



APOYO A LA IMPLEMENTACIÓN Y LA GESTIÓN DE UN PROGRAMA DE MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE EN LA REPÚBLICA DOMINICANA Y DEL PLAN DE MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE DEL GRAN SANTO DOMINGO - AIPMUS

PLAN DE CIRCULACIÓN DE LA ZONA CENTRO DE LA ALCALDÍA DEL DISTRITO NACIONAL. AIPMUSRD – 4.2

INFORME III V.3

Construcción y aplicación de un modelo mesoscópico y microscópico

Fecha: Abril de 2025



Autores: Equipo AC&A.

Este documento fue elaborado con fondos de donación de la Unión Europea (UE), administrados por la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD). Las opiniones expresadas aquí son responsabilidad de sus autores y no necesariamente reflejan la opinión oficial de la UE o de la AFD.

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción	6
1.1	Estructura del documento	6
2	Metodología	7
2.1	Herramienta de simulación	8
2.2	Recopilación de información	9
2.3	Construcción del escenario base	12
2.4	Calibración y Validación del modelo	13
2.5	Construcción de escenarios a modelar	14
2.6	Evaluación de escenarios y definición de un piloto para microsimulación	14
3	Escenarios de modelación	15
3.1	Escenario Business as Usual	16
3.2	Escenario de referencia	16
3.3	Escenario 1	18
3.3.1	Características operativas de los corredores	22
3.4	Escenario 2	23
3.5	Escenario 3	24
4	Modelo base mesoscópico	26
4.1	Área de modelación	26
4.1.1	Zonificación	27
4.2	Caracterización de la operación actual	29
4.2.1	Red base de modelación	29
4.2.2	Transporte público	33
4.2.3	Demanda vehicular	34
4.3	Asignación dinámica	40
4.4	Calibración	41
4.4.1	Medidas de desempeño y criterios de evaluación	41
4.4.2	Información para calibración	42
4.4.3	Parámetros de calibración	43
4.4.4	Proceso de calibración	44

5	<i>Modelo escenario de referencia</i>	46
5.1	Características de la operación	46
5.1.1	Restricción del Estacionamiento.....	46
5.1.2	Restricción de la circulación del transporte de carga	47
5.1.3	Optimización de los ciclos semafóricos	48
5.1.4	Señalización y fiscalización de sentidos circulatorios de vías locales.....	50
5.2	Demanda escenario de referencia	50
6	<i>Modelos Escenarios</i>	52
6.1	Escenario E1	52
6.2	Escenario E2	53
6.3	Escenario E3	55
7	<i>Análisis de resultados y selección del mejor escenario</i>	57
7.1	Consideraciones al escenario seleccionado	69
8	<i>Análisis par vial Churchill y Lincoln</i>	70
9	<i>Modelo microscópico</i>	74
9.1	Elección del área de modelación	74
9.2	Construcción del modelo Micro	75
9.2.1	Calibración de los parámetros de comportamiento	76
9.2.2	Resultados modelo base	77
9.3	Modelo micro Escenario 1	79
9.3.1	Demoras promedio por intersección	81
9.3.2	Longitud de colas.....	82
9.3.3	Nivel de servicio.....	83
9.3.4	Velocidades.....	83
9.4	Medidas adicionales	87
10	<i>Conclusiones y recomendaciones</i>	88
11	<i>Anexo 1: Características generales de los sistemas BRT y carriles exclusivos y benchmarking de sistemas existentes</i>	90
12	<i>Anexo 2: Vías con BRT o carriles preferenciales para transporte público</i>	97
13	<i>Anexo 3: Comparativa ciclos semafóricos entre escenarios BAU y de referencia</i> ..	103
14	<i>Anexo 5: Validación tiempos de viaje modelo base</i>	106

15	<i>Anexo 5: Descripción de parámetros</i>	107
16	<i>Anexo 6: Demoras promedio por intersección – Modelo microscópico</i>	108

ACRÓNIMOS

ADN	Alcaldía del Distrito Nacional
AIPMUS	Ayuda para la Implementación del Plan de Movilidad Urbana Sostenible
BAU	Business as usual
CCT	Centro de Control de Tráfico
DN	Distrito Nacional
EOD	Encuestas Origen Destino
EREF	Escenario de Referencia
GSD	Gran Santo Domingo
INTRANS	Instituto Nacional de Tránsito y Transporte Terrestre
PMUS	Plan de Movilidad Urbana Sostenible
SD	Santo Domingo
SDE	Santo Domingo Este
SDN	Santo Domingo Norte
SDO	Santo Domingo Oeste

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene la versión revisada del tercer entregable técnico de la Prestación de apoyo para la implementación y la gestión de un programa de movilidad urbana sostenible en la República Dominicana y del plan de movilidad urbana sostenible (PMUS) del Gran Santo Domingo – Proyecto AIPMUS 4.2, financiado con fondos de la Unión Europea a través del Instituto Nacional de Tránsito y Transporte Terrestre (INTRANT) de la República Dominicana.

En este caso mediante la firma del contrato CT-005-2022, celebrado entre el INTRANT y la empresa AC&A Global, se diseñará el Plan de circulación para la zona central de la Alcaldía del Distrito Nacional (ADN) y fortalecimiento de capacidades en gestión de tráfico, mediante la creación de un modelo de meso/micro modelación para la zona centro y la capacitación en el uso de modelos de micro simulación y regulación de tráfico.

Precede a este documento el Diagnóstico de situación de la circulación en el Distrito Nacional (DN) de Santo Domingo, entregado al INTRANT el día 09 de junio del año 2023, donde a través de un análisis de información secundaria, relevamientos en campo y talleres participativos, se analizaron las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la circulación en un área específica del DN y se presentaron conclusiones concretas al respecto.

A partir del Diagnóstico se ha desarrollado la propuesta del Plan de Circulación para la zona centro de la ADN, abordando los distintos ejes estratégicos - como la seguridad vial y la fiscalización, el transporte público y privado, la logística para la distribución urbana de mercancías, entre otros -, e identificando el impacto económico de cada estrategia a partir de valores de referencia.

1.1 Estructura del documento

Este documento presenta la memoria descriptiva para la construcción y aplicación de un modelo mesoscópico y microscópico en el entorno del área de estudio, definidos a partir de los resultados obtenidos del diagnóstico de situación y de las propuestas para el Plan de Circulación para el área central del Distrito Nacional.

Inicia con la presentación de la metodología y es seguido por una descripción del modelo base y los escenarios de modelación propuestos.

Finalmente, se presentan los pasos a seguir referidos a la calibración del modelo base, la selección del mejor escenario mesoscópico y el desarrollo de una prueba piloto de microsimulación.

2 METODOLOGÍA

Los modelos son representaciones de partes del mundo real que se concentran en ciertos elementos considerados importantes para su análisis desde un punto de vista particular.¹ Los modelos de asignación del tránsito se clasifican en tres escalas, según su grado de detalle o resolución.

- Los modelos de microsimulación poseen un alto grado de detalle, puesto que permiten analizar individualmente el comportamiento de los conductores y el desempeño de los vehículos en conjunto con sus interacciones en la red vial y sus características. Se consideran factores tales como las decisiones (giros y cambios de carril, aceleración, desaceleración y frenado, estacionamiento, etc.) y tipologías de conductores (agresividad, reacción a otros vehículos); distancias y velocidades relativas entre los vehículos; y control de semáforos y otros elementos de infraestructura. El movimiento se modeliza de forma continua en el tiempo y el espacio.
- Los modelos macroscópicos trabajan a nivel de red completa o regiones extensas, con bajo nivel de detalle, es decir que no identifica a los vehículos individualmente y a sus interacciones, sino que los analiza en forma colectiva. Utilizan relaciones determinísticas tales como el flujo de tránsito, la velocidad promedio y la densidad.
- Los modelos mesoscópicos simulan de forma agregada el comportamiento de los distintos actores de la corriente del tránsito, utilizándose atributos tales como la densidad o la velocidad media. La reacción directa de los actores ante otros actores solo se produce en los nodos (intersecciones). El grado de detalle es intermedio entre los modelos micro y macroscópicos.

