Temática/Herramienta IA en Gestión de Movilidad	Entidad - Fuente	Tipo de Información Esperada	Indicadores Relacionados
Red semafórica inteligente	Secretaría Distrital de Movilidad; Datos Abiertos Bogotá	Base de datos, informes técnicos	Nivel de implementación tecnológica, cobertura, densidad semafórica, ubicación, estado funcional

Nota. Construcción Propia

Tabla 3.

Guía Estructurada para Levantamiento de Información Oficial – Indicadores y Propósito

Indicador (ejemplo)	Propósito	Relación con Variable Dependiente (tiempos de desplazamiento)	Observaciones
Porcentaje de intersecciones con semaforización inteligente	Medir la adopción de IA en el control de tráfico.	Una mayor automatización y presencia reduce	Dato verificado con Red Semafórica (2024).

Indicador (ejemplo)	Propósito	Relación con Variable Dependiente (tiempos de desplazamiento)	Observaciones
		congestión y tiempos de espera.	

Nota. Construcción Propia

3.3.3 Instrumento para la triangulación analítica

El diseño de este instrumento se efectuó con base en los lineamientos propuestos por Hernández-Sampieri et al, (2014), donde se recomienda la clasificación temática de la información en dimensiones o categorías analíticas como estrategia para organizar y comparar los datos provenientes de distintas fuentes, facilitando el análisis ordenado y cuantitativo de la información documental, para fortalecer la validez y la coherencia metodológica del estudio.

De acuerdo con lo anterior, el instrumento se estructuró siguiendo con las temáticas relacionadas con las principales herramientas de IA en gestión de movilidad, teniendo también en cuenta que estuvieran alineadas con las abordadas en la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia lo cual garantiza la coherencia metodológica entre los hallazgos en el análisis de la red semaforizada y los resultados de este instrumento, para que así ambos insumos pudieran integrarse y contrastarse posteriormente a través de la triangulación metodológica.

3.4 Procedimientos

El tratamiento de los datos se realizó de manera diferenciada para las dos fuentes de información empleadas: la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia y la base de datos de la

red semafórica. En ambos casos, se siguieron procedimientos orientados a garantizar la validez, confiabilidad y consistencia de los resultados obtenidos. Como punto integrador se aplicó la triangulación analítica, que permitió contrastar la información de los dos instrumentos sobre la implementación de tecnologías de IA en la gestión de tráfico y su impacto en los tiempos de desplazamiento, y finalmente, para fortalecer el rigor estadístico, se aplicaron pruebas inferenciales adicionales, como el análisis de varianza ANOVA y regresión múltiple, cuyos resultados se incluyen al cierre del capítulo. En la Tabla 4, se presenta la síntesis del procedimiento seguido y a continuación se detalla cada uno de ellos.

Tabla 4.

Cuadro resumen – Procedimiento de procesamiento de datos

Fuente de Información	Procedimiento de Procesamiento de Datos	Resultado Esperado
Encuesta Ciudadana	Depuración de respuestas, validación de consistencia, codificación de variables y análisis descriptivo mediante frecuencias, porcentajes y ponderaciones de resultados.	Base consolidada con indicadores de percepción ciudadana sobre el uso de IA en movilidad y tiempos de desplazamiento.
Red Semafórica	Depuración de registros duplicados, validación de coordenadas, cálculo de variables tecnológicas (CA, R, RP) e indicadores compuestos.	Base georreferenciada y normalizada con indicadores de cobertura, densidad y desempeño tecnológico de la red semafórica.

Fuente de Información	Procedimiento de Procesamiento de Datos	Resultado Esperado
Triangulación metodológica	Integración de resultados de ambas fuentes mediante comparación y análisis correlacional para contrastar la información.	Identificación de relaciones entre la implementación de IA en la gestión de tráfico y los tiempos de desplazamiento promedio, cálculo de correlaciones.
Análisis ANOVA	Aplicación de ANOVA para contrastar diferencias entre grupos (medio de transporte, utilidad percibida, franjas horarias).	Determinación de si existen diferencias estadísticamente significativas entre grupos.
Regresión Múltiple	Modelo multivariado para evaluar el aporte simultáneo de varias variables independientes sobre la percepción de mejora de tiempos.	Estimación del peso relativo de cada variable y significancia estadística del modelo.

Nota. Elaboración propia con base en los procedimientos aplicados a las dos fuentes de

Información: Encuesta Ciudadana y Red Semafórica de Bogotá.

3.4.1 Procedimiento Encuesta Ciudadana de Construcción Propia

La encuesta se aplicó en modalidad digital bajo una estrategia de muestreo no probabilístico por cuotas, apoyada en distribución en cadena. El enlace del formulario se compartió con participantes iniciales que cumplían los criterios de inclusión, quienes a su vez lo

replicaron en sus redes de contacto, facilitando la cobertura de los sectores funcionales de movilidad y por modo de transporte formal. Los registros que no cumplieran con los criterios de inclusión fueron depurados, consolidándose así una base válida para el análisis.

Los datos obtenidos fueron exportados a Microsoft Excel y posteriormente procesados mediante técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales. Se realizó una primera fase en la que se elaboraron tablas de frecuencia y porcentajes, acompañadas de representaciones gráficas que permitieron caracterizar las variables sociodemográficas, los patrones de movilidad y la percepción sobre la inteligencia artificial aplicada al tráfico urbano.

En la segunda fase, se aplicaron análisis correlacionales y análisis inferencial, con el propósito de explorar la relación entre la variable independiente, nivel de implementación de tecnologías de IA en movilidad y la variable dependiente, tiempos de desplazamiento urbano, así como su asociación con otros ítems del estudio. Estas pruebas se desarrollaron siguiendo los criterios de interpretación estadística propuestos por Hernández-Sampieri et, al. (2014).

3.4.2 Procedimiento Fuente Oficial Red de Semaforización

En el caso de la semaforización, se empleó la base Red semafórica del Distrito Capital (Secretaría Distrital de Movilidad, 2025), disponible en el portal Datos Abiertos Bogotá. Esta fuente permitió identificar la distribución geográfica y el nivel de automatización de las intersecciones viales, información relevante para analizar la relación entre cobertura tecnológica y tiempos de desplazamiento. En el Anexo 2 se muestra la ficha técnica del archivo y sus principales campos, (Secretaría Distrital de Movilidad, 2025).

El procesamiento de los datos se realizó en Microsoft Excel, aplicando limpieza de duplicados, estandarización de campos y nombres, se codificaron datos y atributos con datos

binarias (1= presente, 0 = ausente) y se crearon campos derivados, teniendo como base la información del diccionario de datos para el archivo, Red semafórica del Distrito Capital

Se efectuó un proceso de depuración que permitió eliminar registros duplicados desfasados en el archivo original (.gpkg). Tras verificar su correspondencia exacta por ID y atributos asociados, conservando 1.692 registros únicos de intersecciones semaforizadas en la ciudad. Este dato resultó coherente con la información reportada por la Secretaría Distrital de Movilidad en su Informe de Gestión 2023, donde se mencionan 1.712 intersecciones semaforizadas administradas por el Centro de Gestión de Tránsito (CGT). Por tanto, este conjunto de datos se consideró representativo de la red actual de control semafórico de Bogotá y apto para los análisis que se hacen dentro de esta monografía.

Una vez efectuada la depuración se efectuó un proceso de normalización de los campos, codificando y/o separando datos que se encontraban en una misma columna. Se construyeron variables e indicadores derivados de la información contenida en este archivo, para poder identificar, caracterizar patrones geográficos de adopción de IA y su posible impacto en la eficiencia operativa del sistema. Estos campos e indicadores se presentan descritos y caracterizados en el Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 5.

Variables Principales

Variable	Descripción
Número total de semáforos	Total unidades semafóricas registradas en la base de datos.

Variable	Descripción
Intersecciones semaforizadas	Cruces controlados mediante al menos un semáforo.
Semáforos con sensores o cámaras (RP)	Dispositivos equipados con sistemas de detección o monitoreo parcial (red parcial).
Semáforos en red centralizada (R)	Semáforos conectados a la red central de control del sistema de movilidad.
Semáforos con controlador adaptativo (CA)	Semáforos inteligentes con capacidad de ajuste en tiempo real según el flujo vehicular.
Cobertura geográfica	Distribución de los semáforos por zonas o localidades de la ciudad.
Estado operativo	Clasificación según el funcionamiento reportado (operativo / no operativo).

Nota. Construcción propia con base en Datos base provenientes del dataset oficial: Red semafórica – Portal de Datos Abiertos Bogotá (SDM 2025)

Tabla 6.

Indicadores Compuestos Aplicados Al Estudio

Nombre	Componente	Propósito
IA_COBERTURA	Suma de CA, R y RP/Total Intersecciones	Medir el grado total de implementación tecnológica por zona.
COBERTURA_IA_DENSIDAD	(CA + R + RP) ajustado por densidad semafórica	Indica la relación entre equipamiento y presencia de tecnología inteligente.
EFICIENCIA_RELATIVA	Estado operativo + coordinación (R y CA)	Evalúa la eficiencia funcional del sistema frente a la adopción tecnológica.
INCLUSION_IA	Distribución de CA, R y RP entre localidades	Mide la equidad territorial en la incorporación de semáforos inteligentes.
INDICE_INCL_EFICE_IA	Inclusión + eficiencia relativa	Representa una medida compuesta de integración y desempeño urbano.

Nota. Construcción propia con base en Datos provenientes de la base de datos oficial: Red semafórica – Portal de Datos Abiertos Bogotá (SDM 2025)

El resultado de la cobertura por sector zonal se puede observar en el Anexo 6, según la alto, medio o bajo. Esta escala fue creada a partir de un proceso de agrupación de percentiles. Para cada indicador, los resultados fueron segmentados según los percentiles 33 y 66 que delimitan los 3 rangos estadísticos representativos, de manera tal que los sectores funcionales con calificación por debajo del percentil 33 se clasifica como bajo, los del percentil entre 33 y 66 como medio y superiores al percentil 66 como alto. De acuerdo con Hernández-Sampieri, et. al (2014), la agrupación de valores por rangos de percentiles facilita la comparación entre unidades de análisis y la interpretación de los resultados dentro de escalas equivalentes

Este procedimiento permitió construir un panorama descriptivo y analítico del estado actual de la movilidad inteligente en Bogotá, basado en indicadores cuantificables y observaciones técnicas extraídas de las fuentes documentales. Dicho panorama sirvió de base para comparar la evidencia institucional con la percepción ciudadana obtenida en la encuesta,

3.4.3 Procedimiento Integración y triangulación analítica

Una vez concluido el procesamiento de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia y la Guía Documental, se integraron los resultados cuantitativos de la encuesta y los hallazgos documentales, con el fin de contrastar la percepción ciudadana frente a la evidencia técnica disponible, mediante un proceso de triangulación metodológica. Este procedimiento permitió identificar convergencias y discrepancias, fortaleciendo la interpretación de los resultados y teniendo una visión integral del grado de implementación de la inteligencia artificial en la movilidad urbana de Bogotá y su posible relación con los tiempos de desplazamiento, en coherencia con la hipótesis planteada.

El procedimiento de la integración y triangulación analítica se presenta de manera resumida en la Tabla 7, donde se integran las dos fuentes de información, la percepción ciudadana y la evidencia documental, representada por la red semafórica, bajo un diseño de investigación cuantitativo, descriptivo correlacional y no experimental de corte transversal, e integración mediante triangulación metodológica fortaleciendo la validez del estudio, y finalmente obteniendo las correlaciones de Pearson, El proceso seguido constituye un mecanismo que facilitó la comprensión de la relación de la inteligencia artificial con los tiempos de desplazamiento urbano en Bogotá y aseguró la coherencia entre los objetivos, la hipótesis y las variables de investigación, estableciendo así una base sólida para el análisis de resultados que se presenta en el siguiente capítulo.

Tabla 7.

Proceso de triangulación metodológica aplicado en el estudio

Etapa	Actividades Principales	Propósito de la Triangulación
1. Integración de bases depuradas	Se consolidaron los resultados finales de la Encuesta Ciudadana y de la base de datos de la Red Semafórica, garantizando la coincidencia en los niveles de análisis por localidad y zona.	Unificación de las dos fuentes en una estructura común que para hacer comparaciones coherentes.
2. Vinculación de indicadores equivalentes	Se cruzaron las variables de percepción ciudadana sobre movilidad, tiempos de desplazamiento y conocimiento de IA con los indicadores técnicos (CA, R, RP, IA_COMPUESTO, EFICIENCIA_RELATIVA e INCLUSION_IA).	Revisión de relaciones entre las percepciones sociales y las mediciones objetivas del sistema semafórico.

Etapa	Actividades Principales	Propósito de la Triangulación
3. Análisis comparativo y validación cruzada	Se identificaron coincidencias, diferencias y tendencias entre ambas fuentes, revisando la coherencia direccional y el sentido de los resultados (por ejemplo, correspondencias entre zonas con mayor implementación tecnológica y mejor percepción de tiempos. Se obtuvo el coeficiente Pearson.	Verificación de la consistencia interna y fortalecer la validez de los hallazgos.
4. Síntesis interpretativa final	Se elaboró un análisis conjunto integrando las coincidencias y divergencias observadas con base en los objetivos de la investigación.	Interpretación global que reflejara la interacción entre tecnología, movilidad y percepción ciudadana.

Nota. Construcción propia

3.4.4 Procedimiento Análisis estadístico complementario – ANOVA y regresión múltiple

Para complementar el análisis, se incorporaron dos técnicas estadísticas adicionales con el fin de profundizar en las relaciones entre la variable central del estudio y otros factores

relevantes del estudio. En primer lugar, se aplicó ANOVA de un factor para contrastar si la percepción de mejora de tiempos con respecto a Cobertura_IA presentaba diferencias significativas en función de la cobertura de IA, el modo de transporte, la utilidad percibida y de la IA y franja horaria. Esta técnica permitió comparar promedios entre categorías de manera controlada con criterios de significancia estadística.

En segundo lugar, se estimó un modelo de regresión lineal múltiple, que permitió analizar el efecto simultáneo de cobertura de IA, utilidad percibida, modo de transporte, franja horaria y edad sobre la variable dependiente del estudio. Este modelo aportó información adicional sobre el peso relativo de cada factor y sobre la capacidad explicativa del conjunto de variables.

Ambos análisis se desarrollaron utilizando la funcionalidad que ofrece el complemento de análisis de datos de Excel, previa depuración de las bases y codificadas de manera adecuada para aplicar estas técnicas. Estos análisis fortalecieron el procedimiento central de la triangulación, al incorporar una exploración complementaria desde la estadística inferencial y que aporta evidencia cuantitativa sobre el papel de estos factores en la percepción de los tiempos de desplazamiento.

4. Resultados

4.1. Marco General para presentación de los resultados y análisis

De acuerdo con el objetivo general del presente estudio, este capítulo muestra los resultados del análisis sobre la implementación de inteligencia artificial en la gestión del tráfico en Bogotá y su relación con los tiempos de desplazamiento, a partir tanto de la información técnica oficial disponible, como de la información sobre percepción ciudadana recolectada a través de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia. Tal y como se expuso en la Metodología, el análisis parte de la integración y contraste de estas dos fuentes mediante un proceso de triangulación analítica, lo que permitió obtener una interpretación completa sobre el impacto de la IA y su relación con la movilidad urbana, pudiendo así, también responder la pregunta que guía esta investigación, ¿Cuál es la relación entre la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en la gestión del tráfico y los tiempos promedio de desplazamiento urbano en la ciudad de Bogotá?, y contrastar con estos mismos elementos, la hipótesis central planteada, según la cual, la implementación de inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano influye en la reducción de los tiempos de desplazamiento en la ciudad de Bogotá.

En consecuencia, la presentación de los resultados se estructuro de la siguiente manera. En primer lugar, se analizan los datos técnicos sobre la implementación de IA en la gestión de tráfico de Bogotá, derivados de la Red Semafórica de Bogotá. En segundo lugar, se presentan los hallazgos de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, sobre los hábitos de movilidad, el uso y conocimiento de tecnologías basadas en IA y la percepción sobre los tiempos de desplazamiento en Bogotá. Análisis que se desarrolló tanto a la luz de la variable independiente

representada por la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en la red semafórica de Bogotá, como de la variable dependiente configurada a partir de la percepción ciudadana sobre los tiempos de desplazamiento. Posteriormente, se expone la integración de ambas fuentes mediante el proceso de triangulación metodológica, que constituye el eje central del estudio y permite una lectura conjunta sobre la relación entre la infraestructura inteligente y la experiencia de viaje.

Finalmente, y de manera complementaria, se presentan los análisis estadísticos inferenciales correspondientes, a las pruebas ANOVA y a la regresión múltiple, los cuales permiten profundizar en la variabilidad de las percepciones y examinar el peso relativo de diversos factores asociados a la percepción de mejora de tiempos. Estas técnicas no reemplazan la triangulación, que continúa siendo la columna vertebral del análisis, sino que la fortalecen al aportar evidencia adicional sobre cómo distintos elementos del desplazamiento urbano se relacionan con la tecnología implementada.

4.2 Implementación de inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano – Red Semafórica de Bogotá

En este punto se examinó la variable independiente, acorde con el desarrollo e implementación de la inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano de Bogotá, operacionalizadola a través de la red semafórica, con base en lo conceptualizado en la revisión de la literatura donde Nigam et al., (2023) la define como elemento esencial de los sistemas de gestión inteligente de tráfico (ITMS). Este sistema en Bogotá es administrado por el Centro de Gestión de Tránsito (CGT) de la Secretaría de Movilidad (SDM), Para mayo de 2025, la base de datos denominada Red Semafórica del Distrito Capital, descrita en el Anexo 2 y tomada del

Portal de Datos Abiertos de la Secretaría de Movilidad (2025), registraba un total de 1692 intersecciones semaforizadas.

4.2.1. Descripción General de la Base de Datos

El conjunto de datos oficial de la Red Semaforica de Bogotá contiene el registro de 1.692 intersecciones, de las cuales dentro de sus datos más relevantes está el tipo de controlador o monitoreo, dirección, localidad, y nivel de funcionamiento, entre otros. El tipo de controlador o monitoreo define el nivel de IA de las intersecciones semaforizadas. De acuerdo con la Secretaría Distrital de Movilidad (2017), en el marco del *Proyecto de Semaforización Inteligente de Bogotá*, el informe técnico PE-48 presenta dicha tipología funcional, clasificándola en tres modos de operación: CA (Control Adaptativo), R (Regulado) y RP (Regulado por Plan o Prioridad), BT, TF y BTA. Las denominaciones CA, R y RP son propias de un sistema IA pues incorporan lógica adaptativa que ajusta los tiempos de los ciclos semaforicos en función de la demanda vehicular y las condiciones del flujo en tiempo real. En cambio, las intersecciones BT, TF y TA permanecen conectadas al centro de control, pero operan bajo parámetros preprogramados, sin procesos de autoajuste dinámico. Por tanto, el criterio adoptado en esta investigación para identificar la presencia de inteligencia artificial (IA) en la red semaforica se basó en la existencia de tecnología de control adaptativo (CA), R (Regulado) y RP (Regulado por Plan o Prioridad) consistente con la definición de sistemas inteligentes de tráfico, vista en la revisión de la literatura (Nigam, 2023 ; Zhao et al., 2019; Koonce y Urbanik, 2008).