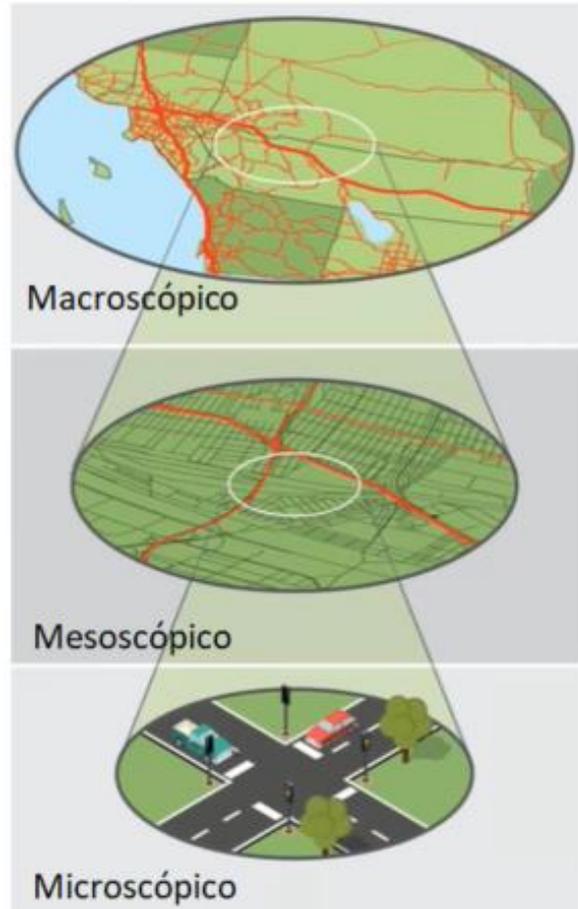
La combinación de modelos de meso y microsimulación para determinadas secciones de red se denomina simulación híbrida. Esto sirve para simular partes de mayor interés de forma microscópica y otras con menor detalle mediante mesosimulación.

Para pasar de un modelo a otro, se necesita:

- De macro a meso: incorporar datos sobre la densidad y velocidad media para analizar cómo se comportan grupos de vehículos en intersecciones.
- De meso a micro: utilizar datos específicos sobre comportamiento individual y características vehiculares para realizar simulaciones más detalladas.
- De micro a macro: agregar los resultados individuales para obtener promedios generales sobre el flujo y la densidad del tráfico.

¹ Ortúzar J de D & Willumsen L G, Modelling Transport.

Figura 1. Niveles de simulación



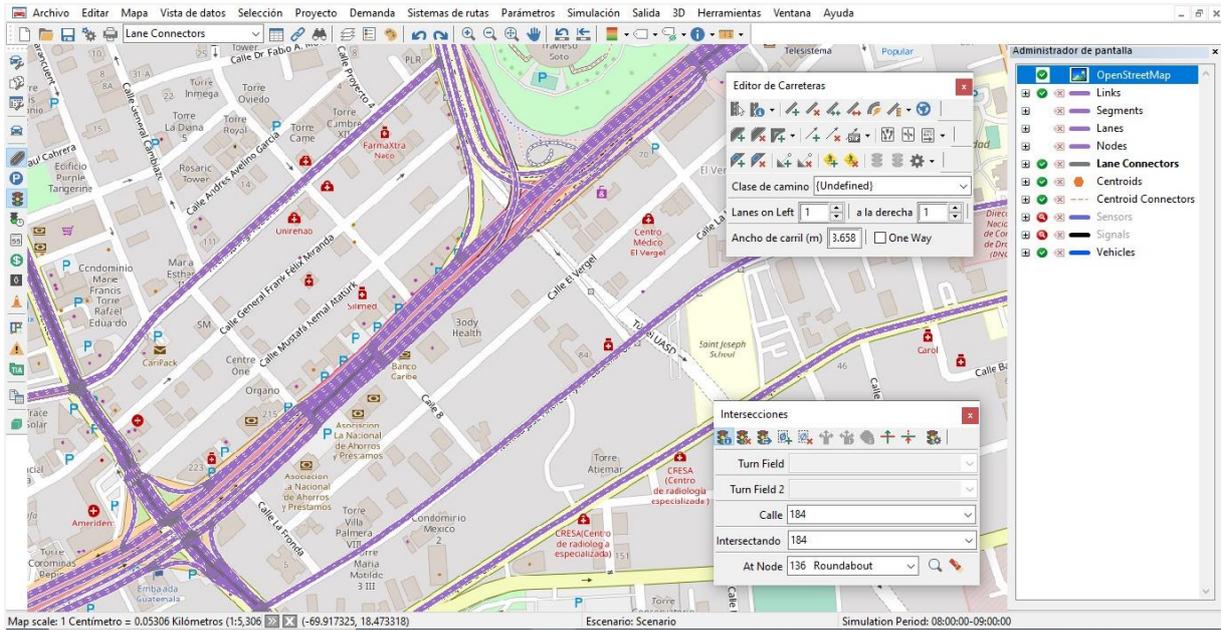
Fuente: Caltrans

En este caso, en función de las características de los distintos entornos del área de estudio, sus dinámicas de circulación y los objetivos del proyecto, se realiza un modelo de simulación del tráfico a nivel mesoscópico con el objetivo de obtener información más detallada sobre el comportamiento de la demanda y los puntos de conflicto en la zona centro de Santo Domingo. A partir de esta situación base se proponen distintos escenarios que aporten cambios en la configuración de la circulación y se determina un escenario preferencial, que se evaluará a nivel microscópico para una zona piloto del área de estudio.

2.1 Herramienta de simulación

Los modelos serán construidos con el software de simulación Transmodeler en su versión 7.0, desarrollada por la empresa norteamericana Caliper Corporation. A través de un entorno GIS y su integración con TransCAD (software más utilizado en EEUU para la proyección de demanda), esta herramienta permite visualizar y evaluar los impactos de escenarios futuros sobre la corriente de tránsito.

Figura 2. Interfaz Transmodeler 7.0, Caliper Corporation.



Fuente: Elaboración propia.

Los modelos de simulación se estructuran a partir de tres grandes componentes: la red vial, la demanda de tránsito y los dispositivos de control. La red vial es la representación de la vialidad existente, teniendo en cuenta parámetros como el número de carriles, los sentidos de circulación, entre otros aspectos. Sobre dicha red se asigna la demanda de tránsito, la cual es regulada por los dispositivos de control existentes, ya sean semáforos, señales verticales, demarcaciones, etc.

Figura 3. Componentes elementales de un modelo de simulación de tránsito.



Fuente: Elaboración propia.

2.2 Recopilación de información

Mediante la consulta de distintas fuentes de información, el equipo recopiló los datos necesarios para la elaboración los modelos mesoscópico y microscópico.

Para la confección de la red vial se recurrió a información cedida por el INTRANS, complementando con herramientas digitales cuando resultase necesario como Google Maps, Google Street View, Open Street Map, entre otras. De este modo se obtuvo información sobre la geometría de las vías (número de carriles, anchos de calzada y aceras, etc.), su jerarquía (primaria, secundaria o terciaria), datos semafóricos (ubicación de los semáforos, sus ciclos y fases, su vinculación con el CCT), y la composición vehicular.

A continuación se muestra, por un lado, la red vial jerarquizada y, por otro, la cantidad de carriles y la capacidad por sentido de circulación para las vías dentro del área de estudio.

Figura 4. Número de carriles por sentido de las vías en el área de estudio.



Fuente: Elaboración propia basada en información de INTRANS.

Figura 5. Jerarquización de las vías en el área de estudio.