Para evaluar la presencia y el grado de integración tecnológica se construyeron tres indicadores principales, que se midieron por sector zonal y corredor vial principal. El sector zonal, es referido a la agrupación del campo localidad que reporta esta base de datos de acuerdo con su ubicación geográfica urbana (Secretaría de Planeación Distrital, 2021), ver Anexo 4. A su

vez el corredor vial principal, se refiere a las vías arterias que están definidas dentro de la cartografía de la ciudad., codificados a partir del campo Dirección de la Base de Datos.

A continuación, se presentan los indicadores construidos sobre la red semafórica para la triangulación.

- COBERTURA_IA: Indica la proporción de intersecciones con presencia de inteligencia artificial frente al total de intersecciones de la base de datos de la red de semaforización. Es decir, intersecciones con semaforización que tienen control adaptativo o responsivo.
- DENSIDAD_IA: Número de intersecciones inteligentes por Km2

En este punto se analizó por sector zonal y por corredor vial principal, la distribución territorial y la cobertura tecnológica de la red semafórica inteligente en Bogotá. Así mismo, se construyó un indicador compuesto para medir el funcionamiento de la red, para comprender, como dicha cobertura territorial permite evaluar su potencial relación con los tiempos de desplazamiento urbano.

4.2.2 Distribución Geográfica.

El análisis por sector zonal y por corredor vial principal, de la distribución territorial y la cobertura tecnológica de la red semafórica inteligente en Bogotá, se estableció con el fin de que, en forma adicional a comprender su cobertura, más adelante en el aparte sobre triangulación estos se relacionen y contrasten con los tiempos de desplazamiento urbano y poder comprender su relación.

Cobertura Semaforización Bogotá con Tecnología IA por Sector Zonal

En la Tabla 8, se presentan los resultados de los anteriores indicadores para cada uno de los Sectores Zonales. De acuerdo con la información analizada, se evidencia una concentración más alta de semáforos inteligentes en los sectores Centro Ampliado y Nororiente. Pasando de coberturas con respecto a la red total del sector, que van las más altas desde el orden del 81% a la más baja alrededor del 20% en los sectores de Occidente y Suroccidente, mostrando desigualdad en la profundización de semaforización inteligente, lo que se evidencia en la Tabla 9 – Rango de Valoración Cobertura por Percentil.

De manera complementaria, como se puede ver también en la Tabla 8, se analizó, el indicador relacionado con la densidad territorial, mostrando resultados similares, en cuanto a la mayor densidad en el sector Centro Ampliado y en el sector Nororiental, sin embargo, los sectores occidente y suroccidente muestran una densidad menor a 1 semáforo por Km², cuando en semáforos tradicionales, tienen alrededor de 4 semáforos por Km². Evidenciado, así una brecha territorial en el acceso a la infraestructura de automatización, lo que reduce en estos sectores su capacidad de respuesta adaptativa frente a los niveles de congestión. (Nigam et al. 2023). El indicador IA_PRESENTE % se calculó así: Porcentaje de semáforos con tecnología IA (%), expresó la proporción de semáforos que incorporaban componentes inteligentes, ya fuera controladores adaptativos, redes responsivas.

$$IA\ PRESENTE\ (\%) = (SEMÁFOROS\ CON\ TECNOLOGÍA\ IA / TOTAL\ DE\ SEMÁFOROS) \times 100$$

Tabla 8.

Cobertura Semaforización Bogotá con Tecnología IA por Sector Zonal

Sector Zonal	Total Intersecc. Semafor.	Área Urbana km2	Densidad (semáforos/km2)	IA presente (%)	Densidad (Semáforos Tecnología IA/km2)
Centro Ampliado	342	50,6	6,76	81,29%	5,49
Noroccidente	401	127,5	3,15	43,89%	1,38
Nororiente	259	44,7	5,79	82,63%	4,79
Occidente	177	35,5	4,43	20,34%	0,90
Suroccidente	257	61,7	4,17	20,23%	0,84
Suroriente	256	125,2	2,04	54,69%	1,12
Total general	1692	445,2	3,80	52,96%	2,01

Nota. Construcción propia, con Datos Secretaría de Movilidad

Tabla 9

Rango de Valoración Cobertura según Percentil

Sector Funcional	Valoración Cobertura
Centro Ampliado	Alto
Noroccidente	Medio
Nororiente	Alto
Occidente	Bajo
Suroccidente	Bajo
Suroriente	Medio
Total general	Medio

Nota. Construcción propia, con Datos Secretaría de Movilidad

Los resultados mostraron que Bogotá cuenta con una red semafórica que combina tecnologías tradicionales convencionales con los sistemas de control adaptativo y con capacidad de respuesta en tiempo real, no siendo homogénea la cobertura en todos los sectores funcionales.

A nivel Bogotá, se evidenció una red semafórica en vía de modernización con un promedio alrededor del 53% de soluciones de tecnología IA adaptativa (CA) y responsiva (R, RP). La disparidad de cobertura encontrada constituye un factor clave para el análisis de los tiempos promedio de desplazamiento, constituyéndose el indicador Densidad Semáforos tecnología IA/Km², un insumo clave para el análisis que se trata más adelante, sobre su correlación con los tiempos de desplazamiento.

Cobertura Semaforización Bogotá con Tecnología IA por Corredor Vial Principal

Con respecto a la cobertura por corredor vial principal, que se presenta en la Tabla 10 – Cobertura Semaforización Bogotá con Tecnología IA por Corredor Vial, permitió establecer una clasificación por los ejes viales estructurales de la ciudad los cuales presentan los mayores volúmenes de tránsito y por tanto son estratégicos para comprender el impacto que la implantación de tecnologías IA puede tener en los tiempos de desplazamiento.

Los resultados muestran que los corredores identificados representan aproximadamente el 33% del total de las intersecciones que cubre la red semafórica de Bogotá, lo que contrasta con la cobertura promedio de 85,6% con tecnología IA para estos corredores, mostrando así que la asignación de semáforos con tecnología IA se ha concentrado en ejes viales de alta importancia.

Como se observa en la Tabla 10, la mayor cobertura de IA, superior al 90% corresponde a la Carrera 10 y a la Carrera 11 con un 96%.

Tabla 10

Cobertura Semaforización Bogotá con Tecnología IA por Corredor Vial

CORREDOR PRINCIPAL	INTERSECCIONES	IA_PRESENTE	PARTICIPACIÓN CORREDOR	INTERSEC. CON COBERTURA IA	RELACION COBERTURA /PARTICIPACION
Avenida 68	23	17%	1,36%	4	32,84%
Avenida Boyacá	31	48%	1,83%	15	91,37%
Avenida Caracas	31	74%	3,43%	43	140,00%
Avenida Ciudad De cali	23	65%	1,83%	20	121,83%
Calle 116	13	85%	0,77%	11	159,79%
Calle 24 (La Esperanza)	26	27%	1,54%	7	50,84%
Calle 26 (El Dorado)	28	25%	1,65%	7	47,21%
Calle 53	17	76%	1,00%	13	144,41%
Calle 63	19	47%	1,12%	9	89,45%
Calle 72	35	23%	2,07%	9	48,56%
Calle 80	24	92%	1,42%	8	62,95%
Carrera 10	22	100%	1,30%	22	188,84%
Carrera 11	26	96%	1,54%	25	181,58%
Carrera 13	48	81%	2,84%	39	153,43%
Carrera 15	29	79%	1,71%	23	149,77%
Carrera 7	66	83%	3,90%	55	157,37%
Carrera 9	31	81%	1,83%	25	152,29%
NQS	11	18%	0,65%	2	34,33%

Nota. Construcción propia

Índice Compuesto de Implementación e Inteligencia Artificial

Se exploró la construcción de un índice que permitiera evaluar o calificar el nivel de funcionamiento operativo reportado en la red semaforica, calculado como el producto entre el índice de densidad de semáforos tecnología IA/Km2 y el nivel de funcionamiento operativo que

se reporta en la base de datos de la red semafórica, sin embargo debido a que el campo FUNCIONAMIENTO de la base de datos analizada, presentó un valor constante igual a 1 en todos los registros, el resultado de este indicador terminó careciendo de validez analítica. Por lo tanto, quedo únicamente expuesto a nivel de metodología dejando su análisis reservado para futuras investigaciones que puedan contar con información operativa más específica, como por ejemplo porcentaje de controladores en funcionamiento en tiempo real, tiempos de ciclo, u otros indicadores de desempeño.

De acuerdo con lo anterior, el análisis de los resultados sobre la red semafórica se concentró exclusivamente en los indicadores relativos a cobertura, siendo este el componente con mayor alcance explicativo frente al objetivo de esta investigación. Indicador que de todas formas es el más importante en términos de efectividad de la red, tal y como

4.3. Tiempos Promedio de Desplazamiento Urbano (Variable Dependiente)

La información sobre esta variable se obtuvo a través de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia. A continuación, se presenta el resultado y análisis de la aplicación de dicha encuesta, instrumento que permitió, desde el plano práctico tener el sentir del usuario con respecto tanto al conocimiento, como al uso, experiencia e impacto en los tiempos de desplazamiento en la ciudad de Bogotá frente a la implementación de IA en la gestión de tráfico en la ciudad. Esta visión y percepción de acuerdo con lo planteado en la metodología, se constituye en el elemento base para el análisis correlacional entre estas dos variables, que se presenta en el apartado 4.4. Triangulación Analítica.

La Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, como se expresó ya en el capítulo sobre Metodología se dirigió específicamente a personas entre 18 y 65 años, residentes en la ciudad de

Bogotá, que tuvieran cuatro o más desplazamientos semanales y que se movilizaran en medios formales motorizados de transporte, como transporte público, o carro particular. Lo anterior con el fin de asegurar que fueran usuarios activos dentro del tráfico de la ciudad. La encuesta fue contestada por 316 personas, mantiene un índice de confiabilidad del 95% y un margen de error entre el 5% y el 6%, lo cual reafirma la validez estadística y en forma adicional al confrontarlo con prácticas en estudios del sector, como por ejemplo la Encuesta de Movilidad se pudo verificar que estas trabajan con un margen de error del 7% (Secretaría de Movilidad 2019).

Una vez obtenida la muestra se efectuó la depuración y normalización de la respectiva base de datos y se procedió a efectuar el análisis descriptivo. Este análisis descriptivo permitió caracterizar el perfil de la muestra de la población que respondió la encuesta, en términos de indicadores porcentuales, promedios y relaciones entre variables, así como obtener una visión preliminar sobre los hábitos de movilidad y percepción frente a la infraestructura de IA instalada en el tráfico urbano, y sobre el impacto en los tiempos de desplazamiento. Insumos que como ya se expuso, serán la entrada para la triangulación con los indicadores técnicos obtenidos derivados desde la información técnica.

4.3.1 Perfil de la muestra encuestada

Perfil Sociodemográfico

El perfil sociodemográfico se construyó a partir de las preguntas 1 a 3 del instrumento aplicado. La población encuestada en cuanto a su perfil sociodemográfico se ubicó en mayor proporción en los rangos etarios de 56 a 65 años con un 22% de participación, seguida por el rango etario de 26 a 35 años con el 21% de participación. Los encuestados reportaron un promedio de al menos cinco desplazamientos semanales. Datos que permitieron confirmar que la

encuesta se realizó acorde con lo definido como población objetivo, garantizando así que los encuestados poseen experiencia directa y cotidiana con la movilidad urbana y los sistemas de control del tráfico, condiciones que respaldan la relevancia y validez de sus percepciones para el contraste con la información proveniente de fuentes oficiales.

En las figuras 2 y 3 se observa el perfil sociodemográfico en cuanto a la edad de los encuestados y la distribución porcentual en cuanto al número de desplazamientos a la semana, respectivamente, dentro del total de la encuesta.

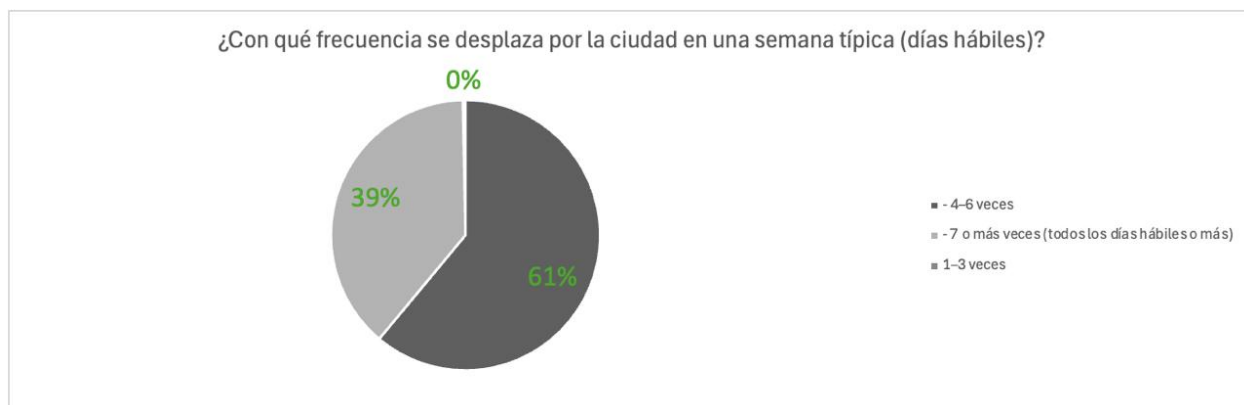
Figura 2

¿Cuál es su edad?



Nota. Construcción propia - Datos Encuesta Ciudadana de construcción propia

Figura 3

Frecuencia desplazamiento en a la semana

Nota. Construcción propia - Datos Encuesta Ciudadana de construcción propia

Modo Principal de Transporte

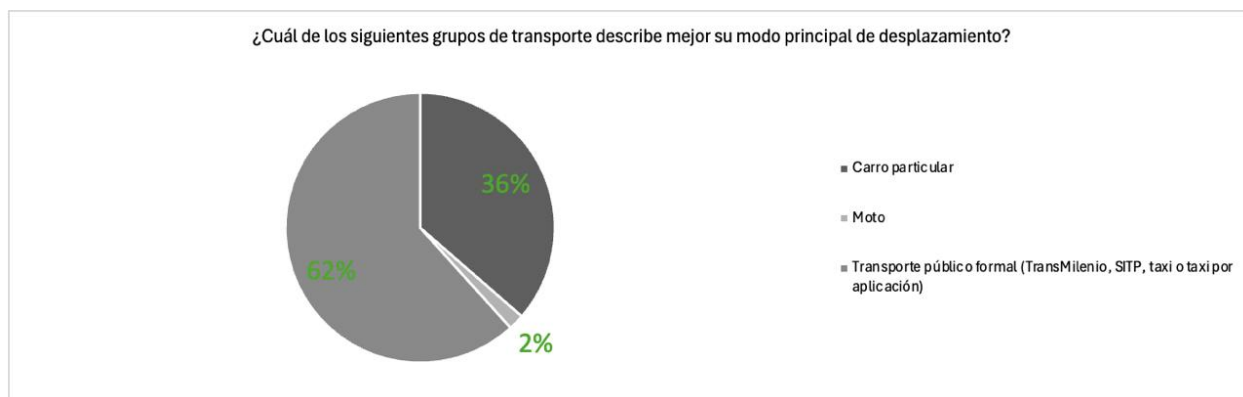
El modo de transporte principal (pregunta 4 y 5), permitió la caracterización de las formas de movilidad de los encuestados y comprender desde que tipo de experiencia perciben la gestión de tráfico, complementando la caracterización de su perfil y validando la pertinencia de sus percepciones dentro del análisis de la movilidad que cubre el presente estudio.

La Figura 4 – Distribución por Modo de Transporte, muestra que el transporte público tuvo un 62% de participación en los modos de transporte analizados y dentro de este, el sistema de Transmilenio y SITP es el que se utiliza con mayor frecuencia con un 27% y 19% de participación, respectivamente, como lo muestra en la Figura 5– Modalidad de Transporte Público. El transporte privado por su parte tuvo una participación del % 36, participación que se encuentra dentro del rango reportado en la Encuesta de Movilidad 2019 (SDM, 2019). La

consistencia de la participación de los modos de transporte con los reportados por los medios oficiales refuerza la validez de la muestra estudiada.

Figura 4

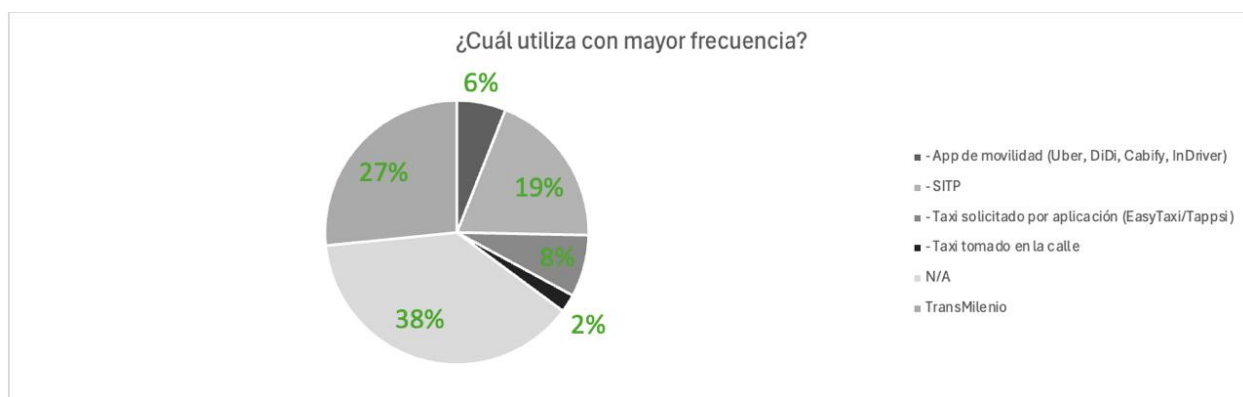
Distribución por Modo de Transporte



Nota. Construcción propia - Datos Encuesta Ciudadana de construcción propia

Figura 5

Modalidad de Transporte Público



Nota. Construcción propia - Datos Encuesta Ciudadana de construcción propia

Sector Zonal de Destino

El sector zonal de destino principal (pregunta 8), permite identificar dentro de la ciudad la concentración geográfica del destino de los desplazamientos, información que luego se contrastó con la distribución de la infraestructura semaforica inteligente en el proceso de triangulación analítica.

En términos geográficos y de localización, los destinos principales se concentraron en el Sector Zonal, Centro Ampliado con el 22%, seguido de Noroccidente y Nororiente con un 19% para cada uno, coincidiendo con las áreas de mayor actividad económica y densidad vial, según datos de la encuesta de Movilidad 2019. La Figura 6 – Sector Zonal de Destino, ilustra de manera complementaria dicha distribución. En ella, también se puede observar que en menor proporción se registraron respuestas desde los sectores Occidente (14 %) y Suroccidente (10 %), mientras que las categorías rurales y “no sabe/no recuerda” representaron porcentajes marginales.

Figura 6

Sector Zonal de Destino



Nota. Construcción propia - Datos Encuesta Ciudadana de construcción propia

La distribución señalada, confirma una cobertura territorial equilibrada, aunque no proporcional al tamaño poblacional de cada zona, coherente con la naturaleza no probabilística de la muestra en correspondencia, con lo definido en la metodología de este trabajo.

4.3.2 Hábitos de movilidad y desplazamiento

Los hábitos de movilidad y desplazamiento se refieren en este estudio, a las preguntas 9 y 10 de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, estructuradas para identificar los corredores o vías principales por los cuales se desplazan cotidianamente los usuarios y la franja horaria, que con mayor frecuencia utiliza para sus desplazamientos el encuestado. Lo anterior permitió contextualizar la experiencia del usuario y sirvió como de punto de referencia para segmentar y contrastar, durante el proceso de triangulación, como estos hábitos se relacionan con la percepción de los tiempos promedio de viaje y con la presencia documentada de tecnologías de inteligencia artificial en la red semafórica, facilitando los cruces analíticos entre la cobertura IA por sector zonal, rutas y horarios de mayor circulación.

El análisis de los datos recolectados sobre la información referida permitió establecer que los corredores viales predominantes, sobre los que más se desplazan los encuestados, son corredor NQS y la Carrera 7 con participación de 11,39% y 8,39% respectivamente. En el uso de los demás corredores el análisis arroja una alta dispersión, encontrando participaciones que pueden oscilar mostrando una alta dispersión en el uso de los demás corredores. En la Figura 5 Corredores Viales Predominantes en los desplazamientos, se observa la mencionada dispersión en la movilidad por corredor.

Figura 7

Top 10 Corredores viales más frecuentados por la muestra

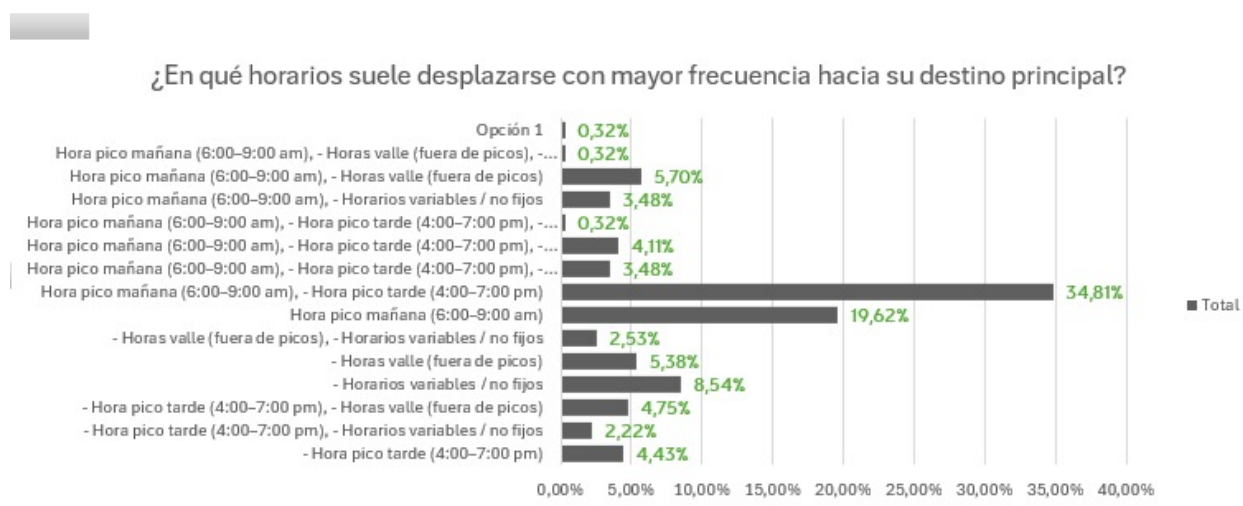


Nota. Construcción propia - Datos Encuesta Ciudadana de construcción propia

En cuanto a la parte de la franja horaria, los resultados mostraron, que la mayoría de los participantes realiza sus trayectos de la mañana entre la 6 am y las 9 am de la mañana y el regreso a sus hogares entre las 4 pm y la 7pm, siendo este compartimiento el 34,81% de la muestra. La participación de solo horas valle u horarios variables evidencian una baja participación, llegando en las horas de la mañana a solo un 4.11% y en las tardes a 4,70% de participación, reforzando así el concepto de la concentración de demanda en franjas críticas del día, tal y como también se puede evidenciar en las encuestas de movilidad de 2023, donde señalan el incremento de la densidad vehicular en las horas pico (Secretaría Movilidad 2023).

Figura 8

Franjas de horario desplazamiento



Nota. Construcción propia - Datos Encuesta Ciudadana de construcción propia

Como se planteó al inicio de este apartado los hábitos observados, en términos de corredores viales más usados y franjas horarias predominantes, no solo describió costumbres, sino que aportó contexto de espacio y tiempo, facilitando en la fase de triangulación contrastar la experiencia de movilidad con la implementación de tecnologías inteligentes para la movilidad.

4.3.3 Conocimiento y Percepción frente a la Infraestructura de IA instalada

Este bloque de conocimiento y percepción, a través de un grupo de preguntas en la encuesta, permitió analizar cómo los ciudadanos comprenden, identifican y valoran la presencia de tecnologías de inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano. Este componente, además de describir niveles de familiaridad tecnológica, aporta información clave para contrastar las percepciones ciudadanas con la cobertura técnica de la red semafórica. efectuó a partir de las preguntas 12,13,14 y 15 de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia.

En cuanto al nivel de conocimiento (pregunta 13) sobre tecnologías como semáforos inteligentes u otras relacionadas, los resultados evidencian que el tema aún se percibe como distante: un 44 % de los encuestados ha escuchado sobre este tipo de tecnologías, aunque no conoce su funcionamiento; un 33 % afirma saber algo; solo un 5 % manifiesta tener buen conocimiento, mientras que un 18 % nunca ha oído hablar de ellas. Estos datos indican un conocimiento básico o baja familiaridad, donde la referencia a la inteligencia artificial puede provenir más de la información publicada en medios, que del conocimiento sobre sus aplicaciones reales en Bogotá.

Figura 9

Percepción nivel de conocimiento



Nota. Construcción propia - Datos Encuesta Ciudadana de construcción propia

Sin embargo, al analizar la percepción de utilidad de las tecnologías de IA para mejorar la movilidad urbana (pregunta 11), esta fue mayoritariamente positiva, un 59 % de los encuestados las considera útiles o muy útiles, mientras que solo un 12 % las percibe con poca o ninguna utilidad. La Figura 7 *Utilidad de la tecnología IA para movilidad*, ilustra dicha percepción. Esta valoración sugiere que, aun sin un conocimiento técnico profundo, la ciudadanía asocia

intuitivamente la IA con la mejora del tránsito y la eficiencia vial. Figura 7 *Utilidad de la tecnología IA para movilidad.*

Figura 10

Utilidad de la tecnología IA para movilidad

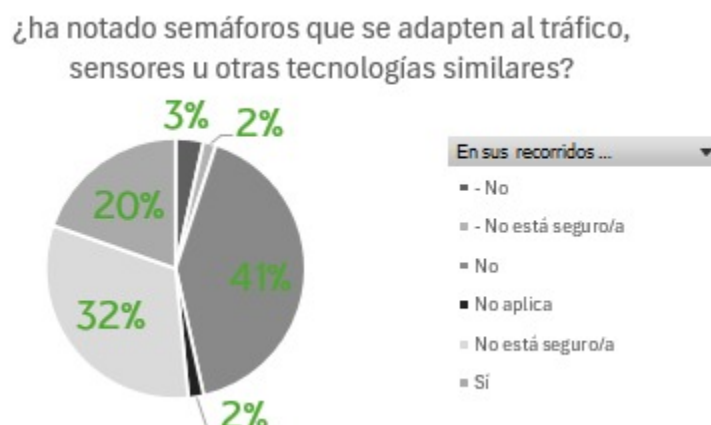


Nota. Construcción propia - Datos Encuesta Ciudadana de Construcción Propia

Respecto a la presencia percibida de semáforos inteligentes o sensores adaptativos (pregunta 14), los resultados muestran que únicamente un 20 % de los ciudadanos afirma haberlos notado en sus recorridos habituales, mientras que un 35 % no está seguro y un 45 % no los ha identificado. La baja visibilidad puede relacionarse no solo, con la naturaleza física de los dispositivos, que no son evidentes a simple vista, o con la falta de estrategias de divulgación institucional que permitan a los usuarios reconocer cuándo una intersección opera bajo sistemas adaptativos, sino también porque su impacto en la movilidad podría no ser claramente perceptible para el usuario en su experiencia diaria. Este último aspecto se abordó con mayor detalle en el siguiente bloque, donde se analizó la percepción ciudadana con respecto a los tiempos de desplazamiento y condiciones de la movilidad urbana.

Figura 11

Reconocimiento de semáforos IA



Nota. Construcción propia - Datos Encuesta Ciudadana de Construcción Propia

Ahora bien, con respecto a la pregunta 15, respondida por el 20% de ciudadanos que percibieron la presencia de la tecnología referida, las intersecciones que más mencionaron en las cuales la identificaban, se ubicaron en corredores principales como la NQS, la Avenida Suba y la Carrera Séptima con Calle 72, sectores donde coincide la concentración de la cobertura técnica de la red semafórica con controladores adaptativos. Esto refuerza la coherencia de las respuestas y respalda la pertinencia de este bloque para el análisis comparativo posterior.

En cuanto al análisis, del uso de aplicaciones móviles (pregunta 12) se evidenció que, aunque el conocimiento técnico sobre soluciones de IA para movilidad urbana es limitado la población mantiene una interacción constante con herramientas basadas en IA. El 39 % usa Waze y el 28 % Google Maps como apoyo principal para desplazarse, mientras que el 17 % prefiere Moovit y el 10 % Transit, según se muestra en la Figura 8 - *Uso de aplicativos para movilidad*. Este contraste entre el uso cotidiano de herramientas digitales y la escasa

identificación y conocimiento de tecnologías aplicadas al tráfico urbano reforzó la necesidad de contrastar la percepción ciudadana con la información técnica de cobertura IA, aspecto que se desarrolla en los cruces analíticos posteriores.

Figura 12

Uso de aplicativos para movilidad



Nota. Construcción propia - Datos Encuesta Ciudadana de Construcción Propia

Finalmente, es importante contextualizar que los indicadores derivados del análisis presentado, como son los relativos a conocimiento, percepción y uso servirán como punto de enlace entre la dimensión técnica de la IA aplicada al tráfico y la experiencia real de desplazamiento urbano, fortaleciendo la comprensión de la relación central analizada en esta investigación.

4.3.4. Percepción e impacto en los tiempos de desplazamiento

Los resultados de este bloque contenidos en las preguntas 16 y 17, muestran de manera directa la variable dependiente del estudio y constituyen el punto de enlace con la hipótesis central, al reflejar cómo los ciudadanos perciben la evolución de los tiempos de viaje en el

contexto actual de implementación de tecnologías de inteligencia artificial en la movilidad urbana.

Como se observa en la Figura 9- Percepción Tiempos de desplazamiento dos últimos años, el 69% de los encuestados, reporta que se han desmejorado, mientras que solo el 5% considera percibe mejoras en estos tiempos y el 24% cree que se han mantenido igual. Este resultado arroja una percepción negativa de manera predominante, frente a la evolución reciente de la movilidad, dejando planteada una brecha entre las expectativas de los ciudadanos y el desempeño percibido del tráfico.

Figura 13

Percepción Tiempos de desplazamiento dos últimos años



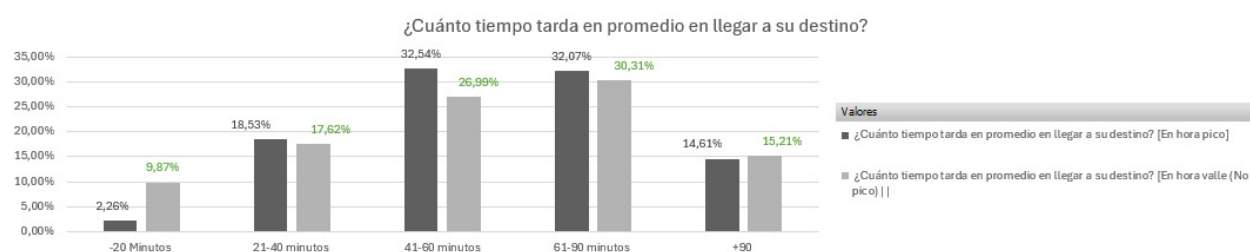
Nota. Construcción Propia - Datos Encuesta Ciudadana de Construcción Propia

En la figura 10 – Tiempos Promedio de Desplazamiento, se muestran los tiempos estimados promedio en llegar a su destino. En la franja horaria pico, el 64% de los encuestados tardan más de 50 minutos en promedio, mientras que en la franja valle este porcentaje se reduce ligeramente. Los mayores niveles de respuesta se concentran en los rangos de 41-60 minutos, el 32,5% y 61-90 minutos el 32,1%, lo que refleja una tendencia a trayectos prolongados en la

mayoría de los desplazamientos. Aunque la encuesta estableció comparaciones históricas, la persistencia de estos tiempos largos sugiere que los beneficios esperados de la tecnología instalada aún no se traducen en una mejora percibida, en coherencia con las percepciones negativas señaladas por los encuestados.

Figura 14

Tiempos de desplazamiento (hora Pico y hora valle)



Nota. Construcción Propia - Datos Encuesta Ciudadana de Construcción Propia

De acuerdo con lo anterior, para un mejor entendimiento de los resultados, la interpretación y análisis de estos, se apoyó en hallazgos documentados en la literatura reciente sobre movilidad inteligente. Diversos autores han destacado que la eficacia de los sistemas basados en IA depende no solo de la tecnología instalada, sino también del contexto operativo y de las condiciones estructurales de congestión y demanda. En este sentido Garzón (2025) y Toro-González (2020) plantean que la presencia de transporte informal, la limitada cobertura de la infraestructura digital y la fragmentación institucional reducen el impacto de las intervenciones tecnológicas en la movilidad urbana. De manera complementaria, la OCDE (2023), Choudhary et al. (2022) y Aït Ouallane et al. (2022) subrayan que los beneficios reales de la IA en el tráfico se materializan únicamente cuando las soluciones tecnológicas se acompañan de políticas de gestión de la demanda, control de flujos y transporte público eficiente.

A la luz de estos aportes, los resultados de la encuesta, al marcar una percepción general de desmejora y unos tiempos de desplazamiento superiores a 50 minutos, indican que la implementación de IA en Bogotá aún no genera un efecto visible para el ciudadano promedio. Sin indicar esto, ausencia de resultados positivos, pero sí indica que las mejoras podrían estar atadas a zonas específicas o a fases tempranas de implementación, mientras que la experiencia cotidiana sigue dominada por factores estructurales como la congestión vial, el parque automotor creciente y la interacción con modos informales de transporte.

En resumen, los resultados de este bloque permiten afirmar que los ciudadanos perciben una prolongación en sus tiempos de desplazamiento, y que estos tiempos, en su mayoría superiores a 50 minutos por trayecto, indican una problemática del sistema vial en su estado actual. Esta evidencia refuerza la importancia de profundizar en los cruces analíticos posteriores, que contrastan, por ejemplo, la cobertura IA por sector zonal con los tiempos promedio reportados por los usuarios, con el fin de determinar si existen diferencias significativas asociadas al grado de implementación tecnológica o si los resultados responden principalmente a las condiciones estructurales de la movilidad urbana.

4.4 Triangulación Analítica

4.4.1 Perspectiva General

De acuerdo con el objetivo general de la investigación, el cual plantea analizar la relación entre la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano y los tiempos promedio de desplazamiento en la ciudad de Bogotá, se desarrolló un proceso de triangulación analítica que permitió validar dicha relación, con base en datos cuantitativos a

partir de dos fuentes complementarias, tal y como se expuso en el capítulo 3 sobre Metodología de este mismo estudio.

Es así, como en el presente numeral se analizan los resultados que se obtuvieron, a partir de retomar y contrastar los indicadores desarrollados provenientes tanto de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, fuente practica basada en datos, como de la información técnica sobre el uso de tecnología de IA en la gestión de tráfico, obtenida desde las fuentes oficiales, fuente documental. De la misma manera, se expone la revisión y el análisis efectuado respecto a si la presencia de dicha tecnología se asocia con una reducción en los tiempos promedio de desplazamiento, como lo plantea la hipótesis que guía la presente investigación.

Esta estructura es coherente con el enfoque cuantitativo de alcance correlacional, en el que los resultados se organizan mediante comparaciones y asociaciones entre variables independientes y dependientes (Hernández Sampieri et al, 2014).

4.4.2 Cruces Analíticos

Para su construcción se integró la información técnica presentada en el numeral 4.2, correspondiente a la red semafórica de Bogotá, con los resultados perceptivos y contextuales derivados de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia (numeral 4.3). Integración que permitió vincular la variable independiente, representada por la implementación de la IA en la red semafórica, con la variable dependiente, asociada a los tiempos promedio de desplazamiento urbano percibidos por los ciudadanos.

Los cruces analíticos se estructuraron siguiendo un orden metodológico con el fin de mantener homogeneidad en su análisis y facilitar su comparación. Este orden metodológico incluye cinco componentes, así: propósito, indicadores, método, Resultados e Interpretación y

Aporte al Análisis Global de la Triangulación. Esta estructura está en línea con las recomendaciones planteadas para el análisis de resultados en estudios cuantitativos y correlacionales, donde el énfasis recae en la descripción ordenada de los datos, indicadores, campos o atributos utilizados y de la interpretación de su relación (Hernández-Sampieri, et, al. 2023).

De esta manera, los cruces presentados a continuación permitieron contrastar la información documental y técnica con las percepciones ciudadanas, generando una visión integrada del grado de coherencia entre la presencia de IA y la efectividad percibida en la movilidad urbana de Bogotá.

Los cruces analíticos se estructuraron en dos niveles complementarios, en primer lugar, se definen dos indicadores centrales, el Cruce 1, que relaciona la cobertura IA con los tiempos promedio de desplazamiento, y el Cruce 2, que la contrasta con la percepción ciudadana sobre mejora de los tiempos en los dos últimos años. Ambos permiten identificar el comportamiento de la relación principal planteada en la hipótesis, en cuanto a la influencia de la tecnología IA para Gestión de tráfico, en los tiempos de desplazamiento. En segundo lugar, se desarrollan cinco cruces contextuales y de refuerzo, que amplían la comprensión del problema, al incorporar dimensiones adicionales de análisis. Estos incluyen, la frecuencia de uso de corredores con IA (Cruce 3), la percepción global de mejora (Cruce 4), la relación entre la IA percibida y la valoración ciudadana (Cruce 5), el uso de aplicaciones de movilidad y su asociación con la eficiencia percibida (Cruce 6), y un cruce integrador que consolida la cobertura total de IA frente al Indicador Compuesto de Percepción Global (ICPG) (Cruce 7).

Estos cruces complementarios permitieron ampliar la comprobación de los resultados, manteniendo la coherencia con el diseño correlacional del estudio. En su conjunto permitieron

evaluar si la cobertura de IA en la red semaforizada presenta una asociación estadísticamente significativa con la movilidad urbana, expresada tanto en los tiempos de desplazamiento reales como en la percepción ciudadana sobre su eficiencia.

De esta forma, se cumple con el propósito de contrastar la hipótesis del estudio, orientada a determinar si la implementación de inteligencia artificial contribuye a mejorar las condiciones de desplazamiento en Bogotá.