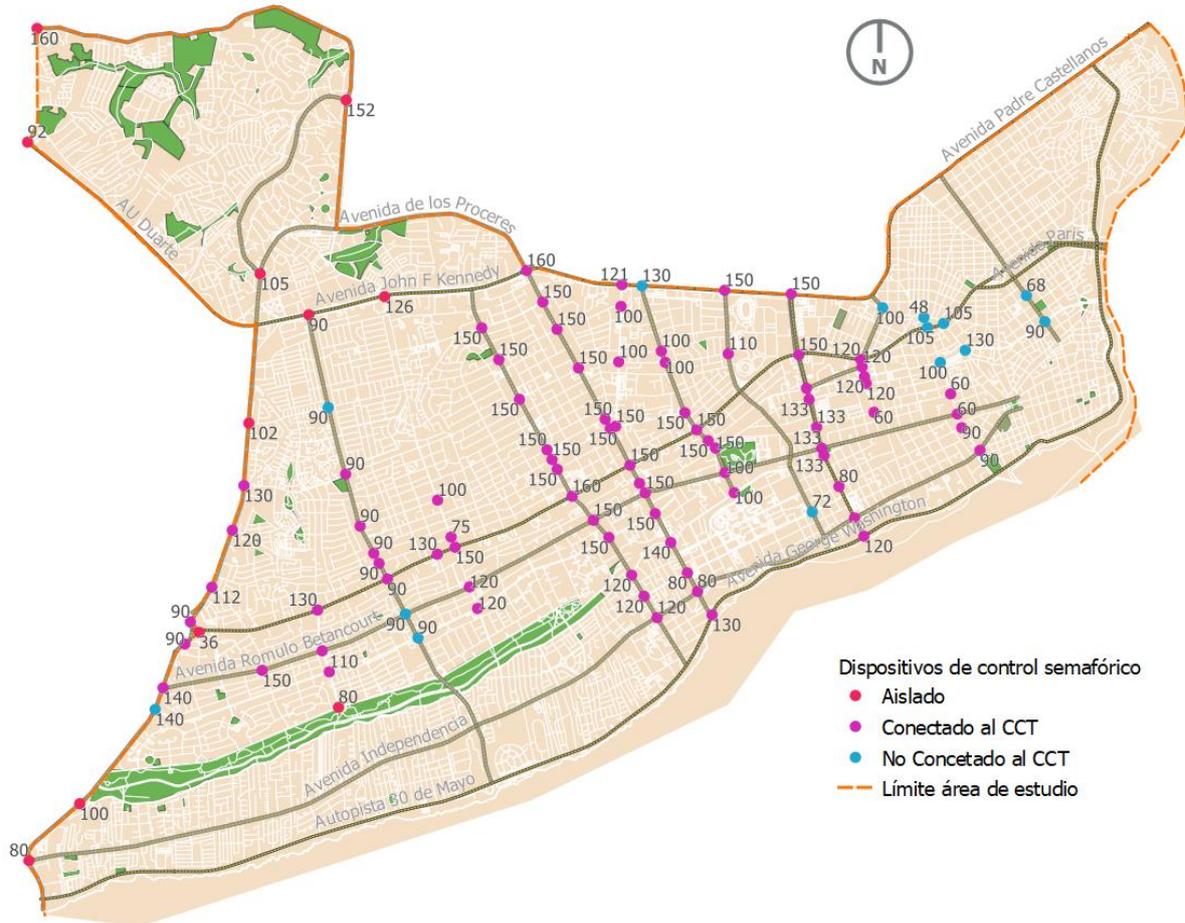


Fuente: Elaboración propia basada en información de INTRANT.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de los semáforos del área de estudio, con sus correspondientes ciclos², distinguiendo si se encuentran o no conectados al CCT o si son aislados.

² Cabe notar la variedad de los tiempos asignados a los de ciclos, los cuales van desde 36 a 170 segundos.

Figura 6. Dispositivos de control de las intersecciones del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al transporte privado, se consideraron los aforos vehiculares realizados por el INTRANS y se complementaron con información sobre velocidades utilizando la API "Routes" de Google. Asimismo, se debieron realizar relevamientos de velocidades en campo por medio del método del vehículo flotante. En el caso de los vehículos pesados, se tuvo en cuenta el "Estudio de transporte de carga en el GSD" publicado por el INTRANS en el año 2019. Para el transporte público se tomó la información provista por el INTRANS sobre los recorridos y ubicación de las paradas para el transporte organizado, y relevamientos de ascenso y descenso, complementando cuando fuera necesario con herramientas como Moovit.

Finalmente, como input principal para el modelo se utilizaron las matrices origen y destino desarrolladas en el marco del proyecto AIPMUS 1.1 que fueron construidas a partir de la EOD 2018.

2.3 Construcción del escenario base

A partir de la información mencionada se construye un modelo base para el área de estudio que represente sus condiciones actuales en términos del comportamiento de

la demanda para el transporte público y privado, como sus matrices origen-destino, velocidades medias, recorridos, etc. En términos generales, la construcción del modelo base contempla las siguientes etapas:

Figura 7. Etapas para la construcción del modelo base



Fuente: Elaboración propia.

2.4 Calibración y Validación del modelo

La calibración es el proceso por el cual se busca evaluar la validez del modelo, con el fin de garantizar que la simulación refleja efectivamente las condiciones reales del comportamiento que tendrán los diferentes actores en el área de estudio. Dicha validación se basa en métodos estadísticos, que comparan los datos que arroja el software de modelación con los medidos en campo, ajustando diferentes parámetros hasta que los resultados tengan un error aceptable.

Uno de los métodos más usados para la calibración de los modelos de tráfico es el indicador estadístico GEH. El GEH es una forma del estadístico Chi-cuadrado que incorpora errores relativos y absolutos, permitiendo obtener un índice que relaciona los volúmenes predichos del modelo, con los volúmenes observados en campo (UK Highways Agency, 1996). La fórmula del GEH es la siguiente:

Ecuación 1. Fórmula GEH.

$$GEH = \sqrt{\frac{(M - C)^2}{(M + C)^2 / 2}}$$

Dónde:

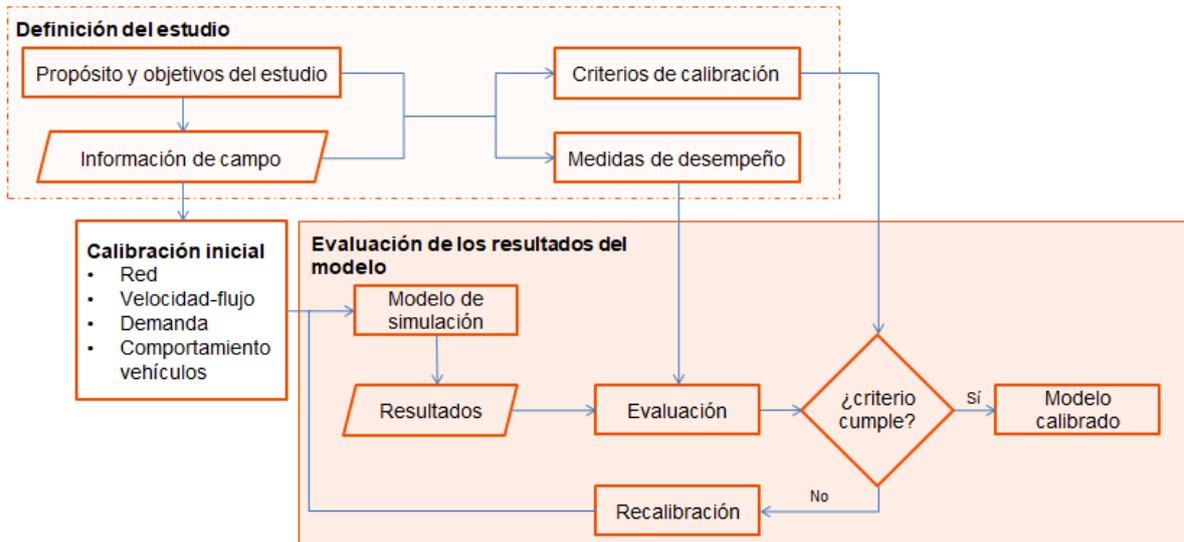
- M= es el flujo modelado
- C = es el flujo observado

Para que el modelo sea considerado aceptable, es decir, que represente adecuadamente los valores observados en la realidad, se requiere que el 90% de los puntos de calibración arrojen un valor del GEH menor a 10.

En general, el proceso de calibración de un modelo mesoscópico de tránsito está estructurado en tres fases. La primera, corresponde a la fase de **Definición del estudio**, donde se establecen los objetivos y se recopila la información de campo necesaria, y además se definen los criterios de calibración y las medidas de desempeño. Luego, en la **Calibración inicial**, se ajusta el modelo en función de datos de la red, relaciones velocidad-flujo, demanda y comportamiento de los vehículos para que refleje las condiciones reales. Finalmente, en la fase de **Evaluación de los resultados**, se ejecuta el modelo y se comparan los resultados con los criterios de

calibración. Si el modelo cumple estos criterios, se considera calibrado; de lo contrario, se realiza una recalibración, repitiendo el proceso hasta lograr un ajuste satisfactorio.

Figura 8. Flujoograma de la calibración del modelo de tránsito.



Fuente: Elaboración propia en base a Mo Zhao y Justice Appiah (2021)³.

2.5 Construcción de escenarios a modelar

Se construirán los modelos asociados a cada escenario propuesto, los cuales serán definidos a partir de un escenario de referencia que contempla las propuestas de la Acción 1.1 de la AIPMUS. Estos escenarios contemplarán medidas que optimicen la infraestructura vial y mejoren la circulación dentro del área de estudio.

2.6 Evaluación de escenarios y definición de un piloto para microsimulación

A partir de los resultados obtenidos de las simulaciones para los distintos escenarios, se evaluarán los mismos y se elegirá la mejor alternativa en función de variables de desempeño, asociadas principalmente a tiempos de viaje. Una vez definida la mejor alternativa que hace al plan de circulación, se desarrollará un modelo de simulación microscópica de una zona piloto, que permita evaluar a un nivel más detallado el impacto de la alternativa seleccionada.

³ Mo Zhao y Justice Appiah (2021). Methodology for calibration and validation of mesoscopic traffic simulation models. Virginia Transportation Research Council, USA.
<https://vtrc.virginia.gov/media/vtrc/vtrc-pdf/vtrc-pdf/22-R7.pdf> (link vigente a enero 2025).

3 ESCENARIOS DE MODELACIÓN

En función de las propuestas presentadas en el Informe II ("*Propuestas para el Plan de Circulación de la zona centro de la Alcaldía del DN*") se define como escenario de referencia el presentado en el marco de la AIPMUS Acción 1.1 (diseño conceptual del SITP). En este sentido, se proponen tres situaciones de proyecto que aporten cambios en la configuración actual de la circulación en el área de estudio para su evaluación y posterior selección de un escenario para realizar una prueba piloto de un modelo de microsimulación.

Para la propuesta de escenarios se tuvieron en cuenta dos tipos de intervenciones, las comunes a todos los escenarios y las excluyentes de cada uno de los escenarios en particular. Como intervenciones comunes a los tres escenarios se propuso la restricción del estacionamiento, la restricción de las zonas de circulación del transporte de carga, la optimización de los ciclos semafóricos y la restricción de giros donde las intervenciones excluyentes del escenario lo requieran.

Por su parte, las intervenciones excluyentes se centran en dar prioridad al transporte público organizado. Esto con el fin de mejorar su eficiencia, reducir los tiempos de viaje y promover una mayor utilización de este tipo de transporte sobre el uso de vehículos particulares y los modos informales.

A continuación se presenta un resumen de las propuestas para cada uno de los escenarios de análisis.

Tabla 1. Escenarios de estudio

Escenario	Restricción de estacionamiento	Restricción circulación transporte de carga	Optimización ciclos semafóricos	Circulación doble sentido	Par vial (circulación sentido único)	Transporte público en tránsito mixto	Carriles preferenciales (TP priorizado)
Business as Usual (BAU)							
Escenario de Referencia	x	x	x				
Escenario 1	x	x	x	x			x
Escenario 2	x	x	x		x	x	
Escenario 3	x	x	x		x		x

Fuente: Elaboración propia.

3.1 Escenario Business as Usual

El escenario Business As Usual (BAU) corresponde a un escenario base sin proyecto, que representa las condiciones esperadas si no se implementan cambios significativos en las políticas, infraestructura, tecnología o comportamientos de los usuarios. En el contexto de este proyecto, el escenario BAU sirve como punto de comparación para evaluar el impacto de intervenciones propuestas para cada escenario de evaluación.

3.2 Escenario de referencia

Este escenario toma como base las propuestas del proyecto AIPMUS 1.1, para lo cual se tomó como referencia la propuesta para el horizonte temporal del año 2042, que incluye la implementación de sistemas BRT en corredores específicos y nuevas líneas de bus convencionales dentro del área de estudio de este proyecto. Según se acordó con el INTRANS, para los escenarios desarrollados en con horizonte en los años 2027 y 2032, se considera que los corredores abordados en dicho AIPMUS estarán desarrollados. Teniendo en cuenta que las propuestas del proyecto AIPMUS 1.1 son a nivel conceptual, a continuación se detallan sus particularidades como escenario de referencia para este proyecto:

Corredores Estructurantes

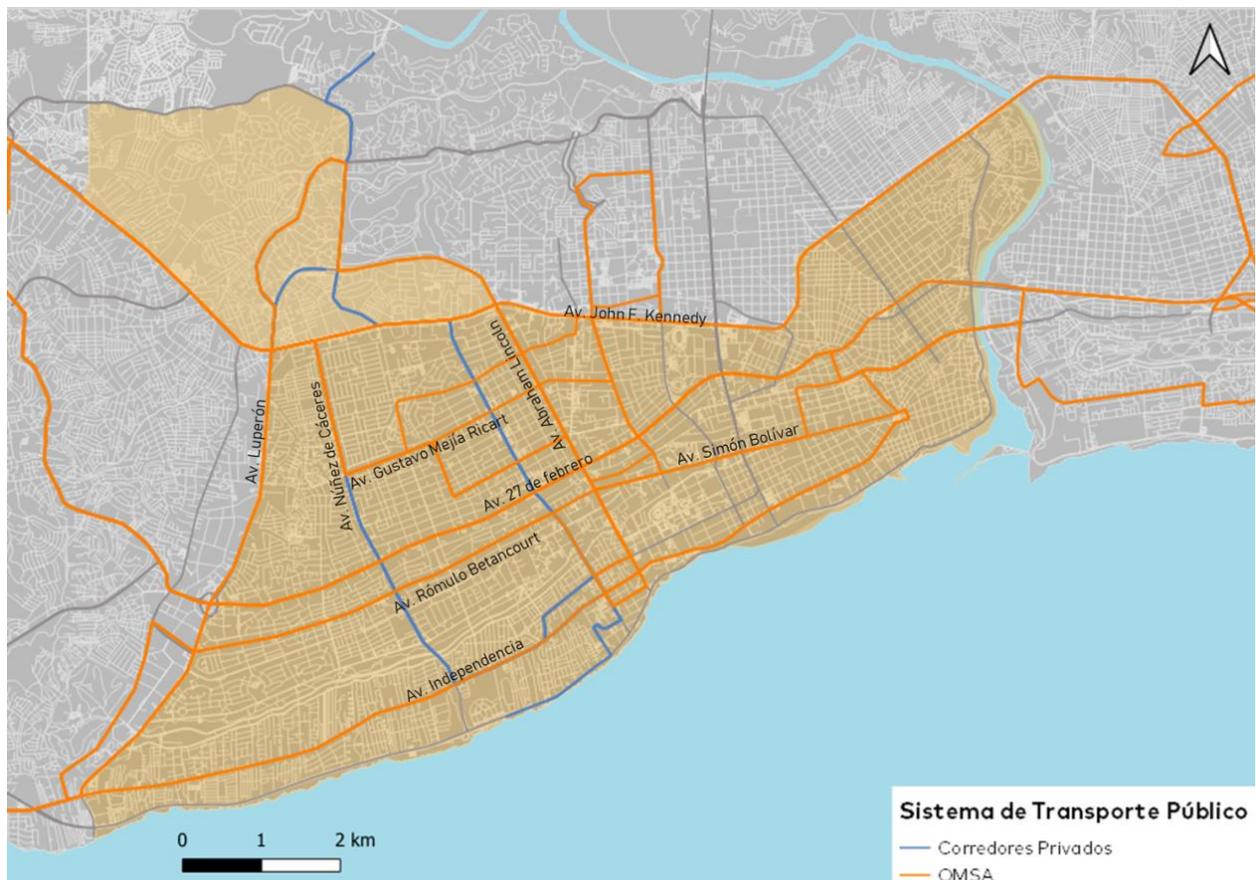
- Av. Gregorio Luperón
- Av. Independencia
- Av. Simón Bolívar
- Av. México

Corredores de Bus Convencionales

- Corredor Ciudad Colonial: se extiende por la Av. Máximo Gómez, Av. George Washington, y el interior de la Ciudad Colonial;
- Corredor Paseo del Río: se extiende en la zona este del área de estudio, bordeando el Río Ozama por el Paseo del Río y la Av. Francisco del Rosario Sánchez;
- Corredor Ciudad sanitaria: se extiende dentro del área de estudio por la C. Albert Thomas hasta el Puente Duarte;
- Corredor Duarte con París: como su nombre lo indica, se extiende dentro del área de estudio por la Av. Juan Pablo Duarte hasta la Calle París;

- Corredor Villas agrícolas: se extiende dentro del área de estudio por las Calles Josefa Brea y Yolanda Guzmán desde la Av. Padre Castellanos hasta el Expreso 27 de Febrero;
- Corredor Tiradentes – Ortega y Gasset: se extiende en la zona del ensanche Naco, entre la Av. John f. Kennedy y Av. 27 de Febrero;
- Corredor Lope de Vega – Lincoln: se extiende por completo dentro del área de estudio, desde la Av. John F. Kennedy hasta la Av. Correa y Cidrón;
- Corredor Defilló: se extiende por completo dentro del área de estudio del proyecto, desde la Línea 2 de Metro hasta la Av. Sarasota por la Av. Dr. Defilló.