4.4.2.1 Cruce 1: Cobertura IA x Tiempos Promedio de desplazamiento en minutos

Propósito: Analizar por sector zonal, la correspondencia entre la cobertura con semáforos con tecnología de inteligencia artificial (IA), según lo definido dentro de este estudio y la percepción ciudadana sobre los tiempos promedio de desplazamiento. Este cruce permitió contrastar si las zonas con mayor cobertura de semáforos con IA presentaban una percepción de menores tiempos de desplazamiento por parte de los ciudadanos o una percepción más positiva sobre estos tiempos.

Indicadores Contrastados: Se contrastaron los indicadores Cobertura_IA%, tratado en el numeral 4.2 Implementación de Inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano, Red Semaforica, Tabla 8 Cobertura Semaforización Bogotá con Tecnología IA por Sector Zonal, donde se mostró este índice por Sector Zonal, derivado de los datos sobre semaforización y el indicador Tiempo_Promedio_min, (pregunta 16 Encuesta Ciudadana de Construcción Propia) explicado de manera global en el numeral 4.3.4 Percepción e Impacto en los tiempos de desplazamiento.

Método: Se calculo el indicador Tiempo_Promedio_min por Sector Zonal según la pregunta 16 de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, como un promedio ponderado

entre el tiempo desplazamiento reportado en la franja de hora pico y hora valle. Estos datos se presentan en la Tabla 11, Se efectuó el cruce respectivo por Sector Zonal con el indicador Cobertura_IA% y se calculó el coeficiente de correlación, mediante la formula en Excel:

$r = CORREL(Rango_Cobertura_IA; Tiempos_Promedio_min))$, donde r representa el grado de asociación lineal entre la cobertura técnica y los tiempos de desplazamiento reportados.

Tabla 11

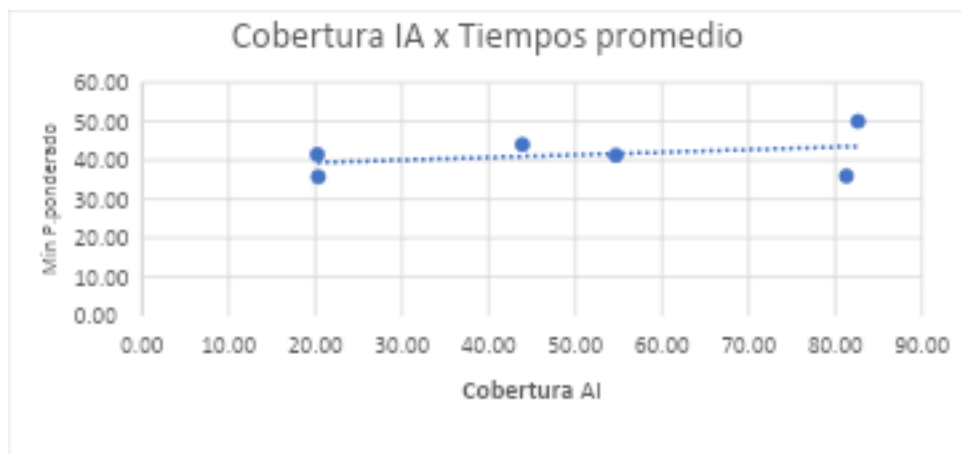
Indicadores para Cruce 1 – Cobertura_IA% x Tiempo_Promedio_min

Sector Zonal	Min. Hora Pico	Min.Hora Valle	Tiempo_Promedio_ min	Cobertura_IA %
Centro Ampliado	40,6	29,0	35,97	81,29
Noroccidente	50,3	35,1	44,06	43,89
Nororiente	57,2	36,2	50,03	82,63
Occidente	41,3	25,3	35,78	20,34
Suroccidente	49,7	28,7	41,52	20,23
Suroriente	46,7	31,6	41,32	54,69
Total General	47,7	31,4	41,54	52,96

Fuente Construcción propia

Resultado y Análisis: El análisis de este primer cruce, entre la cobertura de inteligencia artificial (IA) en la red semaforizada y los tiempos promedio ponderados de desplazamiento mostró una correlación positiva baja ($r = 0,35$), la figura 15, ilustra los presentes resultados.

Figura 15

Cobertura IA x Tiempos Promedios

Fuente Construcción Propia

Estos valores indican que la relación entre ambas variables es débil y en sentido contrario a lo esperado teóricamente. En principio, se esperaría una correlación negativa, ya que una mayor cobertura de IA debería favorecer una reducción de los tiempos de viaje gracias a la optimización de los ciclos semafóricos y a una gestión más eficiente del flujo vehicular. Sin embargo, los resultados sugieren que este comportamiento no se cumple de forma consistente en Bogotá o al menos no es percibido por los ciudadanos.

Sectores como Nororient y Centro Ampliado, que presentan los niveles más altos de cobertura IA (82,6 % y 81,3 %, respectivamente), muestran tiempos promedio entre 36 y 50 minutos, superiores incluso a algunos sectores con menor presencia tecnológica, como Occidente (20,3 % de cobertura y 35,8 min).

Esta discrepancia evidencia que la cobertura IA por sí sola no garantiza una mejora inmediata en la movilidad. Es probable que los sectores con mayor concentración de tráfico donde se priorizó

la implementación de sistemas inteligentes mantengan altos tiempos de desplazamiento debido a otro tipo de factores que se deben analizar como, por ejemplo, la densidad vehicular, o la complejidad de intersecciones, o las obras en curso, o la falta de calibración sincronizada entre los nodos de la red, situaciones referidas en la experiencia internacional.

En consecuencia, aunque la correlación positiva indica cierta tendencia a que los sectores con más IA registren tiempos más altos, esto no implica causalidad directa, sino que revela limitaciones estructurales y operativas del sistema actual. El valor de $R^2 = 0,12$ confirma que apenas el 12 % de la variación en los tiempos promedio puede explicarse por la cobertura IA, mientras que el 88 % restante responde a otros factores contextuales.

Aporte al Análisis Global de la Triangulación

La práctica está mostrando que la IA, representada en este estudio por la red semafórica con tecnología IA (controladores CA, R, RP) tiene influencia limitada en los tiempos de desplazamiento.

4.4.2.2 Cruce 2: Cobertura IA x Percepción de Mejora de Tiempos de desplazamiento

Propósito: Analizar si los sectores zonales con mayor presencia de cobertura con semáforos con tecnología de inteligencia artificial (IA) coinciden con una percepción de mejora en los tiempos de desplazamiento urbano, según el reporte de los ciudadanos en la encuesta.

Indicadores Contrastados: Se contrastaron los indicadores Cobertura_IA%, explicado en el cruce 1 y el indicador Percepcion_Mejora (pregunta 17 Encuesta Ciudadana de Construcción Propia) explicado de manera global en el numeral 4.3.4 Percepción e Impacto en los tiempos de desplazamiento.

Método: Se calculo el indicador *Percepcion_Mejora* por Sector Zonal, según la pregunta 8 de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, como la proporción porcentual de encuestados que manifestaron mejoras o reducciones de tiempo o que reportaron no cambios, datos que se ilustran en la Tabla 12. Para este análisis se compararon dos enfoques, el primero de ellos contemplo la proporción de ciudadanos que afirmaron que los tiempos habían mejorado y el segundo un enfoque ampliado, con la proporción de quienes consideraron que los tiempos se habían mantenido o mejorado, asumiendo que la estabilidad en los tiempos puede interpretarse también como un resultado positivo en contextos urbanos de alta congestión. Estos datos como lo muestra la Tabla 12, fueron contrastados con el indicador Cobertura IA% por Sector Zonal y se calculó el coeficiente de correlación, mediante la formula en Excel:

$r = CORREL(Rango_Cobertura_IA; Tiempos_Promedio_min))$, donde r representa el grado de asociación lineal entre la cobertura técnica y los tiempos promedio de desplazamiento reportados.

Tabla 12

Cobertura IA% x Percepción de Mejora

	Percepción_Mejora				
	COBERTURA_IA	%	%	%	%
Sector Zonal	%	Mejorado	Manteni do	Desmejo ra	Mejorado+%Manteni do
Centro Ampliado	81,29	8,82%	40%	51%	49%
Noroccidente	43,89	1,64%	28%	67%	30%
Nororiente	82,63	4,92%	16%	75%	21%

	Percepción_Mejora				
Sector Zonal	COBERTURA_IA %	% Mejorado	% Manteni do	% Desmejo ra	% Mejorado+%Manteni do
Occidente	20,34	4,44%	18%	71%	22%
Suroccidente	20,23	3,23%	26%	68%	29%
Suroriente	54,69	4,08%	10%	86%	14%
Total general	52,96	4,76%	24%	69%	29%

Fuente Construcción propia

Resultado y Análisis:

El análisis de este primer cruce, tomando el indicador Percepcion_Mejora para el porcentaje reportado como mejora frente al, indicador Cobertura_IA% arrojo un índice de correlación de 0,61, así mismo al correlacionar con el indicador de Percepcion_Mejora para el factor ampliado porcentaje mejora + porcentaje mantenido el índice de correlación baja al 0,30.

Para interpretar este resultado se revisó a Hernández Sampieri et. al (2014) donde establece que el coeficiente de correlación de Pearson varía entre -1 y +1 y su magnitud determina la fuerza de la relación, dice además que los valores próximos a 0 reflejan asociaciones débiles y los cercanos a +- 1 relaciones más fuertes.

Para el análisis de la correlación con el indicador de mejora, se revisó también la dispersión y consistencia entre sectores, observando por ejemplo el comportamiento desigual entre zonas, como en el caso del Centro Ampliado y Nororiente que presentan altos niveles de cobertura, pero percepciones distintas en cuanto al, por ejemplo, porcentaje de mejora. Ahora

bien, cuando se agruparon las respuestas de “mejorado + mantenido”, la correlación disminuyó a $r = 0,30$ lo que indica una relación positiva pero débil, llevando esto a concluir que una mayor cobertura con semáforos inteligentes, para este caso no garantiza que la ciudadanía se beneficie o perciba mejores tiempos de desplazamiento.

Aporte al Análisis Global de la Triangulación

Estos resultados complementan los hallazgos del Cruce 1, donde la relación entre la cobertura IA y los tiempos reales de desplazamiento también fue limitada.

En conjunto, ambos cruces confirman que la implementación tecnológica aún no produce un impacto claro ni sostenido en la eficiencia percibida de la movilidad urbana.

4.4.2.3 Cruce 3: Cobertura IA percibida % × Percepción Mejora tiempos de desplazamiento %

Propósito: Evaluar si una mayor identificación de la presencia de infraestructura con IA (semáforos adaptativos, sensores u otros sistemas) por parte de los ciudadanos se relaciona con una percepción más positiva del estado de la movilidad urbana.

El objetivo es determinar si el reconocimiento visible de la tecnología influye en la valoración global que los ciudadanos hacen sobre la mejora o estabilidad del tráfico en su sector zonal.

Indicadores Contrastados: Se contrastaron los indicadores, Percepcion_Mejora para el caso de mantenido+mejora, explicado en el cruce 2 y el indicador IA_ Percibida % (pregunta 14 Encuesta Ciudadana de Construcción Propia) explicado de manera agregada en el numeral 4.3.3 en el bloque de indicadores orientados al conocimiento y percepción.

Método: Se calculo el indicador IA_Percibida (p14) por Sector zonal, según la pregunta 8 de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, como la proporción porcentual de

encuestados que manifestaron si haber reconocido la presencia de infraestructura con IA (semáforos adaptativos, sensores u otros sistemas). Estos datos fueron contrastados con el indicador *Percepcion_Mejora*. por Sectoral y se calculó el coeficiente de correlación, mediante la formula en Excel:

$r = CORREL(Rango_Cobertura_IA; Tiempos_Promedio_min))$, donde r representa el grado de asociación lineal entre la tecnología IA percibida y la percepción de mejora en los tiempos de desplazamiento.

Resultado y Análisis:

La correlación entre el porcentaje de ciudadanos que perciben la presencia de semáforos con IA (P14) y la percepción global de mejora (P17 combinada) es negativa y moderada $r = -0.5$. Esto indica que, en los sectores donde más personas reconocen la presencia de tecnologías inteligentes, la percepción de mejora en la movilidad tiende a ser menor. En otras palabras, a mayor visibilidad de la IA, menor satisfacción o valoración positiva del tráfico.

Este resultado indica una brecha entre la percepción tecnológica y la experiencia práctica de movilidad. Los ciudadanos pueden identificar la existencia de sistemas inteligentes, pero esto, no necesariamente se traduce en una sensación de mejora, posiblemente por la persistencia de problemas cotidianos (congestión, obras, tiempos de espera).

Aporte al Análisis Global de la Triangulación:

Este cruce refuerza la evidencia obtenida en los indicadores centrales, al mostrar que la presencia percibida de IA no se asocia de manera significativa con una mejora percibida en los desplazamientos.

4.4.2.4 Cruce 4: Uso de aplicaciones de movilidad × Percepción de Mejora de Tiempos

Propósito: Analizar si el uso de aplicaciones de movilidad que incorporan inteligencia artificial (Waze y Google Maps) se relaciona con una mayor percepción de utilidad de las tecnologías basadas en IA y con una percepción positiva de mejora en la movilidad urbana. El propósito es determinar si la interacción con este tipo de herramientas digitales inteligentes influye en la valoración o percepción ciudadana sobre la mejora en los tiempos de desplazamiento.

Indicadores Contrastados: Se contrastaron los indicadores, Percepcion_Mejora para el caso de mantenido+mejora, explicado en el cruce 2 y los indicadores Utilidad_Aplicaciones_Mov (p11) y Aplicaciones_Mov_Usadas (pregunta 12). Estos dos indicadores fueron analizados de manera agregada en el numeral 4.3.3 del capítulo de resultados en el bloque de indicadores orientados al conocimiento y percepción.

Método: Se calculo el indicador Utilidad_Aplicaciones_Mov (p11) por Sector Zonal, según la pregunta 8 de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, como la proporción porcentual de encuestados que consideraron que la tecnología basada en IA era útil o muy dentro de la escala de calificación de la pregunta 11 de la Encuesta Ciudadana y el indicador Aplicaciones_Mov_Usadas por Sector Zonal, según la pregunta 8 de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, como la proporción porcentual de los encuestados que reportaron usaban los aplicativos Google Maps o Waze. Se tomaron solo estos aplicativos frente a los demás que se podían seleccionar en la encuesta por considerar que son los que incorporan IA en sus algoritmos predictivos y están en tiempo real. La información sobre los mencionados indicadores, se muestran en la Tabla 13 – Aplicativos Móviles x Evolución de Tiempos. Con base en la tabla construida por Sector Zonal se calculó el coeficiente de correlación, para establecer la

correlación de cada uno de los indicadores mencionados frente al indicador de percepción de mejora de tiempos, Percepcion_Mejora, mediante la formula en Excel:

$r = CORREL(Rango_Cobertura_IA; Tiempos_Promedio_min))$, donde r representa el grado de asociación lineal entre los indicadores señalados.

Resultado y Análisis:

Tabla 13

Aplicativos Móviles x Evolución de Tiempos

Sector Zonal	% Mejorado+%Mantenido	% Utilidad+ muy útil Aplicaciones	% Waze+Google Maps
Centro Ampliado	48,53	57,35	66,18
Noroccidente	29,51	60,66	75,41
Nororiente	21,31	57,38	68,85
Occidente	22,22	48,89	53,33
Suroccidente	29,03	64,52	54,84
Suroriente	14,29	71,43	75,51
Total general	28,57	59,81	66,77

Nota. Construcción propia

Los resultados frente al indicador sobre la percepción de mejora de tiempos mostro una correlación $r = 0,53$ frente al cruce con el indicador de la utilidad percibida sobre los aplicativos IA, pudiendo calificar esta correlación como positiva moderada y con respecto al indicador de

frecuencia de uso de las aplicaciones móviles usadas arroja una correlación $r = -0,12$, es decir una correlación negativa débil.

Esto evidencia que, aunque el uso de aplicaciones inteligentes se asocia moderadamente con una mejor percepción de la utilidad de la IA, no se refleja en una mejora percibida de los tiempos de desplazamiento. En términos interpretativos, los usuarios que utilizan con mayor frecuencia estas herramientas reconocen su utilidad, sin embargo, no se refleja en sus percepciones sobre la evolución de los tiempos de desplazamiento.

Aporte al Análisis Global de la Triangulación:

Este cruce aporta evidencia sobre la brecha entre la IA visible (apps móviles) y la IA institucional (infraestructura semafórica), en términos de reconocimiento al contrastar los indicadores globales que muestran la Tabla 13, con la alta adherencia a los Aplicativos móviles, sin embargo, contrasta con los indicadores de percepción de mejora del tiempo. A pesar de la alta adopción de aplicaciones inteligentes, su uso no se traduce en una percepción equivalente de mejor percepción en los tiempos, lo que sugiere que los avances digitales no están plenamente integrados con la gestión del tránsito urbano. De este modo, el cruce refuerza la hipótesis general del estudio: la presencia de inteligencia artificial en Bogotá tiene una influencia limitada sobre la experiencia real de desplazamiento.

4.4.2.5 Cruce 5: Cobertura IA (%) × Indicador de Percepción Global Integrada (ICPG)

El propósito de este índice compuesto es evaluar si la cobertura real de la red semafórica con IA guarda relación con la percepción global ciudadana sobre la movilidad, considerando simultáneamente tres dimensiones: La presencia percibida de IA (P14), los tiempos promedio ponderados de desplazamiento (P16), y la percepción general de mejora en los tiempos de

desplazamiento en el tiempo (P17). Este cruce busca verificar si una mayor cobertura tecnológica se asocia con una percepción más favorable del desempeño vial y la eficiencia urbana.

Indicadores Contrastados: Se construyó el indicador de Percepción Global Integrada (ICPG), que combina tres aspectos, si las personas perciben que los tiempos de desplazamiento han mejorado, a través del indicador Percepcion_Mejora (p17), si la gente identifica la infraestructura IA medido a través del indicador IA_Percibida (p14) y cuanto tarda en desplazarse, a través de indicadorTiempo_Promedio_min (p 16), para para contrastarlo con el indicador Cobertura_IA por sector zonal. Los indicadores orígenes ya mencionados han sido explicados y usados en los anteriores cruces.

Método: En primer lugar, para calcular el indicador ICPG se normalizaron los indicadores base y luego se calculó como el promedio aritmético de dichos indicadores. Luego, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre el ICPG y la Cobertura_IA% real de la red semafórica.

Resultado y Análisis: En la tabla 14 se pueden observar los datos relativos por zona de los indicadores base y del indicador ICPG. La correlación entre el indicador de Cobertura_IA y el indicador ICPG, arrojó un resultado de -0,025. Es así como la cercanía a 0 de la correlación de estos dos indicadores indican una ausencia de relación lineal entre la cobertura IA y la percepción ciudadana. Se puede afirmar que los sectores con mayor cobertura de IA no presentan una mejor valoración de la movilidad con respecto a sus tiempos de desplazamiento. Esta correlación prácticamente nula refuerza la hipótesis de que la implementación de IA en la semaforización no ha tenido un impacto perceptible para los usuarios, lo cual puede deberse a varios factores, baja visibilidad de la infraestructura tecnológica (P14) ausencia de

sincronización perceptible entre los dispositivos y los flujos reales de tráfico, disociación entre la percepción de mejora (P17) y la experiencia de desplazamiento (P16).