Figura 9. Corredores propuesta SITP AIPMUS 1.1.



Fuente: Elaboración propia con base en AIPMUS 1.1.

Adicional a la incorporación de las rutas que integran la red del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) definida en el AIPMUS 1.1 este escenario incluye las siguientes intervenciones que se desarrollarán en detalle en el capítulo 5 del presente informe:

- **Restricción de estacionamiento:** Se limita el estacionamiento en vía en función de la jerarquía vial, con el objetivo de aumentar la capacidad de las vías y mejorar la fluidez del tráfico.
- **Limitación de circulación para transporte de carga:** se restringe el acceso de vehículos de carga a zonas específicas y en horarios de alta congestión, reduciendo la interferencia en el tráfico general.
- **Optimización de ciclos semafóricos:** Esta intervención consiste en ajustar los tiempos de los semáforos para reducir tiempos de espera y mejorar el flujo de vehículos en intersecciones clave, optimizando las fases semafóricas.
- **Señalización y fiscalización de sentidos circulatorios de vías locales:** si bien en varios casos la normativa asigna sentidos únicos de circulación a las vías locales, se relevó que en la práctica no se los respeta. No obstante, se adopta en el escenario base que sí se respeten los sentidos de circulatorios legislados por la normativa vigente.

3.3 Escenario 1

Partiendo del escenario de referencia, además de las intervenciones comunes, este escenario contempla la implementación de carriles preferenciales para el transporte público en ciertos corredores que integran la red del SITP propuesta en el AIPMUS 1.1. Los corredores a intervenir son los siguientes:

- Avenida Abraham Lincoln
- Avenida Winston Churchill Avenida Rómulo Betancourt
- Avenida Sarasota
- Avenida John F. Kennedy⁴
- Avenida 27 de Febrero⁵
- Avenida José Núñez de Cáceres
- Avenida Independencia Avenida Pedro Henríquez Ureña
- Avenida Correa y Cidrón

Se modelará este escenario para la hora de modelación (7:00h-8:00h).

⁴ Por indicación del INTRANS se consideró la priorización de este corredor tanto dentro del Escenario 0 como para el 1.

⁵ Por indicación del INTRANS se consideró la priorización de este corredor tanto dentro del Escenario 0 como para el 1.

- Av. Lincoln: Se propone un BRT con un carril por sentido de circulación para el transporte público (ubicados en la franja central de la vía en toda su extensión) y un carril de sobrepaso alternado con estaciones, además de dos carriles para el tránsito mixto. Se restringieron además los giros a la izquierda para minimizar los puntos de conflicto entre flujos.
- Av. Churchill: Se propone un BRT con dos carriles por sentido de circulación para el transporte público (ubicados en la franja central de la vía en toda su extensión) y dos carriles para el tránsito mixto. Se restringieron además los giros a la izquierda para minimizar los puntos de conflicto entre flujos.

Cabe mencionar, que si bien el diseño propuesto para este corredor considera carriles bus centrales con dos carriles por sentido, la operación inicial podría realizarse con un solo carril por sentido. No obstante, se plantea la necesidad de reservar el espacio para una futura expansión a dos carriles por sentido, previendo un posible aumento de la demanda y una operación más eficiente.

- Av. Rómulo Betancourt: Se propone un BRT de sentido único con un carril de circulación para el transporte público y dos carriles para el tránsito mixto. El carril BRT se ubica en la franja central de la vía, extendiéndose desde la Av. Núñez de Cáceres hasta la Av. Jiménez Moya. Se restringieron además los giros a la izquierda para minimizar los puntos de conflicto entre flujos.
- Av. Sarasota: Se propone un BRT de sentido único con un carril de circulación para el transporte público y dos carriles para el tránsito mixto. El carril BRT se ubica en la franja central de la vía, extendiéndose desde la Av. Jiménez Moya hasta la Av. Núñez de Cáceres. Se restringieron además los giros a la izquierda para minimizar los puntos de conflicto entre flujos.
- Av. John F. Kennedy: se propone un carril preferencial para el transporte público del lado derecho de la avenida en ambos sentidos de circulación, desde Av. Luperón hasta el río Ozama, permitiendo en esta vía el giro a la derecha.
- Av. 27 de Febrero: se propone un carril preferencial para el transporte público del lado derecho de la avenida en ambos sentidos de circulación, desde Av. Luperón hasta el río Ozama, permitiendo en esta vía el giro a la derecha.
- Av. Núñez de Cáceres: Se considera un carril preferencial para el transporte público (ubicado del lado derecho de la vía en ambos sentidos de circulación, desde Av. Kennedy hasta Av. Sarasota) y dos carriles para el tránsito mixto. Se restringen los giros a la derecha desde los carriles de tránsito mixto para minimizar puntos de conflicto con el transporte público.
- Av. Independencia: Se propone un carril preferencial para el transporte público ubicado del lado derecho de la avenida, con una restricción del giro a la

derecha, extendiéndose desde la Av. Núñez de Cáceres hasta la Av. Lincoln (donde existe una limitación física debido a la reducción de sección a dos carriles de circulación). Se disponen dos carriles o tres carriles para la circulación del tránsito mixto (según la sección) y se restringen los giros a la derecha para evitar conflictos con el transporte público.

- Av. Pedro Henríquez Ureña: Se propone un carril preferencial para el transporte público del lado derecho de la avenida con restricción de giro a la derecha. El mismo se extiende desde su inicio en Av. Abraham Lincoln hasta su intersección con Av. México. Además se disponen los otros dos carriles para el tránsito mixto.
- Av. Correa y Cidrón: Se propone un carril preferencial del lado derecho de la vía para el transporte público, desde la Av. Máximo Gómez hasta Av. Italia, con restricción total del giro a la derecha.

En la tabla a continuación se resumen las cambios en las vías que implicarían estas medidas de priorización de transporte público en comparación con el Escenario 0.

Tabla 2. Comparativa de vías en Escenario 0 y Escenario 1.

Corredor	Escenario 0	Escenario 1
Av. Abraham Lincoln	Vía 3+3 con cantero central	Se retira el cantero central y dos carriles de tránsito mixto. Se incorporan 3 carriles de BRT, uno de circulación por sentido y otro de sobrepaso intercalado con estaciones escalonadas entre ambos sentidos circulatorios
Av. Winston Churchill	Vía 3+3 con cantero central	Se achica el cantero central Se dispone de 2 carriles de tránsito mixto por sentido y dos carriles BRT por sentido circulatorio. Las estaciones se localizan en el cantero central
Av. Rómulo Betancourt	Vía 2+2 con cantero central	Se retira parcialmente el cantero central. Un carril de flujo mixto se transforma en un carril exclusivo de buses y los paraderos se colocan en canteros desplazados. El BRT funciona como par del BRT de la Av. Sarasota

Corredor	Escenario 0	Escenario 1
Av. Sarasota	Vía 2+2 con cantero central	Se retira parcialmente el cantero central. Un carril de flujo mixto se transforma en un carril exclusivo de buses y los paraderos se colocan en canteros desplazados. El BRT funciona como par del BRT de la Av. Rómulo Betancourt
Av. John F. Kennedy	Vía 6+6: 3+3 con marginales de 3 carriles a cada lado	El carril más cercano a la acera de cada marginal se lo utiliza como carril bus
Av. 27 de Febrero	Vía 4+4: 2+2 con marginales de 2 carriles a cada lado	El carril más cercano a la acera de cada marginal se lo utiliza como carril bus
Av. José Núñez de Cáceres	Vía 2+2 con cantero central	El carril más cercano a la acera de cada sentido se usa como carril bus
Av. Independencia	Vía 2+2 con cantero central	El carril más cercano a la acera de cada sentido se usa como carril bus. Distinguen dos tramos: - Entre Av. Núñez de Cáceres y Av. Italia es doble mano - Entre Av. Italia y Av. Lincoln es mano única.
Av. Pedro Henríquez Ureña	Vía mano única de 3 carriles	El carril derecho se usa como carril bus
Av. Correa y Cidrón	Vía mano única de 3 carriles	El carril derecho se usa como carril bus

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1 Características operativas de los corredores

Para poder garantizar la operación del corredor de BRT de la Av. Wiston Churchill será necesario que se disponga de buses con puertas duales, es decir a ambos lados del vehículo. A continuación se muestra a modo de ejemplo el caso las unidades de la línea M86 del sistema Transmilenio de la ciudad de Bogotá, Colombia.

Figura 11. Ejemplo de buses del sistema Transmilenio de Bogotá, Colombia.



Fuente: Transmilenio⁷.

3.4 Escenario 2

Este escenario propone la implementación de pares viales, una estrategia que consiste en seleccionar avenidas paralelas y convertirlas en vías de sentido único en direcciones opuestas, operando de manera coordinada. Esta configuración facilita la fluidez del tránsito vehicular, optimiza la coordinación de los semáforos y mejora la señalización en las intersecciones, reduciendo así los conflictos en el tráfico.

Los pares viales propuestos en el área de estudio son los siguientes:

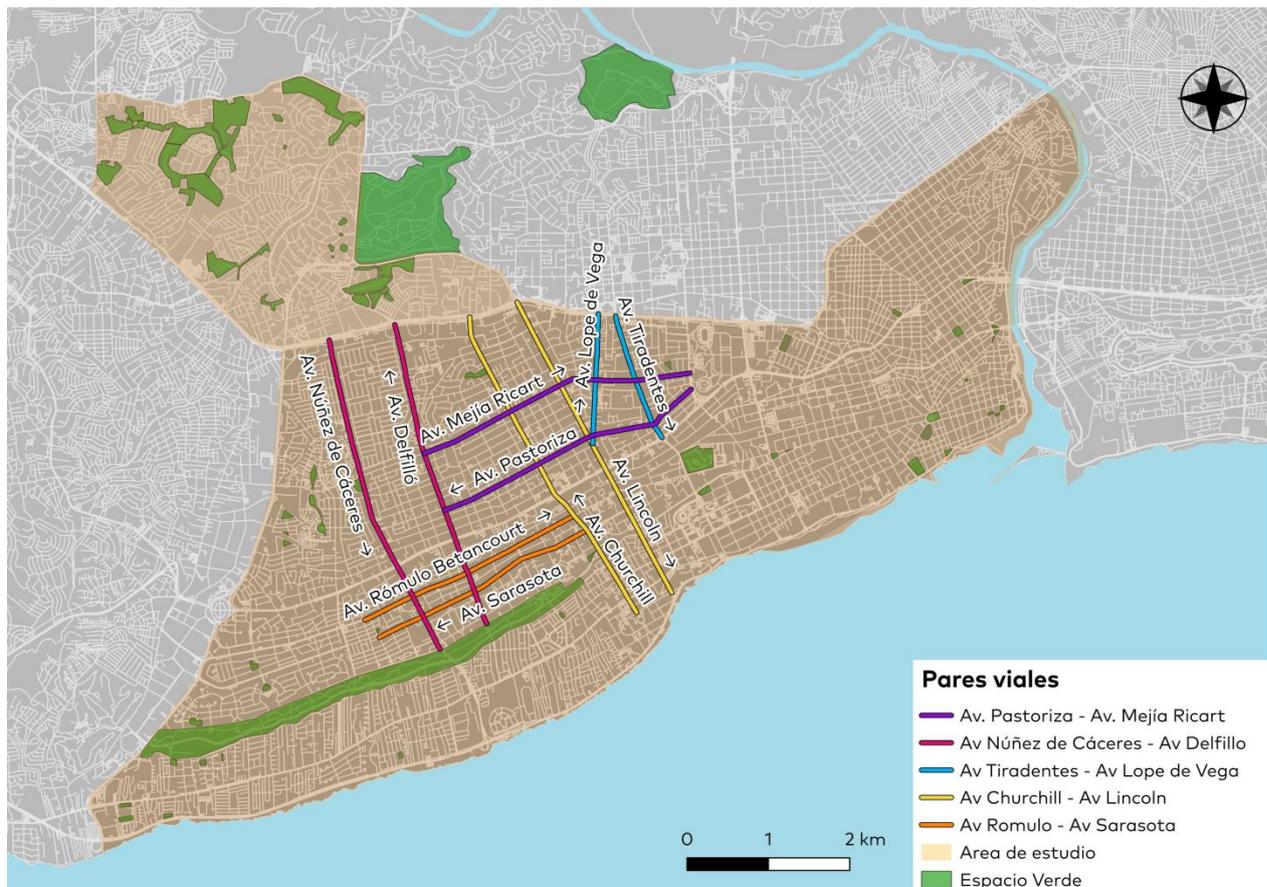
- **Av. Winston Churchill y Av. Abraham Lincoln:** Se plantea cambiar el sentido de ambas avenidas, con la Av. Abraham Lincoln circulando de norte a sur, y la Av. Winston Churchill de sur a norte. Por solicitud del INTRANT, se realizó el análisis específico de este par vial de manera independiente. Los resultados de este análisis se presentan en el Capítulo 8 de este informe.
- **Av. Núñez de Cáceres y Av. Defilló:** La Av. Defilló, entre la Av. Sarasota y la Av. John F. Kennedy, tendrá sentido de circulación de sur a norte, mientras que la Av. Núñez de Cáceres operará en dirección contraria, de norte a sur.
- **Av. Tiradentes y Av. Lope de Vega:** Se propone que la Av. Lope de Vega, entre la Av. Abraham Lincoln y la Av. John F. Kennedy, funcione en un único sentido de sur a norte. Por su parte, la Av. Tiradentes, entre la Av. Kennedy y la Av. 27 de Febrero, operará de norte a sur.
- **Av. Rómulo Betancourt y Av. Sarasota:** En este par, la Av. Rómulo Betancourt, entre la Av. Núñez de Cáceres y la Av. Jiménez Moya, se configurará en un

⁷ <https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/146180/infraestructura-del-sitp/> (link vigente a enero de 2025).

único sentido de oeste a este. En la Av. Sarasota, el flujo será en sentido contrario, de este a oeste.

- Av. Gustavo Mejía Ricart y Av. Roberto Pastoriza: La Av. Gustavo Mejía Ricart operará en sentido único de oeste a este, mientras que la Av. Roberto Pastoriza se unificará en sentido este a oeste.

Figura 12. Escenario 2 de modelación.