Resumen de indicadores y triangulación metodológica por sector zonal

Tabla 14

Indicador Cobertura_IA % x Indicador Percepción Global ICPG

	Preguntas				
		P 14	P16	p15	
Sector Zonal	Cobertura_IA%	% IA Percibida	% Mejorado+%Mantenido	Min.Promed . Ponderado	ICPG
Centro					
Ampliado	81,29	0,15	0,49	0,28	0,30
Noroccidente	43,89	0,18	0,30	0,12	0,20
Nororiente	82,63	0,15	0,21	0,00	0,12
Occidente	20,34	0,18	0,22	0,28	0,23
Suroccidente	20,23	0,13	0,29	0,17	0,20
Suroriente	54,69	0,21	0,14	0,17	0,18

Nota. Construcción propia. Los indicadores provienen del cruce entre los resultados técnicos de la Red Semafórica y las respuestas de la Encuesta Ciudadana. El nivel de correspondencia se definió cualitativamente según la coherencia entre la presencia de tecnología IA y la percepción ciudadana de fluidez vehicular.

Aporte al Análisis Global de la Triangulación:

En conjunto con los cruces anteriores, este hallazgo valida parcialmente la hipótesis general, aunque la IA está presente en la gestión del tráfico, su efecto en los tiempos de desplazamiento y en la percepción ciudadana sigue siendo limitado o poco visible. La IA está presente; sin embargo, su impacto aún no está presente de manera visible.

4.4.2.6 Factores contextuales de la movilidad urbana

Cruce 6: Modo Desplazamiento x Percepción mejora tiempos desplazamiento

Propósito: Al integrar los factores contextuales al análisis, se tuvo como propósito tener en cuenta las condiciones estructurales y de comportamiento que influyen en la relación entre la implementación de tecnologías de inteligencia artificial (IA) en la red semafórica y la experiencia de desplazamiento en Bogotá. Esto siguiendo, lo plasmado en la metodología que guía el estudio y como una respuesta al resultado de la triangulación efectuada dentro de esta investigación, donde en los diferentes cruces, en general mostraron una baja correlación entre la variable independiente, infraestructura tecnológica IA para la gestión de movilidad y la variable dependiente tiempos promedio de desplazamiento. Varios autores recomiendan tener en cuenta el contexto urbano y la forma como se desarrolla la ciudad y sus políticas públicas al considerar que las soluciones de IA para la movilidad, como puede ser la red semafórica, no son entes aislados, sino que son parte de un sistema (Kumar & Raubal, 2021; Lombardi et al., 2012). En línea con esto, este aparte complementa los cruces y correlaciones de variables dentro del proceso de triangulación, al considerar aspectos del entorno como el modo de transporte, la franja horaria y el tipo de servicio utilizado, con el fin de identificar cómo dichas condiciones afectan la percepción ciudadana y la efectividad percibida de la infraestructura inteligente.

Indicadores analizados: Se analizaron indicadores, relativos al modo de transporte (p4), tipo de servicio habitual, para quienes utiliza transporte público(p5) y tiempo promedio desplazamiento en hora pico y hora valle (p16), estableciendo por cada uno de ellos su percepción frente a la mejora, mantenimiento o deterioro de los tiempos de desplazamiento (p17).

Método: El análisis se realizó mediante un enfoque descriptivo–comparativo, tomando como base los resultados de las preguntas de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, relacionadas con los tiempos de desplazamiento (P17) y los indicadores ya señalados. Se contrastaron las percepciones de mejora según el medio de transporte, carro particular y transporte público forma y los servicios específicos (TransMilenio, SITP, taxi, aplicaciones de movilidad), con los indicadores de cobertura tecnológica por zonas de la red semafórica. Esto permitió identificar posibles diferencias de impacto percibido atribuibles a las condiciones de viaje y la exposición a corredores con mayor o menor nivel de automatización.

Resultados y análisis: Los resultados muestran que más de la mitad de los encuestados, alrededor del 62 % utiliza transporte público formal, frente a un 36 % que se moviliza en vehículo particular. Siendo la percepción de mejora o estabilidad en los tiempos de desplazamiento baja en todos los grupos, con apenas 31 % entre usuarios de carro particular y 29 % entre quienes usan transporte público. Esta similitud sugiere que la influencia de la IA semafórica es estructural, sin producir diferencias perceptibles entre tipos de transporte.

Tabla 15

Factor Contextual Modo Desplazamiento Percepción Mejora tiempos desplazamiento

Percepción Tiempos Desplazamiento	Carro Particular	Moto	Transporte Público Formal (TransMilenio, SITP, taxi o taxi por aplicación)
- Empeorado	35,3%	2,8%	61,9%
- No sabe / Prefiere no responder	37,5%	0,0%	62,5%
- Se han mantenido igual	42,7%	0,0%	57,3%
Mejorado	20,0%	0,0%	80,0%
Total General	36,4%	0,0%	61,7%

Nota. Construcción Propia con Datos Encuesta y Red Semafórica

Al revisar los resultados por tipo de servicio, se observó un patrón similar. Los usuarios de aplicaciones de movilidad, como Uber, DiDi, y de TransMilenio presentan niveles de mejora ligeramente superiores, 31 % y 33 %, respectivamente, mientras que los del SITP y taxi convencional se mantienen entre 27 % y 29 %. Estas variaciones mínimas indican que la percepción de desempeño vial no depende del servicio empleado, sino de las condiciones

generales de la red. En el caso de las plataformas digitales, la ventaja podría asociarse a los algoritmos propios de optimización de rutas, más que a la semaforización inteligente urbana.

Cruce 7: Franjas Horarias - Tiempos Promedio de Desplazamiento

El propósito es ver la relación con las franjas horarias, los resultados muestran que el tiempo promedio de desplazamiento mayor del 40 % durante las horas pico respecto a las horas valle, sin que las zonas de mayor cobertura tecnológica Centro y Nororiente presentan comportamientos diferentes. Esto sugiere que la automatización semafórica no logra compensar los efectos de la congestión estructural en momentos de alta demanda, lo cual limita su impacto percibido por los usuarios.

Tabla 16

Factor Contextual Tiempos Promedio de Desplazamiento

Sector Zonal	Min.Hora Pico	Min. Hora Valle	Min.Promed. Ponderado
Centro Ampliado	40,6	29,0	35,97
Noroccidente	50,3	35,1	44,06
Nororiente	57,2	36,2	50,03
Occidente	41,3	25,3	35,78
Suroccidente	49,7	28,7	41,52
Suroriente	46,7	31,6	41,32
Total general	47,7	31,4	41,54

Nota. Construcción Propia con Datos Encuesta y Red Semaforica

Interpretación: Los factores contextuales, modo de transporte, tipo de servicio y franja horaria, actúan como condicionantes intermedios en la relación entre la cobertura tecnológica y la percepción ciudadana. Incluso en sectores con alta presencia de IA, la percepción de mejora no aumenta significativamente cuando los desplazamientos ocurren en escenarios de alta demanda o infraestructura saturada. Esta evidencia coincide con lo planteado por Gao et al. (2020) y Liu et al. (2021), que, en línea con lo autores nombrados al inicio de este análisis sobre factores contextuales, señalan que la efectividad de los sistemas de tráfico inteligentes depende tanto del componente técnico como de las condiciones de entorno y la integración con políticas de gestión de la demanda.

En síntesis, los resultados refuerzan la hipótesis de que la implementación de IA constituye una condición necesaria, pero no suficiente, para mejorar los tiempos de desplazamiento urbano. Su impacto percibido depende de un entramado más amplio que combina tecnología, infraestructura, hábitos de movilidad y patrones espaciales de congestión.

4.4.2.7 Cierre Triangulación Analítica

En conjunto, la triangulación de resultados permitió contrastar la información técnica proveniente de la red semafórica con los datos obtenidos a través de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, integrando además los factores contextuales que enmarcan la movilidad urbana de Bogotá. Los seis cruces analíticos evidenciaron que, aunque existe coherencia espacial y funcional entre la cobertura tecnológica y el funcionamiento operativo de la red, el impacto percibido por los ciudadanos sobre la reducción de los tiempos de desplazamiento sigue siendo limitado.

Los resultados mostraron que la presencia de inteligencia artificial en la gestión del tráfico se encuentra concentrada en zonas específicas de la ciudad y que su reconocimiento ciudadano es bajo, lo que sugiere una brecha entre la infraestructura instalada y su visibilidad o efectividad percibida. Al incorporar variables de entorno, como modo de transporte, franja horaria y sector de destino, se comprobó que dichas condiciones influyen significativamente en la manera como los usuarios valoran la movilidad, reforzando la idea de que el desempeño vial no depende únicamente de la tecnología, sino de un conjunto de factores estructurales y de comportamiento.

De esta manera, la triangulación permitió cumplir con el propósito central del estudio, al integrar la evidencia técnica de la relación entre la implementación de tecnologías de inteligencia artificial y los tiempos promedio de desplazamiento urbano en Bogotá, pudiendo tener una lectura conjunta sobre dicha relación, contribuyendo con una validación cuantitativa sobre la hipótesis de trabajo. Una vez consolidado este análisis, se presentan a continuación los resultados de las pruebas de ANOVA y del modelo de regresión múltiple, que permiten explorar con mayor detalle la variabilidad de las percepciones y el comportamiento de distintos factores asociados.

4.5. Análisis estadísticos complementarios

En primer lugar, se presentan los resultados del ANOVA de un factor, empleado para contrastar si la percepción ciudadana sobre la evolución de los tiempos de desplazamiento difiere entre distintos grupos definidos por variables como modo de transporte, utilidad percibida de la IA, niveles de cobertura tecnológica y franjas horarias.

En segundo lugar, se describe el modelo de regresión múltiple, utilizado para estimar el efecto simultáneo de la cobertura de IA, el modo de transporte, la utilidad percibida, la franja horaria y la edad sobre la percepción de mejora de tiempos.

En conjunto, estos análisis complementarios refuerzan la consistencia de los resultados de la triangulación, permitiendo comprender con mayor precisión la magnitud e independencia de los factores que influyen en la percepción ciudadana sobre la movilidad urbana en Bogotá.

4.5.1. ANOVA

Las pruebas ANOVA permitieron profundizar en la variabilidad de las percepciones ciudadanas, evaluando si distintos factores de movilidad presentaban diferencias estadísticamente significativas en la percepción de mejora de tiempos. Este análisis complementó la triangulación metodológica, al explorar si las condiciones de viaje o características de la infraestructura están asociadas a variaciones perceptivas no visibles en los estadísticos descriptivos.

A continuación, se presenta un resumen consolidado de los cuatro ANOVA aplicados:

Tabla 17

Síntesis de resultados ANOVA

ANOVA	Variable Analizada	Grupos Comparados	Resultado Estadístico	Significancia	Interpretación General
ANOVA 1	Cobertura real de IA por sector	Alto – Medio – Bajo	F = 2.99	p = 0.051	No se encontraron diferencias significativas entre niveles de cobertura.

ANOVA	Variable Analizada	Grupos Comparados	Resultado Estadístico	Significancia	Interpretación General
ANOVA 2	Modo de transporte	Público – Privado	F = 0.21	p = 0.646	La percepción es similar entre quienes usan transporte público y quienes usan carro.
ANOVA 3	Utilidad percibida de la IA	1 a 5	F = 12.09	p < 0.001	Único ANOVA significativo: mayor utilidad percibida se asocia con percepciones ligeramente más positivas.
ANOVA 4	Franja horaria	Pico – Valle – Variable	F = 0.47	p = 0.625	La percepción se mantiene estable sin importar la hora del desplazamiento.

Nota. Construcción propia a partir de Encuesta Ciudadana de Construcción Propia

En conjunto, los hallazgos mostraron patrones consistentes, así:

En tres de los cuatro análisis, ANOVA 1, 2 y 4, no se encontraron diferencias significativas entre grupos, lo que indica que la percepción de mejora de tiempos permanece relativamente homogénea sin importar la cobertura tecnológica, el modo de transporte o la franja horaria.

El único caso con diferencias estadísticamente significativas fue ANOVA 3, donde la utilidad percibida de la IA sí mostró variabilidad entre grupos, sugiriendo que la apreciación subjetiva de la tecnología influye en la percepción general del desempeño vial.

Estos resultados refuerzan lo observado en la triangulación, la percepción de mejora de tiempos es baja y estable en la mayoría de los segmentos analizados, lo que sugiere que factores estructurales y contextuales pesan más que la presencia o ausencia de IA en la red semafórica. ANOVA aporta aquí una verificación adicional al mostrar que, en términos estadísticos, las variaciones perceptivas entre grupos son mínimas o no significativas en la mayoría de los casos. En resumen, la percepción de mejora de tiempos sigue siendo limitada y poco diferenciada entre subgrupos de ciudadanos. Esto respalda la conclusión general del estudio, la infraestructura basada en IA, por sí sola, no genera un impacto perceptible en los desplazamientos cotidianos.

4.5.2. Regresión Múltiple

La regresión múltiple se aplicó con el fin de profundizar en la relación entre la variable independiente central del estudio, la implementación de tecnología de inteligencia artificial para gestión de tráfico en Bogotá, representada en el presente estudio por la red semafórica y la variable dependiente, correspondiente a la percepción ciudadana sobre la mejora de los tiempos de desplazamiento. Para ello, se construyó un modelo que incluyó como variable explicativa principal el indicador de cobertura de IA, acompañado de factores de contexto (modo de transporte habitual, franja horaria, utilidad percibida de la IA y rangos de edad). Factores, estos que influyen en la manera como los ciudadanos experimentan la movilidad urbana.

El modelo mostró un ajuste global moderado, $R^2 = 0,042$, lo que indica que la capacidad explicativa del conjunto de variables es limitada, coherente con la naturaleza perceptual del fenómeno estudiado y con el peso de los factores estructurales de movilidad en Bogotá. No obstante, se identificaron dos hallazgos relevantes, la cobertura de IA presentó un coeficiente positivo y estadísticamente significativo, $p = 0,036$, lo que sugiere que, cuando la tecnología está más presente, existe una ligera mayor probabilidad de que los ciudadanos perciban alguna

mejora y el segundo y La utilidad percibida de la IA, incluida como variable de contexto, mostró una relación negativa significativa ($p = 0,010$), lo que refleja que quienes consideran la IA “poco útil” o “muy poco útil” tienden a valorar peor los tiempos, lo cual coincide con los patrones observados en los análisis descriptivos previos.

Las demás variables, modo de transporte, franjas horarias y edad, no mostraron asociaciones significativas, lo que indica que su aporte explicativo en el modelo es marginal. En conjunto, los resultados de la regresión múltiple aportan un nivel adicional de análisis complementario a la triangulación previamente desarrollada, mostrando que la presencia tecnológica sí tiene un efecto estadísticamente detectable, aunque pequeño, dentro de un sistema de movilidad altamente condicionado por factores estructurales y contextuales.

A continuación, se muestra la Tabla 18 con la información más relevante sobre los resultados de la regresión múltiple, modelo en el que como ya se mencionó la variable percepción tiempos de desplazamiento también constituyó la variable dependiente.

Tabla 18

Resultados Regresión múltiple

Variable	Coficiente	Error Estándar	t	p-value	Interpretación
Intercepto	16.257	0.1988	8.176	8.28E-15	Valor base del modelo
Cobertura IA	0.0874	0.0416	2.102	0.0364	Relación positiva y significativa

Variable	Coefficiente	Error Estándar	t	p-value	Interpretación
Utilidad percibida IA	-0.0833	0.0325	-2.559	0.0110	Relación negativa y significativa
Modo transporte	-0.0178	0.0697	-0.256	0.7981	No significativa
Franja pico	-0.0888	0.1172	-0.758	0.4491	No significativa
Franja valle	-0.0297	0.1569	-0.190	0.8497	No significativa
Edad	-0.0341	0.0174	-1.957	0.0513	Tendencia marginal

Nota. Construcción propia a partir de Encuesta Ciudadana de Construcción Propia

Es así como al mirar, en conjunto los análisis complementarios mediante ANOVA y regresión múltiple se puede decir que estos no modifican las conclusiones centrales que se obtuvieron, mediante la triangulación metodológica; por el contrario, las fortalecen. Tanto la débil capacidad explicativa del modelo como la ausencia de diferencias significativas en la mayoría de las comparaciones entre grupos sugieren que la percepción ciudadana sobre los tiempos de desplazamiento no depende exclusivamente de la presencia de IA en la red, sino también de un conjunto de condiciones estructurales previamente identificadas en este estudio.

Dado que la cobertura tecnológica, con sistemas adaptativos y responsivos actual, alcanza únicamente un poco más de la mitad de las intersecciones semaforizadas y que subsisten factores contextuales asociados a la congestión, el modo de transporte y la concentración de viajes, los

resultados obtenidos son coherentes, y se puede afirmar que, en el estado actual de implementación, no genera aún un cambio perceptible en la movilidad cotidiana.

Con este marco, el capítulo siguiente desarrolla la discusión analítica de los resultados, integrando los hallazgos cuantitativos, que se plasmaron en los diferentes análisis con la literatura especializada y el contexto de movilidad urbana de Bogotá.

5. Discusión de Resultados

5.1 Planteamiento de la discusión

En este capítulo se discuten los resultados obtenidos, a la luz de la hipótesis que guió la presente investigación, en la cual se planteó, que la implementación de inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano influye de una manera muy baja, en la reducción de los tiempos de desplazamiento en la ciudad de Bogotá. Los resultados y análisis que se desarrollaron en el capítulo anterior tuvieron como base la comparación de los datos técnicos de la red semafórica, variable independiente, eje central de la implementación de IA en la gestión de tráfico y la percepción ciudadana sobre los tiempos de desplazamiento, variable dependiente, analizada a través de la encuesta diseñada para la presente investigación. Para esta comparación en primer lugar se establecieron indicadores base por cada una de las fuentes, para posteriormente utilizar, el método de triangulación analítica de los indicadores relevantes, mediante siete cruces de dichos indicadores, con un enfoque correlacional cuantitativo y complementado el análisis, con una evaluación por sector zonal de las participaciones relativas, a fin de determinar si las proporciones observadas en la cobertura tecnológica y en las percepciones ciudadanas mantenían consistencia entre zonas. En cuanto a los dos análisis inferenciales efectuados, ANOVA y regresión múltiple, sirvieron para reforzar la consistencia y solidez de los hallazgos, permitiendo contrastar desde otra perspectiva la variabilidad de las percepciones ciudadanas y el posible aporte a factores asociadas, confirmándose también la coherencia general del análisis con los resultados de la triangulación metodológica.

En consideración a lo expuesto, en la discusión que sigue, se efectúa sobre la triangulación analítica como eje central del análisis y punto de referencia, confrontando sus hallazgos, interpretación y análisis efectuado, frente a la referenciación académica que sirvió de

base y contextualizo la presente investigación, fortaleciendo así su interpretación y permitiendo el entendimiento, tanto de las coincidencias como de las discrepancias, permitiendo lo anterior permitió plantear en el siguiente capítulo, las conclusiones y recomendaciones debidamente soportadas.

5.2 Discusión frente a los cruces analíticos

A continuación, se presenta la Tabla 19 que muestra el resultado general de la triangulación analítica efectuada.

Tabla 19

Estructura de la triangulación de resultados (con clasificación y trazabilidad)

Cruce Analítico e Indicadores Involucrados	Proposito del Cruce	Resultado Principal (r y descripción) r = correlación Pearson
Cobertura IA x Tiempos Promedio de desplazamiento en minutos	Identificar la relación directa entre cobertura IA y reducción de tiempos promedio.	$r = 0,35$ (correlación positiva moderado); No hay consistencia entre cobertura y tiempo promedio.
Cobertura IA x Percepción de Mejora	Verifica la coherencia entre densidad tecnológica y	$r = 0,61$ y $0,30$ (Positiva moderado y Positivo débil respectivamente) se encuentra dispersión entre los sectores y la mejora de tiempos. Cobertura con

Cruce Analítico e Indicadores Involucrados	Proposito del Cruce	Resultado Principal (r y descripción) r = correlación Pearson
de Tiempos de desplazamiento	percepción ciudadana en mejora de tiempos + mantenido	semáforo inteligente no garantiza una mejor percepción de los usuario.
Percepción de IA y de mejora de desplazamiento	Verifica la coherencia entre identificación de IA por parte del usuario y la percepción ciudadana en mejora de tiempos	r = -0,05 (correlación negativa moderada); a mayor visibilidad de IA menor valoración del trafico
Uso de aplicaciones de movilidad × Percepción de Mejora de Tiempos	Evalúa la relación entre percepción de mejora de tiempos entre los usuarios de apps de movilidad.	r = 0,53 (correlación positiva moderada + frecuencia de utilidad de las apps -0,12 correlación Negativa débil); los valores más altos de densidad coincidieron con mejor percepción promedio.
Cobertura IA (%) × Indicador de	Examinar la consistencia entre implementación general y valoración total del sistema.	r = -0,025 (correlación negativa débil); ausencia entre evaluación global y cobertura IA.

Cruce Analítico e Indicadores Involucrados	Proposito del Cruce	Resultado Principal (r y descripción) r = correlación Pearson
Percepción Global Integrada (ICPG)		
Modo Desplazamiento x Percepción Mejora tiempos desplazamiento	Explora el tipo de transporte frente a la percepción de mejora de tiempos.	Factor Contextual: 62% Transporte publico percepción desplazamiento de tiempos baja en los dos modos de transporte, sugiere IA menor influencia es estructural
Franjas horarias – tiempos promedio de desplazamiento	Analiza la demanda en franjas horarias de horas pico y horas valle.	Factor Contextual: 40% Diferencia de tiempo entre hora pico y horas valle. La automatización no logra compensar.

Nota. Construcción propia a partir del cruce entre la Red Semafórica y la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia. La interpretación de correlación se fundamenta en Hernández Sampieri et al. (2014), quienes señalan que la correlación permite establecer la fuerza y dirección de la relación entre variables observadas en contextos aplicados.

Primer Cruce: Cobertura IA – Tiempos Promedio de Desplazamiento, indicador de correlación $r = 0.35$. Indicando esta correlación positiva moderada (Hernandez-Sampieri et. al, 2014), que en general una mayor cobertura de semáforos inteligentes se asocia con menores tiempos promedio de desplazamiento. Sin embargo, al no ser fuerte la relación, lo que indica es que la IA, contribuye parcialmente a mejorar los tiempos de desplazamiento, pero, que sin embargo no logra compensar otros factores que podrían estar afectando su desempeño. Estudios como el de Gao et al. (2020) y Liu et al. (2021) encuentran correlaciones más altas en contextos con redes más homogéneas, lo que puede explicar esta diferencia en Bogotá, donde la densidad del tráfico y el estado desigual de la infraestructura, reducen la efectividad de los sistemas adaptativos. (Akhtar y Moridpour, 2021).

Cobertura IA $\times$ Percepción de mejora en tiempos, índice de correlación $r = 0,61$.

En este caso la correlación positiva moderada, refleja que las zonas con mayor cobertura tecnológica coinciden con una percepción ciudadana un poco más favorable sobre la movilidad. Aunque la relación es levemente más fuerte que en el cruce anterior, sigue siendo parcial, en comparación con lo reportado en estudios hechos por Javid et al. (2020), donde la percepción sobre la mejora en los tiempos, supera el 70 % en ciudades con campañas de divulgación tecnológica. En Bogotá se evidencia un bajo reconocimiento y apropiación del ciudadano, con respecto al papel de la IA en la gestión de tráfico, lo que limita la percepción de mejora. La diferencia se asocia a la falta de comunicación pública y señalización visible de los sistemas inteligentes.

Cobertura IA percibida $\times$ Percepción global de mejora, índice de correlación Pearson, $r = 0.35$.

Este resultado positivo, aunque también moderado, muestra desconexión entre el reconocimiento de la tecnología y la experiencia de movilidad. Es decir, aunque los ciudadanos

noten los semáforos inteligentes, no necesariamente perciben una mejora en sus tiempos de desplazamiento. Esta contradicción ha sido señalada también, por Wang y Zhao (2022), quienes destacan que el impacto percibido depende del grado que el usuario tenga de interacción directa con el sistema. En Bogotá, la automatización ocurre de manera invisible, con esto se quiere resaltar la falta de señalización y divulgación también tocada en el indicador anterior, lo que genera baja apropiación ciudadana.

Uso de aplicaciones de movilidad × Percepción de mejora de tiempos, índice de correlación $r = 0.53$

El resultado muestra una correlación positiva moderada+. Las personas que usan aplicaciones como Waze o Google Maps tienden a tener una ligera mejor percepción sobre la movilidad. Sin embargo, esta relación es débil, lo que confirma es que el uso de herramientas individuales no compensa la necesidad de la efectividad de la red de gestión de tráfico inteligente. Estudios previos (Zhou et al., 2019) demuestran que las apps mejoran la experiencia personal de navegación, pero su impacto agregado sobre los tiempos promedio de ciudad es limitado. La diferencia en Bogotá se explica porque las aplicaciones actúan de forma aislada del sistema público de control semafórico.

Cobertura IA × Indicador Compuesto Percepción Global (ICPG), índice correlación $r = -0,025$.

El valor cercano a cero muestra que no hay relación entre la cobertura tecnológica y la percepción global integrada de los ciudadanos. El indicador ICPG, desarrollado dentro de esta investigación contemplo la integración de tres mediciones derivadas de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, presencia de IA percibida, tiempos ponderados de desplazamiento y percepción e mejora en los tiempos de desplazamiento. Integración que se efectuó buscando poder medir la percepción global, general y no por aspecto. Sin embargo, este resultado confirma

que el efecto funcional de la IA no se traduce necesariamente en una valoración positiva. En contraste, investigaciones de Liu et al. (2021) muestran asociaciones más altas en contextos donde los sistemas están completamente sincronizados y visibles para los usuarios. En Bogotá, la fragmentación tecnológica y la falta de interoperabilidad limitan su impacto perceptivo.

El análisis de los factores contextuales, modo de transporte, franja horaria y tipo de servicio, permitió interpretar las correlaciones previas. De manera complementaria, los resultados del ANOVA y la regresión múltiple confirmaron que estas condiciones no generan diferencias significativas en la percepción de mejora de tiempos y que su efecto estadístico es limitado frente al peso de los factores estructurales de movilidad.

Más del 50 % de los encuestados se desplazan en transporte público, corroborando también que no hay diferencias significativas en las diferentes percepciones y que más del 70 % lo hace en horas pico, lo que eleva significativamente los tiempos de viaje. Esto explica por qué las correlaciones entre IA y percepción son débiles, el efecto tecnológico se diluye frente al peso de la congestión estructural. En ciudades como Seúl o Ámsterdam, donde los semáforos inteligentes operan junto con políticas de gestión de la demanda, las mejoras perceptibles son mayores, indicando esto una vez más que las soluciones demandadas para la mejora en los tiempos de desplazamiento deben ser integrales que abarcan tanto aspectos políticos, como culturales y de infraestructura.

Al revisar estos resultados con una mirada integral, se pudo observar que, en su conjunto, la inteligencia artificial, en la gestión de tráfico, enfocada en la red semaforica, tiene una influencia real, pero limitada sobre los tiempos de desplazamiento urbano en Bogotá. La correlación negativa entre cobertura IA y tiempos promedio indica que los sistemas semaforicos inteligentes aportan eficiencia, aunque no en la magnitud esperada. Las correlaciones positivas

con la percepción ciudadana son moderadas, lo que indica que el componente tecnológico sí contribuye a una movilidad más eficiente, pero su impacto está mediado por factores estructurales y sociales, como en el caso de Bogotá se pudo evidenciar en el análisis que sobre estos se presentó y como se puede validar en el entorno internacional a través de referenciación citada.

5.3 Reflexión frente a la literatura

Los resultados del estudio difieren parcialmente de los hallazgos internacionales, donde los resultados reportan reducciones promedio de entre el 10 % y el 25 % en tiempos de viaje. En Bogotá, tras implementar IA, los datos obtenidos, no permiten confirmar una mejora de esa magnitud, pues las correlaciones débiles sugieren que la infraestructura y las condiciones del sistema de movilidad en su conjunto limitan la potencial de lo implantado. A diferencia de otras ciudades a nivel mundial, como Seúl o Singapur, Bogotá presenta baja cobertura en semaforización que realmente tenga capacidades de adaptación en tiempo real solo un 52% de las intersecciones reportan tipo de semaforización con control adaptativo o responsivo, y siendo estos los de mayor nivel de “inteligencia”, se muestra una brecha que todavía se debe cerrar con respecto a las soluciones integrales para la movilidad.

Otro aspecto es en referencia a los factores contextuales, en la literatura se resalta su relevancia en cuanto a que deben ser tenidos en cuenta de manera integral y el desarrollo de los algoritmos de aprendizaje automático, deben tener más capacidad de integrarlos y de poder manejar en tiempo real su incidencia (Zhang et al. 2024). Para el caso de Bogotá, como se pudo evidenciar, está caracterizada por estos temas como, por ejemplo, el alto flujo de transporte público con una alta tasa de uso y compartiendo corredores viales y franjas horarias saturadas en

horas pico, se hace necesario considerarlos y poder integrar soluciones de este tipo que contemplen esta integralidad.

También cabe señalar que, aunque los documentos institucionales recientes de la Secretaría Distrital de Movilidad (2023, 2024) evidencian avances importantes en la automatización y ampliación de la red semafórica, la información disponible sugiere que Bogotá aún enfrenta retos en materia de interoperabilidad y coordinación entre sistemas. Diversos informes mencionan que el control semafórico, la gestión del transporte público y la supervisión de tráfico urbano operan mediante plataformas parcialmente independientes, lo que limita la integración de datos y la eficiencia de respuesta. Esta situación, aunque no es descrita en los informes como una fragmentación explícita, coincide con lo observado en los análisis derivados de las encuestas aplicadas. En este sentido la literatura internacional sobre movilidad inteligente (Varsani, 2014 et al.), señalan que el éxito de los sistemas de gestión de tráfico no depende solo de la fuerza tecnológica, sino que va más allá y se requiere la articulación institucional y la integración de los modos de transporte.

5.4 Interpretación de las diferencias

Estas diferencias marcan la importancia de entender la IA en la gestión de movilidad no como una solución aislada, sino como parte de un sistema integral que requiere infraestructura adecuada, sincronización intermodal y participación ciudadana. Los hallazgos del presente estudio aportan evidencia local sobre las limitaciones y potenciales de la inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano. Caracterizando estas diferencias, se visualiza que estas se derivan principalmente, por una parte de la escala de implementación, el sistema en Bogotá, este aún se encuentra en proceso de llegar a la cobertura de IA que se requiere, para que la red semafórica opere un ciento por ciento con tecnología que le permita responder en tiempo real a las

condiciones cambiantes del tráfico y del entorno. El otro aspecto es el contexto urbano, relacionado con la densidad vehicular, la concentración en las franjas horarias y la participación de la ciudadanía son factores que deben ser medidos y gestionados. Por último vale la pena mencionar que también en la interoperabilidad se tiene una brecha importante para integrar los distintos modos y plataformas de movilidad y de manera equitativa llegar a los diferentes Sectores Zonales.

Este análisis permitió tener los elementos claves y sustentados para plantear a continuación las conclusiones y recomendaciones teniendo en cuenta las diferentes implicaciones de esta investigación.

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten confirmar parcialmente la hipótesis de investigación, donde se plantea que la implementación de inteligencia artificial en la gestión del tráfico urbano influye en la reducción de los tiempos de desplazamiento en la ciudad de Bogotá. Parcialmente, dado que, si bien las correlaciones encontradas entre la cobertura de IA en la red semafórica y la percepción ciudadana de mejora fueron positivas, estas son bajas y moderadas. De otra parte, la comparación entre sectores revela comportamientos no homogéneos, zonas con cobertura similar registran percepciones diferentes, ósea que el efecto de cobertura no es uniforme, es decir la tecnología puede contribuir a la mejora percibida, pero su impacto depende de otros factores estructurales ya mencionados.

El análisis mostró que la presencia de IA en la gestión de tráfico constituye un factor necesario, pero no determinante en la experiencia del usuario. De acuerdo, como ya se sustentó con la literatura, su efectividad depende tanto del elemento tecnológico como de las condiciones contextuales y estructurales.

De acuerdo con lo anterior se puede afirmar que el objetivo general se cumplió, dado que el estudio permitió identificar, medir y contrastar la relación entre la cobertura tecnológica de la red semafórica y los tiempos promedio de desplazamiento, integrando la percepción ciudadana, el factor tecnológico y los factores contextuales. Los resultados mostraron que, aunque la influencia de la IA no garantiza una reducción uniforme de los tiempos, sí existe una asociación medible y significativa entre ambas variables, lo que evidencia el aporte del análisis correlacional realizado.

Así mismo se verifica a continuación el cumplimiento de los objetivos específicos, los cuales también fueron cumplidos en su totalidad, no habiendo presentado ninguna limitante para su cumplimiento, así:

Objetivo 1. Identificar el nivel de conocimiento, percepción y uso de tecnologías de IA por parte de los ciudadanos en relación con la movilidad urbana.

Los resultados de la encuesta muestran un bajo nivel de reconocimiento de la IA aplicada a la gestión de tráfico, como el reconocimiento de la red semaforizada, ya que menos del 40 % de los encuestados afirmó haber notado la presencia de semáforos inteligentes o sistemas adaptativos. No obstante, el uso de plataformas como Google Maps y Waze fue del 67% y de otras aplicaciones móviles o fue del 27%, solo un 6% informo no usar ninguna, lo que evidencia que los ciudadanos interactúan con herramientas basadas en IA, aunque sin asociarlas directamente con la infraestructura vial. La anterior información evidencia el cumplimiento del objetivo específico número uno.

Objetivo 2. Recolectar datos sobre los tiempos promedio de desplazamiento urbano en diferentes zonas y condiciones, según la percepción ciudadana.

De acuerdo con el objetivo, dentro de la información recolectada en la encuesta se recibió y tabuló la información sobre los tiempos promedio desplazamiento tanto en la franja de hora pico como en la franja de hora valle. El análisis evidenció que los tiempos de viaje promedio, en las franjas de hora pico, predominan recorridos de 48 minutos en promedio y de 31 minutos en la hora valle.

Objetivo 3. Contrastar la presencia documentada de tecnologías de IA en la gestión del tráfico con la información recolectada en encuestas ciudadanas.

Este objetivo se cumplió, ya que se logró comparar la información técnica documentada, proveniente de la red semafórica de Bogotá con los datos obtenidos en la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia. Esto se efectuó a partir de varios cruces analíticos, permitiendo, relacionar la evidencia técnica con la percepción social, aportando una visión integral sobre el impacto real y percibido de la IA en la gestión del tráfico urbano.

Objetivo 4. Delimitar los factores contextuales (tipo de transporte, zona geográfica, horario y nivel de infraestructura digital) que podrían influir en dicha relación.

Los factores contextuales fueron delimitados, anotando que más del 60 % de los encuestados se moviliza en transporte público y más del 70 % en horas pico, lo que refleja que la mayoría de los desplazamientos ocurre bajo condiciones de alta demanda y congestión. Esto explica por qué, incluso en zonas con buena cobertura IA, la percepción de mejora sigue siendo limitada. Se confirma que los factores contextuales modulan el impacto de la IA sobre la movilidad urbana.

Objetivo 5. Establecer si existe una relación entre la presencia de tecnologías de IA y una reducción en los tiempos promedio de desplazamiento urbano.

Las correlaciones entre cobertura IA y tiempos promedio resultaron bajas ($r \approx 0,21$), lo que indica que la presencia tecnológica por sí sola no garantiza una reducción significativa de los desplazamientos. Los resultados demuestran que la IA influye positivamente en la eficiencia local de la red, pero su efecto sobre la movilidad total de la ciudad se ve limitado por la infraestructura, la densidad vehicular y la falta de interoperabilidad institucional, factores estos que ya fueron tratados.

En conjunto, el trabajo permitió cumplir los objetivos planteados mediante el análisis de la información proveniente de la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia, los datos oficiales

de la red semafórica y la literatura académica revisada. Con estos elementos fue posible identificar la relación entre la cobertura tecnológica y los tiempos de desplazamiento, así como los factores estructurales que modulan este efecto. A partir de estos resultados, se presentan a continuación las implicaciones, limitaciones y recomendaciones derivadas del estudio, junto con futuras líneas de investigación que pueden contribuir a seguir profundizando en el análisis y la gestión de la congestión vehicular en Bogotá.

Implicaciones, Recomendaciones y Futuras Líneas de Investigación

El análisis realizado permite concluir que la inteligencia artificial aplicada a la semaforización constituye un componente funcional esencial dentro de la gestión moderna del tráfico urbano. No obstante, su impacto actual en Bogotá es incipiente y se encuentra condicionado por variables externas como la cobertura desigual de la infraestructura, la densidad vehicular, la operación del transporte público, la participación de plataformas privadas de movilidad y los hábitos de desplazamiento. La información obtenida, muestra que, aunque la IA opera en puntos específicos de la red, los resultados sobre los tiempos de viaje dependen de un ecosistema más amplio que excede lo puramente tecnológico. Por tanto, las implicaciones de este estudio trascienden la discusión técnica sobre semaforización inteligente y se extienden hacia dimensiones administrativas, institucionales y de gobernanza de datos, así como hacia factores estructurales que constituyen causas raíz del problema de congestión.

Es así como, las implicaciones de este estudio, sus recomendaciones y futuras líneas de investigación se presentan teniendo como marco la política pública entorno a la temática de este estudio y los diferentes instrumentos que la articulan.

Marco Institucional, Lineamientos que Enmarcan el Uso de IA en Movilidad

A nivel nacional, la Política Nacional de Inteligencia Artificial, definida en el CONPES 4144 de 2023 (Departamento Nacional de Planeación et al., 2025), define criterios para el desarrollo y aprovechamiento de IA, enfatizando la calidad de los datos, la infraestructura tecnológica, la interoperabilidad y la capacidad institucional para su uso responsable. Estas directrices son especialmente relevantes para sistemas de control de tráfico que dependen de información en tiempo real para su funcionamiento óptimo.

En el ámbito distrital, el Decreto 575 (Alcaldía de Bogotá, 2023) definió los componentes de la Infraestructura de Datos y su modelo de gobernanza, estableciendo estándares, roles y requisitos de calidad indispensables para soportar sistemas como el control semafórico adaptativo. A esto se suma el Acuerdo 001 de 2025 del Comité Distrital de Datos, que fija lineamientos para la articulación y uso estratégico de la información en el Distrito. Aunque no está dirigido específicamente a movilidad, sí proporciona principios esenciales para el funcionamiento de soluciones inteligentes, reforzando la necesidad de contar con datos interoperables y una coordinación institucional que permita aprovechar plenamente tecnologías como la inteligencia artificial. Adicionalmente, el CONPES Distrital 29 (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2023), denominado, Bogotá Territorio Inteligente, reconoce la movilidad como uno de los escenarios prioritarios para la aplicación de tecnologías emergentes, incluyendo analítica avanzada, IoT e inteligencia artificial.