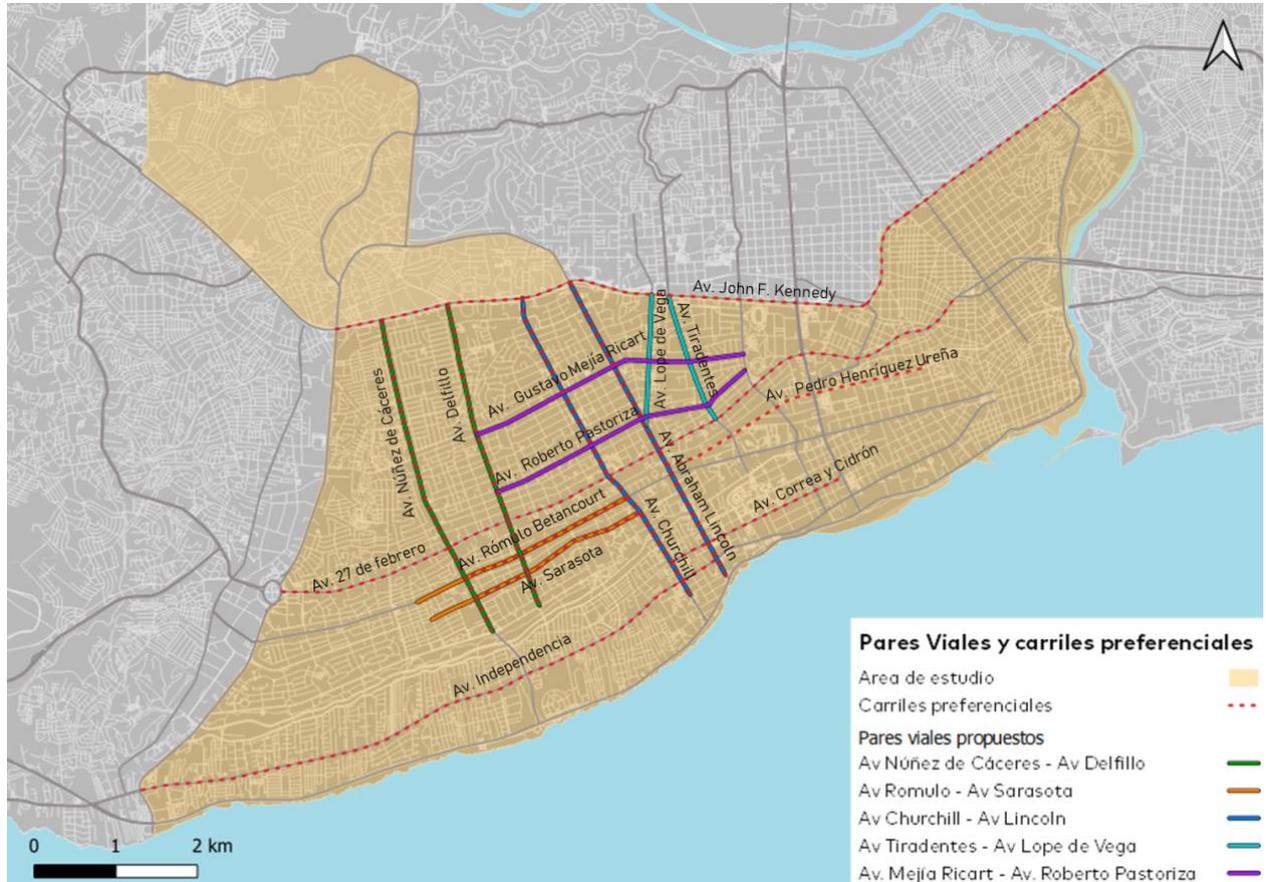
Fuente: Elaboración propia

3.5 Escenario 3

En este escenario se propone evaluar la implementación de pares viales con carriles preferenciales para el transporte público, integrando la configuración de pares viales del escenario 2 con las intervenciones de priorización para autobuses del escenario 1. Con esta combinación, se busca no solo optimizar la fluidez del tráfico en general, sino también aumentar la eficiencia del transporte público, promoviendo su uso sobre el vehículo particular y mejorando los tiempos de desplazamiento en los corredores de mayor demanda.

A continuación, se presentará un mapa detallado que muestra la configuración propuesta para este escenario.

Figura 13. Escenario 3 de modelación.



4 MODELO BASE MESOSCÓPICO

La simulación de la situación actual o situación de base se construyó para el año 2024 considerando la hora de modelación entre las 07:00h y 08:00h. Este modelo simula las condiciones de operación actuales para el tránsito vehicular, permitiendo recrear el comportamiento en el área de estudio así como también identificar las zonas de mayor conflicto para luego poder plantear y evaluar diferentes soluciones que conlleven a un mejor desempeño de la red.

4.1 Área de modelación

De acuerdo con lo términos de referencia de este proyecto, el área a modelar corresponde a la totalidad del área de estudio contemplada, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 14. Área de modelación para el escenario base.



Fuente: Elaboración propia.

Observaciones:

La adopción de un área de estas dimensiones ha dificultado sustancialmente el desarrollo del modelo mesoscópico, tanto en la etapa de construcción como en la etapa de calibración y obtención de resultados, debido a los tiempos necesarios para realizar las asignaciones en el software. Dicha situación también puede limitar las variables de desempeño y las medidas que se pueden evaluar a través del modelo.

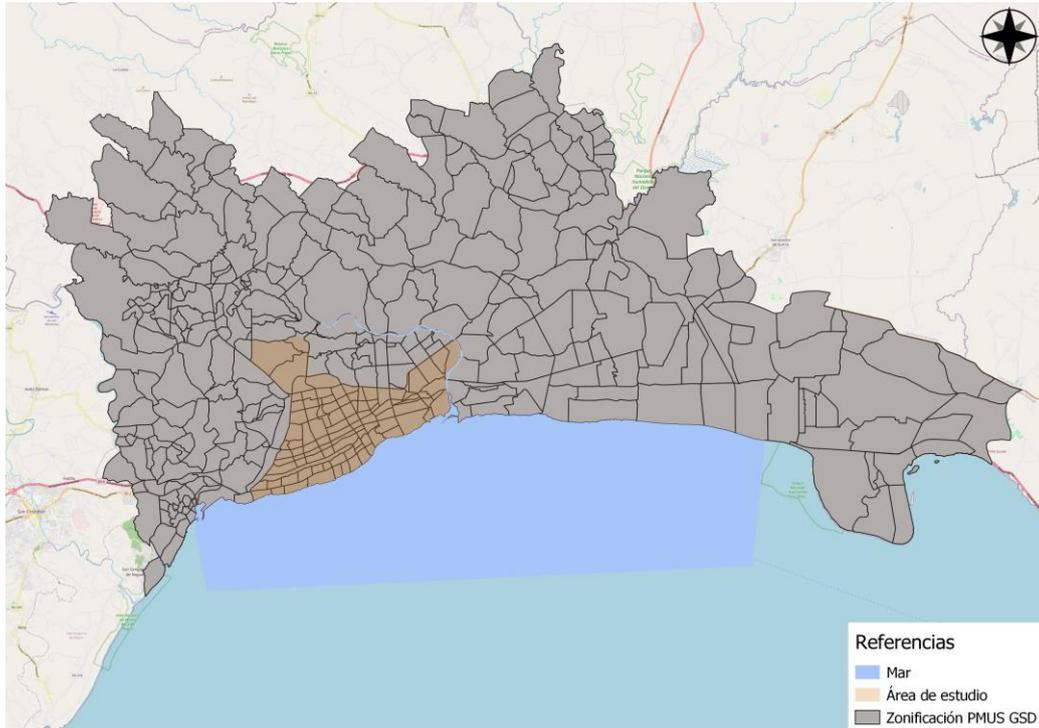
4.1.1 Zonificación

La zonificación busca dividir el área de estudio en zonas homogéneas en cuanto lo que respecta a sus características socioeconómicas (usos del suelo, densidad poblacional), de movilidad y transporte, y en lo posible tratando de respetar los límites administrativos ya que la información generalmente se encuentra desagregada en esos niveles.

Se adoptó la zonificación diseñada para el PMUS del GSD, la cual se considera tiene un nivel de detalle adecuado para los objetivos de este proyecto, dividiendo las zonas urbanas a nivel barrial (unidad espacial de menor entidad de la que se disponen datos de población). Esta zonificación comprende 189 zonas desagregadas de la siguiente manera:

- Distrito Nacional desagregado a nivel de barrio (70 zonas).
- Santo Domingo Este, con la zona urbana desagregada a nivel de barrio y el resto del municipio como agregación de barrios dentro de cada sector (35 zonas).
- Santo Domingo Oeste, con la zona urbana detallada a nivel de barrio y el sector de Manoguayabo (17 zonas).
- Santo Domingo Norte, con la zona urbana dividida a nivel de barrio y el resto como agregación de éstos dentro de cada sector (19 zonas).
- Los Alcarrizos como agrupación de barrios por sector (8 zonas).
- Los municipios de Boca Chica, San Antonio de Guerra y Pedro Brand (3 zonas)
- La provincia de San Cristóbal desagregada a nivel de municipio (8 zonas).
- El resto de República Dominicana a nivel provincial (29 zonas).

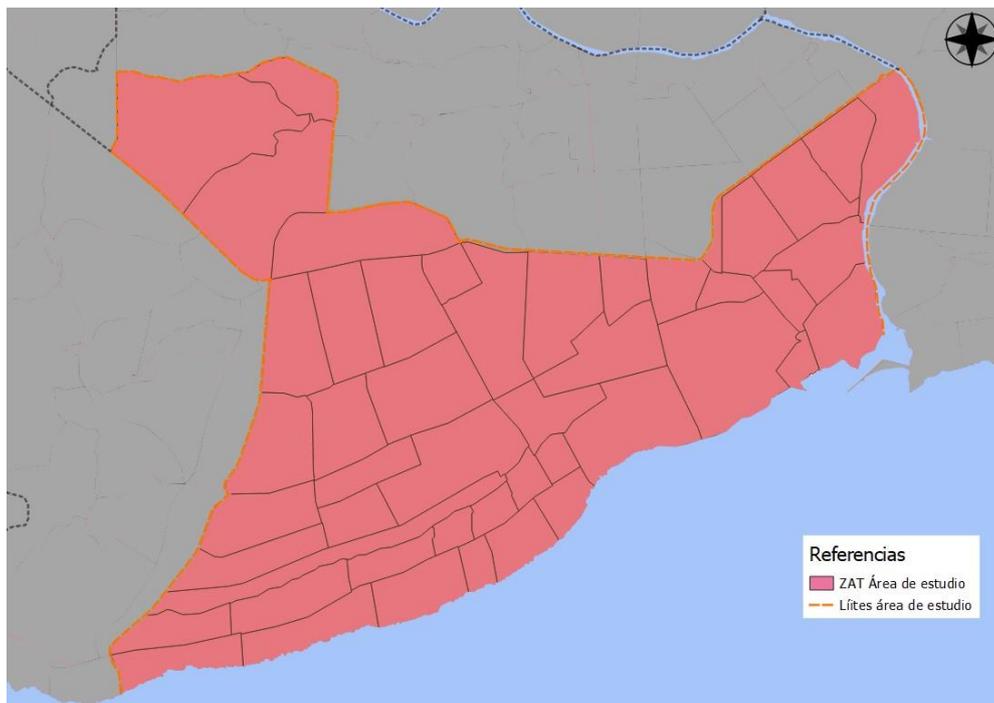
Figura 15. Zonificación adoptada para el escenario base.