El Plan Distrital de Desarrollo 2024–2027 29 (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2024), particularmente el artículo 228.5, ordena la formulación de una hoja de ruta para tecnologías emergentes, incluyendo analítica de datos e inteligencia artificial, con el fin de mejorar la toma de decisiones y fortalecer la oferta de servicios. Esta disposición se articula directamente con la necesidad de modernizar y optimizar el sistema semafórico.

En conjunto, estos instrumentos confirman que la semaforización inteligente no es un esfuerzo aislado, sino parte de un marco institucional robusto que orienta la transformación digital del Distrito. En este sentido, el presente estudio aporta una perspectiva analítica, integrando datos técnicos y percepción ciudadana, que puede apoyar la formulación y evolución de esta hoja de ruta tecnológica.

Es importante señalar que los instrumentos aquí analizados corresponden a los documentos oficiales a los que fue posible acceder y vinculados explícitamente al uso de datos, tecnologías emergentes y movilidad inteligente en Bogotá. No obstante, el ecosistema normativo y técnico del Distrito es amplio y puede incluir otras directrices, resoluciones o lineamientos sectoriales no abordados en esta revisión. Por lo tanto, este marco se presenta como un referente suficiente para apoyar el análisis realizado, sin pretender ser exhaustivo.

Implicaciones del Estudio para la Gestión de la Movilidad Inteligente en Bogotá

Los hallazgos del estudio muestran que, aunque Bogotá cuenta con semaforización inteligente, su impacto en los tiempos de desplazamiento es aún limitado. Para comprender este resultado, es necesario analizar las implicaciones de la implementación actual de la IA desde distintas dimensiones. Este análisis no solo parte de los resultados técnicos y de percepción ciudadana, sino también del marco institucional revisado, el cual establece orientaciones claras en materia de datos, tecnología e innovación que aún no se reflejan plenamente en la operación del sistema.

Implicaciones técnicas

La red de semaforización de Bogotá integra dispositivos inteligentes conectados al centro de control, aunque solo una parte de ellos cuenta con capacidades adaptativas avanzadas para ajustar los ciclos en función de la demanda real. La distribución de los adaptativos no es homogénea, en muchas zonas la infraestructura opera únicamente con sincronización centralizada, sin capacidad de ajustar ciclos en función de la demanda real. Esta heterogeneidad, sumada a la dependencia del sistema respecto a datos oportunos, sensores operativos y comunicación estable, limita la posibilidad de generar ajustes dinámicos que se traduzcan en

mejoras perceptibles en los tiempos de desplazamiento. Esto implica que el desempeño técnico de la IA es fragmentado y no uniforme, y debe avanzarse hacia una mayor homogeneidad y ampliación de capacidades adaptativas para mejorar su eficacia.

Implicaciones administrativas

El funcionamiento óptimo de los sistemas inteligentes depende de procesos administrativos robustos. La operación del Centro de Gestión del Tránsito requiere mantenimiento continuo, disponibilidad de talento especializado, monitoreo permanente del estado de los equipos y capacidad institucional para analizar información en tiempo real. La ausencia de indicadores permanentes en tiempo real, no históricos, orientados a resultado, especialmente sobre tiempos de viaje, fluidez y desempeño adaptativo, dificulta la toma de decisiones oportuna basada en evidencia. Esto implica que la gestión administrativa actual necesita fortalecerse para que la IA pueda operar como una herramienta estratégica y no solo tecnológica.

Implicaciones Operativas y Urbanas

La IA en semaforización actúa dentro de un entorno urbano complejo, influido por congestión estructural, picos extremos de demanda, movilidad informal, obras viales, accidentes y la operación simultánea de plataformas privadas de transporte. Incluso un sistema adaptativo robusto enfrenta dificultades para compensar estas condiciones cuando la demanda supera ampliamente la capacidad vial disponible. Esto implica que la IA, por sí sola, no puede mejorar significativamente los tiempos de desplazamiento sin intervenciones complementarias en la movilidad urbana.

Factores Estructurales que Limitan el Impacto de la IA

Los resultados moderados observados se explican por factores estructurales como la baja proporción de semáforos con verdadera capacidad adaptativa, la falta de interoperabilidad plena entre sistemas públicos y privados, la variabilidad en calidad y oportunidad de los datos, y la congestión crónica en algunos corredores. Estas condiciones reducen la capacidad del sistema para ajustar de manera eficiente los ciclos semaforicos. Esto implica que, mientras persistan estas condiciones, los efectos de la IA serán limitados, y debe trabajarse en superar estas brechas estructurales para que la tecnología pueda generar mejoras reales en los tiempos de desplazamiento.

Recomendaciones

El análisis del marco institucional muestra que Bogotá ya cuenta con políticas, directrices y lineamientos que orientan la adopción de inteligencia artificial, la gobernanza de datos y la modernización tecnológica del Distrito. Muchas de las acciones necesarias para fortalecer la semaforización inteligente ya se encuentran formuladas dentro de estos instrumentos. Sin embargo, los resultados del estudio evidencian brechas entre lo que plantean dichos documentos y las condiciones reales de operación del sistema. En esa medida, las recomendaciones que se presentan a continuación no buscan crear nuevas disposiciones, sino resaltar y desarrollar aquellas líneas de acción ya existentes que resultan más relevantes para cerrar estas brechas y avanzar hacia mejoras efectivas en la movilidad, especialmente en los tiempos de desplazamiento.

Gobernanza Interinstitucional

Para que la semaforización inteligente evolucione de manera coherente con las metas tecnológicas del Distrito, es necesario consolidar la movilidad inteligente como una vertical

estratégica dentro de la hoja de ruta tecnológica. Esto implica establecer mecanismos permanentes de coordinación entre la Secretaría de Movilidad, los operadores de transporte público, las entidades distritales responsables de gestión de datos, ambiente y seguridad vial, así como los actores privados que generan información útil para la operación del sistema. Una gobernanza articulada permitiría decisiones más consistentes y una implementación más eficiente de tecnologías adaptativas.

Sistema Unificado de Datos

La efectividad de los sistemas adaptativos depende de la integración de múltiples fuentes de información. Por ello, se recomienda avanzar hacia un sistema unificado que articule sensores, cámaras, plataformas privadas de movilidad, datos del transporte público y variables ambientales. Esta integración debe garantizar interoperabilidad técnica mediante protocolos comunes, estandarización y criterios de calidad que permitan alimentar los algoritmos en tiempo real y mejorar la capacidad predictiva del sistema.

Indicadores Orientados a Resultados

Para fortalecer el seguimiento y la evaluación del desempeño de la semaforización adaptativa, es necesario desarrollar indicadores más orientados a resultados. Entre ellos se destacan: medir el funcionamiento adaptativo por intersección, evaluar la variación de los tiempos de viaje por corredor y reportar con mayor periodicidad los resultados operativos. Una mayor transparencia y regularidad en la publicación de estos datos facilita la toma de decisiones y fortalece la rendición de cuentas.

Expansión de la Infraestructura Adaptativa

La ampliación de la red adaptativa debe priorizar zonas con alta congestión y baja cobertura. Es importante aumentar progresivamente la proporción de semáforos con capacidades adaptativas reales, diferenciándolos de aquellos que solo cuentan con conectividad centralizada. La toma de decisiones para la expansión puede apoyarse en análisis multicriterio que incorpore densidad vehicular, demanda horaria, características del uso de suelo y criticidad de los corredores.

Cultura Ciudadana y Comunicación

El fortalecimiento de la semaforización inteligente también requiere que la ciudadanía comprenda su funcionamiento. Para ello, es recomendable desarrollar campañas de comunicación pública que expliquen las características de los sistemas adaptativos, sus beneficios y su relación con la reducción de tiempos de desplazamiento. Una ciudadanía informada aumenta ayuda a legitimar las acciones y facilita la adopción de comportamientos que apoyen la gestión de la movilidad.

Sostenibilidad Urbana

El funcionamiento eficiente de la semaforización adaptativa puede contribuir a disminuir emisiones, reducir el consumo de combustible y mitigar el desgaste vehicular al mejorar los tiempos de circulación y disminuir los ciclos de detención. Para fortalecer este aporte, es recomendable integrar el uso de IA en los objetivos ambientales del Distrito, articulando la gestión del tráfico con las metas de calidad del aire, eficiencia energética y sostenibilidad

Limitaciones en el Estudio

También, es necesario plantear algunas limitaciones que se tuvieron en el estudio. Con respecto a la información de la red semafórica, esta provino del portal de datos abiertos de la secretaría de movilidad y se tomó en un momento determinado para hacer el análisis, implicando esto que se pueden presentar diferencias posteriores ya que su actualización es permanente. Otros campos o los indicadores incluidos en la encuesta, sin incorporar otra información, como accidentalidad, obras en las vías o en los sectores y con respecto al transporte público, por ejemplo, eficiencia y rutas, entre otros. También el hecho de hacer una única medición hace que el estudio sea bastante puntual y pudieran afectarse los resultados por algún hecho relevante que estuviera impactando en algún sector, zona o corredor vial.

Futuras Líneas de Investigación

Como líneas de investigación futura, este trabajo sugiere y deja varios aspectos que fue vislumbrando durante su desarrollo, por ejemplo, sería de gran aporte poder evaluar la eficiencia de la red semafórica inteligente con datos en tiempo real y poder complementar con estudios sobre la percepción ciudadana, pues son ellos, los que deben sentir el impacto de los avances, así mismo sería importante hacer mediciones longitudinales sobre estos aspectos, para tener comparabilidad. Otra línea es la relacionada con la interoperabilidad entre las diferentes plataformas y otros sistemas inteligentes de manera que se pueda analizar y hacer simulaciones sobre su eficacia a la luz de los tiempos de desplazamiento, manejo de rutas y opciones de beneficios por transitar en franjas horarias diferentes a las concentradas. Ampliar los análisis o hacerlos comparables, con otras ciudades de Colombia y el mundo profundizando en los factores contextuales, para que los modelos que se tomen o apliquen obedezcan a las verdaderas necesidades y desde la perspectiva social poder explorar soluciones de manera equitativa entre zonas y entender cómo esto influye en la valoración que el ciudadano hace de la movilidad.

Referencias Bibliográficas

- Akhtar, M., & Moridpour, S. (2021). A Review of Traffic Congestion Prediction Using Artificial Intelligence. *Journal of Advanced Transportation*. <https://doi.org/10.1155/2021/8878011>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2024). *Acuerdo 927 del 2024: Plan Distrital de Desarrollo Bogotá 2024-2027 "Bogotá Camina Segura"*. Concejo de Bogotá, D.C.
https://concejodebogota.gov.co/concejo/site/docs/20240124/asocfile/20240124201722/edicion_762_acuerdo_927_del_2024.pdf
- Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C. (2025). *Acuerdo 001 de 2025: Por el cual se adopta el Reglamento Interno del Comité Distrital de Datos* (Registro Distrital No. 8242, 15 de enero de 2025 <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=171778>
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Consejo de Política Económica y Social del Distrito Capital (CONPES D.C.). (2023). *Política Pública Bogotá Territorio Inteligente 2023-2032* (Documento CONPES D.C., No. 29).
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=143684>
- Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C. (2023). *Decreto 575 de 2023*.
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=151657>
- American Educational Research Association, American Psychological Association, & National Council on Measurement in Education. (2014). *Standards for educational and psychological testing*. American Educational Research Association.
https://www.testingstandards.net/uploads/7/6/6/4/76643089/standards_2014edition.pdf
[testingstandards.net](https://www.testingstandards.net)

- Anderson, D. R., Sweeney, D.J., & Williamns, T.A. (2004). Estadística para administración economía (10ª ed.). Cengage Learning. <https://www.upg.mx/wp-content/uploads/2015/10/LIBRO-13-Estadistica-para-administracion-y-economia.pdf>
- Bergkvist, L., & Rossiter, J. R. (2007). The predictive validity of multiple-item versus single-item measures of the same constructs. *Journal of Marketing Research*, 44(2), 175–184. https://ro.uow.edu.au/articles/journal_contribution/The_predictive_validity_of_multiple-item_versus_single-item_measures_of_the_same_constructs/27726672
- Creswell. J.W., and Creswell. J.W. (2018) *Research Design Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches Fifth Edition*. https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/510378/mod_resource/content/1/creswell.pdf.
- Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Defensa Nacional, Ministerio del Trabajo, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Ministerio de Educación Nacional, Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, & Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2025). *Política nacional de inteligencia artificial* (Documento CONPES 4144). Departamento Nacional de Planeación. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4144.pdf>
- DeVellis, R. F. (2017). *Scale development: Theory and applications* (4. ed.). SAGE Publications. Enlace: <https://tms.iau.ir/file/download/page/1635238305-develis-2017.pdf>
- Diamantopoulos, A., Sarstedt, M., Fuchs, C., Wilczynski, P., & Kaiser, S. (2012). Guidelines for choosing between multi-item and single-item measures. *Journal of Business Research*, 65(6), 1091–1095. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11747-011-0300-3>

- Ebadinezhad, S., Stanley, K., Engo, G., Osemeha, N., & Mayar, A. (2024). The Impact of AI on Traffic Management and Safety in the Internet of Vehicles through Mobile Edge Computing. 2024 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), 319–326. <https://doi.org/10.1109/ICICT60155.2024.10544636>
- Fuchs, C., & Diamantopoulos, A. (2009). Using single-item measures for construct measurement in management research. *Die Betriebswirtschaft*, 69(2), 195–210. https://temme.wiwi.uni-wuppertal.de/fileadmin/_migrated/content_uploads/fuchs_diamantopoulos_2009.pdf
- Gao, J., Yang, H., & Sun, D. (2020). *Artificial intelligence in traffic signal control: A review*. *Transportation Research Part C*, 115, 102–123.
- González, R., & Liberona, D. (2019). Government and governance in intelligent cities, smart transportation study case in Bogotá Colombia. *Ain Shams Engineering Journal*, 11, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.05.002>
- González, S., Bedoya-Maya, F., & Calatayud, A. (2021). Understanding the Effect of Traffic Congestion on Accidents Using Big Data. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su13137500>
- Grueso, F.M. (ed.) (2018) Censo nacional de población y vivienda , DANE. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>.
- Haynes, S. N., Richard, D. C. S., & Kubany, E. S. (1995). Content validity in psychological assessment: A functional approach to concepts and methods. *Psychological Assessment*, 7(3), 238–247.

https://www.researchgate.net/publication/232480869_Content_VValidity_in_Psychological_Assessment_A_Functional_Approach_to_Concepts_and_Methods/link/00b495380f1ad8dd3a000000/download

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill Education.

https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

Ilgin Guler, S., Menendez, M., & Meier, L. (2014). Using connected vehicle technology to improve the efficiency of intersections. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 46, 121-131. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.05.008>

Injac, Z., Arsić, S., Drašković, D., & Arsić, M. (2025). Urban traffic management using artificial intelligence: A sustainable approach to enhancing urban mobility. *Journal of Traffic and Transport Theory and Practice (JTTP)*, 10(1), 30-35. <https://doi.org/10.7251/JTTP2501030I>

Instituto de Desarrollo Urbano - IDU. (2023). Estado de la infraestructura vial en Bogotá y proyectos de modernización. <https://www.idu.gov.co>

International Transport Forum (ITF). (2021). Decongesting our cities: Summary and conclusions (ITF Roundtable 183). OECD Publishing. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/05/decongesting-our-cities_a91eab9/930c8f58-en.pdf

- Kumar, N., & Raubal, M. (2021). Applications of deep learning in congestion detection, prediction and alleviation: A survey. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103432>.
- Li, Y., Bai, F., Lyu, C., Qu, X., & Liu, Y. (2025). A systematic review of generative adversarial networks for traffic state prediction: Overview, taxonomy, and future prospects. *Information Fusion*. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2024.102915>.
- Liu, X., Li, Z., & Chen, Y. (2021). *Smart traffic management systems and urban congestion: Integrating AI and behavioral data*. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 25(4), 354–369.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2022). Análisis de Situación de Salud Colombia 2022. <https://www.minsalud.gov.co/documents/2022/analisis-situacion-salud-2022.pdf>
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (s.f.). Guía con lineamientos generales para el uso de tecnologías emergentes. <https://gobiernodigital.mintic.gov.co>
- Nigam, N., Singh, D., & Choudhary, J. (2023). A Review of Different Components of the Intelligent Traffic Management System (ITMS). *Symmetry*, 15(3), 583. <https://doi.org/10.3390/sym15030583>
- Observatorio de Movilidad. (2029). Encuesta de Movilidad de Bogotá 2019. Movilidad Bogotá. https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/20-12-2019/resultados_preliminares_encuestamovilidad_2019-20191220.pdf

- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Revista Chilena de Neuro-Psiquiatría*, 55(4), 227–230. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>
- Pourmehrab, M., Elefteriadou, L., Ranka, S., & Martin-Gasulla, M. (2017). Optimizing Signalized Intersections Performance Under Conventional and Automated Vehicles Traffic. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21, 2864–2873. <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2921025>.
- Proyecciones de población por área y sexo, Bogotá. (2018) Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Available at: <https://www.dane.gov.co/> (Accessed: 05 May 2025).
- Ramírez, A., & Valencia, C. (2020). Spatiotemporal correlation study of traffic accidents with fatalities and injuries in Bogotá (Colombia). *Accident Analysis & Prevention*, 149, 105848. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105848>
- Sattari, M., Rahimi, M., & Dehghanian, V. (2017). Applications of Computational Intelligence in Vehicle Traffic Congestion Problem: A Survey. *Expert Systems with Applications*, 77, 132–155. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.04.002>
- Secretaría de Ambiente de Bogotá. (2023). Niveles de contaminación en Bogotá y su impacto en la salud pública. <https://oab.ambientebogota.gov.co>
- Secretaría Distrital de Movilidad. (2022). *Informe técnico sobre el sistema de semaforización inteligente y su integración con corredores troncales*. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. <https://www.movilidadbogota.gov.co>

Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá. (2023). Informe de Gestión y Resultados.

<https://www.movilidadbogota.gov.co>

Secretaría Distrital de Movilidad. (2024). *Estado de la infraestructura vial de Bogotá* [tablero interactivo]. Observatorio de Movilidad de Bogotá.

<https://www.movilidadbogota.gov.co/web/observatorio-de-movilidad>

Secretaría Distrital de Movilidad. (2025, mayo). Red semafórica del Distrito Capital [Base de datos en formato GPKG]. Datos Abiertos Bogotá. <https://datosabiertos.bogota.gov.co/>

Shabestary, S., & Abdulhai, B. (2018). Deep Learning vs. Discrete Reinforcement Learning for Adaptive Traffic Signal Control. 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 286-293. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569549>.

Shaikh, P. W., Pawar, D. D., & Pawar, R. V. (2022). A Review on Swarm Intelligence and Evolutionary Algorithms for Solving the Traffic Signal Control Problem. *Swarm and Evolutionary Computation*, 71, 100873. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2022.100873>

Sobral, T., Galvão, T., & Borges, J. (2019). Visualization of Urban Mobility Data from Intelligent Transportation Systems. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 19. <https://doi.org/10.3390/s19020332>.

Soomro, S., Miraz, M. H., Prasanth, A., & Abdullah, M. S. (2018). Artificial Intelligence Enabled IoT: Traffic Congestion Reduction in Smart Cities. *IET Conference Proceedings*, 1381–1386. <https://doi.org/10.1049/cp.2018.1381>

- Timalsina, P., & Parajuli, S. (2024). Exploring Trends in Transportation Management: A Review of Scientific Papers on Dimension AI Database from 2020-2024. *NPRC Journal of Multidisciplinary Research*. <https://doi.org/10.3126/nprcjmr.v1i4.70946>
- TomTom Traffic Index. (2024). Congestión vehicular en Bogotá y otras ciudades. <https://www.tomtom.com/traffic-index>
- UITP. (2021). Better Urban Mobility Playbook 2021. <https://www.uitp.org/wp-content/uploads/sites/7/2025/04/Report-BETTER-URBAN-MOBILITY-PLAYBOOK.pdf>
- Vasirani, M., & Ossowski, S. (2014). A Market-Inspired Approach for Intersection Management in Urban Road Traffic Networks. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 43, 621–659. <https://doi.org/10.1613/jair.3560>
- Wolniak, R., & Stecula, K. (2024). Artificial intelligence in smart cities—Applications, barriers, and future directions: A review. *Smart Cities*, 7(3), 1346–1389. <https://doi.org/10.3390/smartcities7030057>
- Xu, S., Sun, C., & Liu, N. (2024). Road congestion and air pollution -Analysis of spatial and temporal congestion effects.. *The Science of the total environment*, 173896 . <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173896>.
- Yin, X., Wu, G., Wei, J., Shen, Y., Qi, H., & Yin, B. (2021). Deep Learning on Traffic Prediction: Methods, Analysis, and Future Directions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23, 4927-4943. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3054840>.

- Zhang, J., Wang, J., Zang, H., , N., Skitmore, M., Qu, Z., Skulmoski, G., & Chen, J. (2024). The Application of Machine Learning and Deep Learning in Intelligent Transportation: A Scientometric Analysis and Qualitative Review of Research Trends. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su16145879>.
- Zhu, L., Yu, F., Wang, Y., Ning, B., & Tang, T. (2019). Big Data Analytics in Intelligent Transportation Systems: A Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20, 383-398. <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2815678>.

ANEXO 1

Encuesta Ciudadana de Construcción Propia

Este anexo muestra cada una de las preguntas con las posibles respuestas que fue diseñada para aplicar a los ciudadanos. Esta encuesta se le aplico a 316 personas que cumplieron el perfil definido como se documento en el capítulo tres sobre la metodología.

El cuestionario aplicado desde Google_Forms, desde el link:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd0L46ed9pBE-CkAiuOwKPY4-tb_3fFOc3WeqeDHlpOYCyZlW/viewform?usp=header

CUESTIONARIO:

1. ¿Vive actualmente en la ciudad de Bogotá?

Marca solo un óvalo.

Si

No

Salta a la sección 10 (CIERRE)

2. ¿Cuál es su edad?

Marca solo un óvalo.

18–25 años

- 26–35 años

- 36–45 años

- 46–55 años

- 56–65 años

- Mayor de 65 años
- Prefiero no responder

3. ¿Con qué frecuencia se desplaza por la ciudad en una semana típica (días hábiles)?*

Marca solo un óvalo.

1–3 veces

Salta a la sección 10 (CIERRE)

- 4–6 veces

- 7 o más veces (todos los días hábiles o más)

4. ¿Cuál de los siguientes grupos de transporte describe mejor su modo principal de desplazamiento?

Marca solo un óvalo.

Transporte público formal (TransMilenio, SITP, taxi o taxi por aplicación)

Salta a la pregunta 5

Carro particular

Salta a la pregunta 6

Moto

Salta a la sección 10 (CIERRE)

- No motorizado (bicicleta o caminata)

Salta a la sección 10 (CIERRE)

- Otro motorizado (escolar, intermunicipal, carga, turismo, etc.)

Salta a la sección 10 (CIERRE)

5. ¿Cuál utiliza con mayor frecuencia?

Marca solo un óvalo.

TransMilenio

- SITP

- Taxi tomado en la calle

- Taxi solicitado por aplicación (EasyTaxi/Tappsi)

- App de movilidad (Uber, DiDi, Cabify, InDriver)

- Otro formal: _____

6. ¿En qué localidad reside?

Marca solo un óvalo.

Usaquén

Chapinero

Santa Fe

San Cristóbal

Usme

Tunjuelito

Antonio Nariño

Los Mártires

La Candelaria

Bosa

Puente Aranda

La Macarena

Teusaquillo

Barrios Unidos

Engativá

Fontibón

Kennedy

Suba

Rafael Uribe Uribe

Ciudad Bolívar

Sumapaz Opción 1

Otro

7. ¿En qué barrio reside?

8. ¿En cuál de estos sectores se encuentra con mayor frecuencia su destino principal (trabajo, estudio u otra actividad regular)? *

Marca solo un óvalo.

Nororienté

- Noroccidente

- Occidente

- Centro Ampliado

- Suroccidente

- Surorienté

- Rural

- No sabe / No recuerda

9. En sus trayectos hacia su destino principal, ¿cuáles de estas vías principales utiliza con mayor frecuencia? (puede marcar varias) *

Selecciona todos los que correspondan.

- Av. Suba
- Av. Boyacá
- Av. 68
- Carrera 7ª
- Calle 26

NQS

Ciudad de Cali

Autopista Norte

Calle 80

Avda Primera de Mayo

Avda Americas

Autopista Sur

Avda Caracas

Avenida Centenario(calle 13)

Avenida Jose Celestino Mutis (calle 63)

Otro:

10. ¿En qué horarios suele desplazarse con mayor frecuencia hacia su destino principal? (puede marcar más de una opción)

Selecciona todos los que correspondan.

Hora pico mañana (6:00–9:00 am)

- Hora pico tarde (4:00–7:00 pm)
- Horas valle (fuera de picos)

- Horarios variables / no fijos

11. ¿Qué tan útiles considera las tecnologías basadas en inteligencia artificial para mejorar la movilidad urbana?

Marca solo un óvalo.

Nada útil

- Poco útil

- Neutral

- Útil

- Muy útil

12. ¿Qué aplicación utiliza con mayor frecuencia para calcular rutas o conocer el estado del tráfico?

Marca solo un óvalo.

Waze

- Google Maps

- Moovit

- Transit

- Otra: _____

- No utiliza ninguna

13. ¿Qué nivel de conocimiento tiene sobre tecnologías como semáforos inteligentes, sensores de tráfico o sistemas predictivos?

Marca solo un óvalo.

-Nunca he escuchado de ellas

- He escuchado, pero no sé cómo funcionan
- Sé algo sobre su funcionamiento
- Tengo buen conocimiento del tema

14. En sus recorridos habituales, ¿ha notado semáforos que se adapten al tráfico, sensores u otras tecnologías similares?

Marca solo un óvalo.

Sí

Salta a la pregunta 15

No

Salta a la pregunta 16

No está seguro/a

Salta a la pregunta 16

No aplica - *Salta a la pregunta 16*

15. En sus trayectos hacia su destino principal, ¿en cuáles de las siguientes intersecciones o cruces semaforizados ha notado la presencia de estas tecnologías? (puede marcar varias)

Selecciona todos los que correspondan.

- Av. Suba × calle 100
- Av. 68 × Calle 26
- NQS (Av. Carrera 30) × Calle 26
- Carrera 7ª × Calle 72
- Autopista Norte × Calle 134

- Av. Boyacá × Calle 80

- Av. Ciudad de Cali × Calle 13

Otra Intersección

- No recuerda la intersección

16. ¿Cuánto tiempo tarda en promedio en llegar a su destino? *

Selecciona todos los que correspondan.

Menos de 20 minutos

- 21–40 minutos

- 41–60 minutos

- 61–90 minutos

- Más de 90 minutos

En hora pico

En hora valle (No pico)

17. ¿En su experiencia, los tiempos de desplazamiento urbano en Bogotá durante los últimos 2 años han...?

Marca solo un óvalo.

Mejorado

- Se han mantenido igual

- Empeorado

- No sabe / Prefiere no responder

ANEXO 2

Ficha Técnica - Diccionario de Datos Red Semafórica

Este anexo contiene, la descripción de la base de datos denominada Red Semafórica, la cual sirvió de base para esta investigación, junto con los nombres de los campos de datos que fueron utilizados, información publicada en el Portal De Datos Abiertos de la Secretaría de Movilidad con fecha según la metada de mayo de 2025 (SDM 2025).

El archivo contenía 1672 registros correspondientes a las intersecciones que tenía la ciudad y estaban semaforizadas para la fecha de la consulta. La información corresponde a los datos sobre los semáforos que estaban en operación en dicha intersección, especificando información sobre su ubicación, datos sobre los controladores que manejan la intersección, el modo de funcionamiento y otro tipo de información adicional que no se requirió y no fue tomada para el presente estudio. A continuación, se muestra el nombre del campo y el contenido del dato que allí se registra.

NOMBRE CAMPO EN BASE	
DATOS	CONTENIDO DATO
ID	Identificador de la Intersección
	Dirección Intersección-ubicación
DIRECCIÓN	cruce
LOCALIDAD	Localidad según el POT (2021)
OPERACIONA	Estado de Operación
FUNCIONAMI	Código Modo de Operación

Nota. Elaborada con datos del Diccionario de Datos de la Secretaría de Movilidad (2025)

A continuación, tomado directamente del diccionario de datos mencionado, se muestra el significado de los códigos que se registran, en el campo FUNCIONAMI, los cuales determinan el nivel de autonomía y capacidad de respuesta del controlador del semáforo frente al flujo de los vehículos.

Campo FUCIONAMI

Definición de Lista dominio	Hace referencia a las posibles combinaciones entre las diferentes estrategias de control a nivel del controlador y a nivel de central.
Código Dominio	BT-TA, BT-TF, CA-TA, CA-TF, RP-TA, RP-TF, R-TA, R-TF
Etiqueta	BT (Basado en el Tiempo): mecanismo de selección de planes de señales activados según un horario o día específico. CA (Central Adaptativo): modo de control que ajusta los planes de señales según las condiciones del tránsito registradas por los detectores, mediante el ajuste de los tiempos de luz verde y otras acciones. RP / R (Responsivo): mecanismo de selección de planes responsivo que ajusta los planes de señales según las condiciones del tránsito detectadas. Se realiza enviando una orden de cambio a un plan de señal determinado. TA (Tráfico Actuado): modo de control basado en programación variable accionada por un algoritmo en el controlador. Optimiza la operación del tráfico en función de las variables detectadas. TF (Tiempos Fijos): modo de control basado en programación fija de planes de señales preestablecidos en el controlador. Permite regular el tránsito de manera constante y predecible, sin depender de las condiciones actuales del tráfico.

Definición del dominio	Posibles combinaciones que consideran diferentes estrategias de control a nivel de controlador y a nivel de central, permitiendo gestionar de manera más eficiente las diferentes operaciones de la intersección semafórica.
-------------------------------	--

Diccionario de Datos – Secretaría de Movilidad (2025)

Anexo 3

Cálculo del tamaño de la muestra

Este anexo muestra el cálculo del tamaño de la muestra n para la Encuesta Ciudadana de Construcción Propia.

El tamaño de la muestra se determinó con base en la siguiente fórmula estadística para poblaciones finitas:

$$n = (N \times Z^2 \times p \times q) / ((N - 1) \times e^2 + Z^2 \times p \times q) \text{ donde:}$$

- n = tamaño de la muestra
- N = tamaño de la población
- Z = valor de la distribución normal asociado al nivel de confianza (1.96 para 95 %)
- p = proporción esperada de la característica a estudiar (0.5, valor conservador)
- $q = 1 - p$
- e = margen de error permitido

Para una población objetivo de $N = 3.2$ millones de habitantes, nivel de confianza del 95 %, y $p = q = 0.5$

se calcularon los tamaños de muestra para tres márgenes de error distintos:

Margen de error (e)	Tamaño de muestra (n)
5%	384
5.5%	318
7%	196

Fuente: Construcción Propia

Calculados efectuados con base en:

Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014)

Anexo 4

Sector Zonal según localidad

El siguiente cuadro muestra la agrupación territorial utilizada para organizar la información de la red semafórica de Bogotá en cinco sectores zonales.

Esta división tiene como propósito facilitar el análisis comparativo entre zonas de la ciudad y se basa en una clasificación referencial de localidades con continuidad geográfica y características urbanas compartidas.

Sector Zonal	Localidades Incluidas
Nororiental	Usaquén, Chapinero
Noroccidente	Suba, Engativá, Barrios Unidos
Occidente	Fontibón, Puente Aranda
Centro Ampliado	Santa Fe, La Candelaria, Los Mártires, Teusaquillo
Suroccidente	Kennedy, Bosa
Suroriental	San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Tunjuelito, Usme, Antonio Nariño, Ciudad Bolívar

Nota. Construcción con base – Encuesta de Movilidad (Secretaría de Movilidad, 2024) y Plan de Ordenamiento Territorial (Planeación Distrital 2021)

Anexo 5

Matriz de Operacionalización de Variables

Variable /Tipo	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medicion	Tecnica de Medicion	Fuente de verificación
Implementación de Inteligencia Artificial en la gestión del tráfico / Vble Independiente	Se refiere al uso de tecnologías basadas en IA, como machine learning, visión computacional y sistemas expertos, aplicadas para optimizar y automatizar procesos de gestión del tráfico urbano (Ebadinezhad et al., 2024).	Nivel de adopción y uso de herramientas de IA en la red de control del tráfico (ej. presencia de sistemas predictivos, semáforos inteligentes, sensores de flujo y plataformas de visualización con analítica).	Nivel de automatización, tipo de IA empleada, infraestructura digital activa.	Presencia de IA en semáforos; uso de analítica predictiva; número de sensores conectados.	Ordinal (Niveles de implemntacion: baja, media, alta)	Revisión documental de planes y sistemas implementados; entrevistas con responsables técnicos.	Akhtar & Moridpour (2021); Shaikh et al. (2022); Sattari et al. (2017); Nigam et al. (2023)
Tiempos promedio de desplazamiento urbano / Vble Dependiente	Duración promedio que toma a los vehículos desplazarse de un punto a otro en un entorno urbano, siendo un indicador crítico de eficiencia en la movilidad urbana. (González et al., 2021; Zhang et al., 2024; Ebadinezhad et al., 2024)	Tiempo medio medido en minutos entre dos puntos seleccionados dentro del sistema vial durante franjas horarias pico.	En franja horaria: a) Tiempo promedio por tramo, b) Tiempo promedio por zona, c) Tiempo promedio por modalidad de transporte	Duración promedio de viaje; velocidad promedio registrada; tiempo entre origen y destino.	Razón (tiempo en minutos); continua (velocidad en km/h).	Análisis de datos GPS, reportes de movilidad, plataformas de big data y simulaciones de tránsito.	González et al. (2021); Zhang et al. (2024); Ebadinezhad et al. (2024); Pourmehrab et al. (2017)

Fuente Construcción Propia

Con base en esta matriz se construyó el instrumento Encuesta Ciudadana de Construcción Propia y se estructuro la información que se requería de fuentes oficiales, lo que finalmente arrojó que la red semafórica era la infraestructura donde confluían las implementaciones que podían incidir en los tiempos de desplazamiento.

Anexo 6

Nivel promedio semafórico IA por sector zonal

A continuación, se muestran los valores del número de intersecciones corresponden al conteo obtenido del archivo la red semafórica, y el nivel de IA promedio fue calculado a partir de las variables derivadas en el presente estudio

Sector Zonal	No. de Intersecciones	Nivel Promedio IA Semafórico
Centro Ampliado	342	Alto
Noroccidente	401	Medio
Nororiente	259	Alto
Occidente	177	Bajo
Suroccidente	257	Bajo
Suroriente	256	Medio
Total general	1692	

Fuente: Elaboración propia de clasificación a partir de la red semafórica de la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM, 2025)

Anexo 7

Resultados ANOVA

En este anexo se presentan las salidas completas del análisis ANOVA realizadas en Excel mediante la función herramientas de análisis. Se muestran los resultados originales generados para cada uno de los cuatro modelos aplicados:

ANOVA 1 – Cobertura IA vs Percepción de Mejora

Anova: Single Factor

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
ALTO	127	182	1,43307087	0,39032621
MEDIO	108	136	1,25925926	0,24991346
BAJO	73	95	1,30136986	0,29680365

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1,91283934	2	0,95641967	2,99828229	0,05134496	3,0253502
Within Groups	97,2917061	305	0,3189892			
Total	99,2045455	307				

ANOVA 2 – Modo de transporte vs Percepción de Mejora

Anova: Single Factor

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
PUBLICO	190	257	1,35263158	0,35647452
PRIVADO	118	156	1,3220339	0,27147617

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0,06814938	1	0,06814938	0,21035372	0,64681588	3,87202722
Within Groups	99,1363961	306	0,32397515			

Total	99,2045455	307
-------	------------	-----

ANOVA 3 – Utilidad percibida IA vs Percepción de Mejora

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
1	4	7	1,75	0,91666667
2	30	60	2	0
1	85	122	1,43529412	0,39159664
2	105	139	1,32380952	0,31721612
1	77	95	1,23376623	0,234108

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	14,1246934	4	3,53117335	12,0937868	4,0618E-09	2,40214535
Within Groups	86,4268016	296	0,29198244			
Total	100,551495	300				

ANOVA 4 – Franja horaria vs Percepción de Mejora

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
2	255	339	1,32941176	0,32413154
1	24	33	1,375	0,41847826
1	25	36	1,44	0,25666667

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,30664087	2	0,15332043	0,47036363	0,62523348	3,02574641
Within Groups	98,1144118	301	0,3259615			
Total	98,4210526	303				

Anexo 8

Resultados Regresión múltiple

En este anexo se presentan las salid completa de la regresión múltiple, realizadas en Excel mediante la función herramientas de análisis. Se muestran los resultados originales generados.

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,2049661							
R Square	0,0420111							
Adjusted R Square	0,022915							
Standard Error	0,5619048							
Observations	308							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	6	4,1676909	0,69461515	2,19997981	0,0429727			
Residual	301	95,036855	0,31573706					
Total	307	99,204545						
	<i>Coefficients</i>	<i>tandard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>ower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	1,6256585	0,1988358	8,17588249	8,2804E-15	1,2343741	2,0169428	1,234374	2,016943
COBERTURA	0,0873569	0,0415649	2,10169639	0,03641078	0,0055622	0,1691515	0,005562	0,169152
UTILIDAD_IA	-0,083254	0,032531	-2,5592174	0,01097959	-0,1472707	-0,019237	-0,14727	-0,019237
MODOTRANS	-0,017831	0,0696551	-0,2559851	0,79813718	-0,1549032	0,1192419	-0,1549	0,119242
PICO_DUMM	-0,088803	0,1171567	-0,7579855	0,44905271	-0,3193531	0,1417469	-0,31935	0,141747
VALLE_DUMM	-0,02975	0,1568776	-0,1896375	0,84972099	-0,3384656	0,2789658	-0,33847	0,278966
DUMMY EDAI	-0,034117	0,0174338	-1,9569249	0,05128047	-0,0684242	0,0001909	-0,06842	0,000191