Fuente: Elaboración propia basada en información de INTRANS.

Luego de aplicar el método de subárea para extraer nuevas matrices (que se explicará más adelante en la sección "Demanda vehicular"), se obtiene una zonificación para el área de estudio compuesta por 46 zonas internas.

Figura 16. Zonificación del área de estudio para el escenario base.



Fuente: Elaboración propia basada en información de INTRANS.

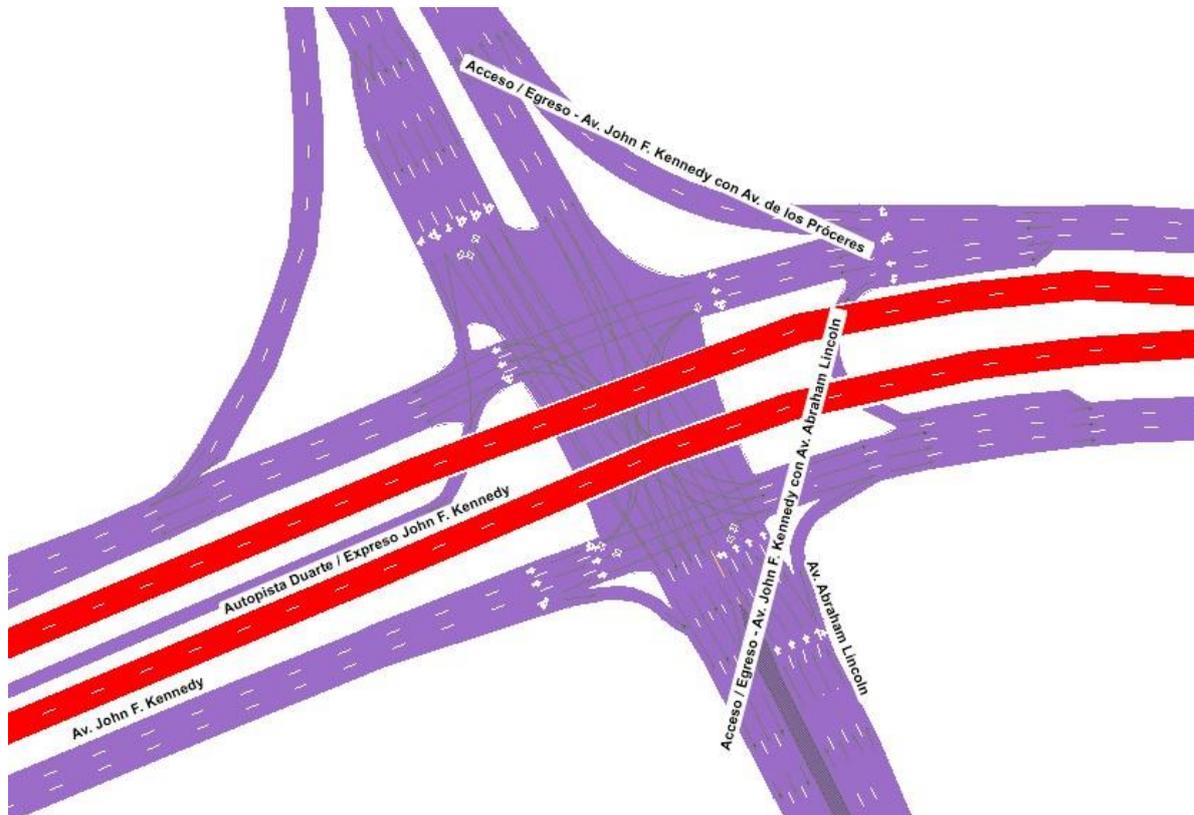
4.2 Caracterización de la operación actual

4.2.1 Red base de modelación

La red vial del modelo base se compone de links que materializan las distintas vías del área de estudio, junto con nodos que representen la unión y las intersecciones de dichas vías. Para el caso de los links, se consideraron distintas tipologías de vía de acuerdo con la jerarquización vial del área de estudio.

De esta forma, encontramos travesías y avenidas principales, avenidas secundarias, calles colectoras, y calles locales. En el caso de las avenidas John F. Kennedy y 27 de Febrero, ambas travesías que disponen carriles expresos en el centro de la vía y carriles convencionales en los carriles externos, se categorizaron como "travesías internas" a los carriles expresos y "travesías externas" a los restantes con el objetivo de poder discriminar sus parámetros operativos (principalmente la velocidad de circulación). En la siguiente figura se ejemplifica con la Av. John F. Kennedy en su intersección con la Av. Abraham Lincoln, donde se ven en color rojo los carriles expresos (travesías internas) y en color violeta los carriles convencionales en la parte externa de la vía (travesías externas).

Figura 17. Jerarquización travesía con expresos, caso John F. Kennedy.



Fuente: Elaboración propia en Transmodeler.

Cada uno de estos links tiene asociada una capacidad por carril y una velocidad de flujo libre que materializa la curva volumen-velocidad que permitirá ajustar la

velocidad de circulación en cada vía para reflejar fielmente el comportamiento de los vehículos.

Asimismo, se incorporaron a la red los dispositivos de control, los semáforos correspondientes de acuerdo con la información provista por el INTRANS, identificándose un total de 218 cruces semaforizados y cargando sus parámetros operativos como los ciclos, fases semafóricas, movimientos permitidos, etc. La siguiente figura muestra la ubicación de los semáforos considerados en el modelo.

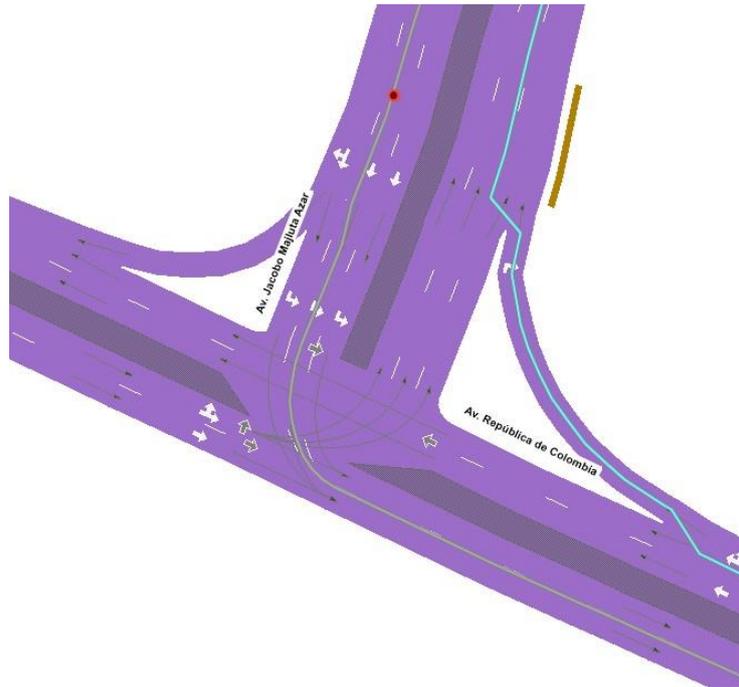
Figura 18. Ubicación de los semáforos considerados para el modelo base.



Fuente: Elaboración propia basada en información INTRANS.

A modo de ejemplo, se muestra en las siguientes figuras la configuración de la geometría y los planes semafóricos para la intersección de las avenidas República de Colombia y Jacobo Majluta Azar, junto con la carga de los parámetros operativos en el software.

Figura 19. Ejemplo de una intersección del modelo base.



Fuente: Elaboración propia basada en información INTRANS.

Figura 20. Carga de parámetros operativos de la intersección: movimientos permitidos y tiempos de fases semafóricas.

Intersection Control Editor (Semaforos_v04.tms)

Control Type: Pretimed (Signal Group) | Node: 420 | Site Name: N 18.507461, W 69.961145
 Plan: 00:00:00 | Based on: Reference plan... | Plan Name: 00:00:00

General | Signal Groups | Scheme | Conflict Matrix

Phase 1

Settings

Cycle (sec): 118.0 | Coordinated Signal
 Offset (sec):

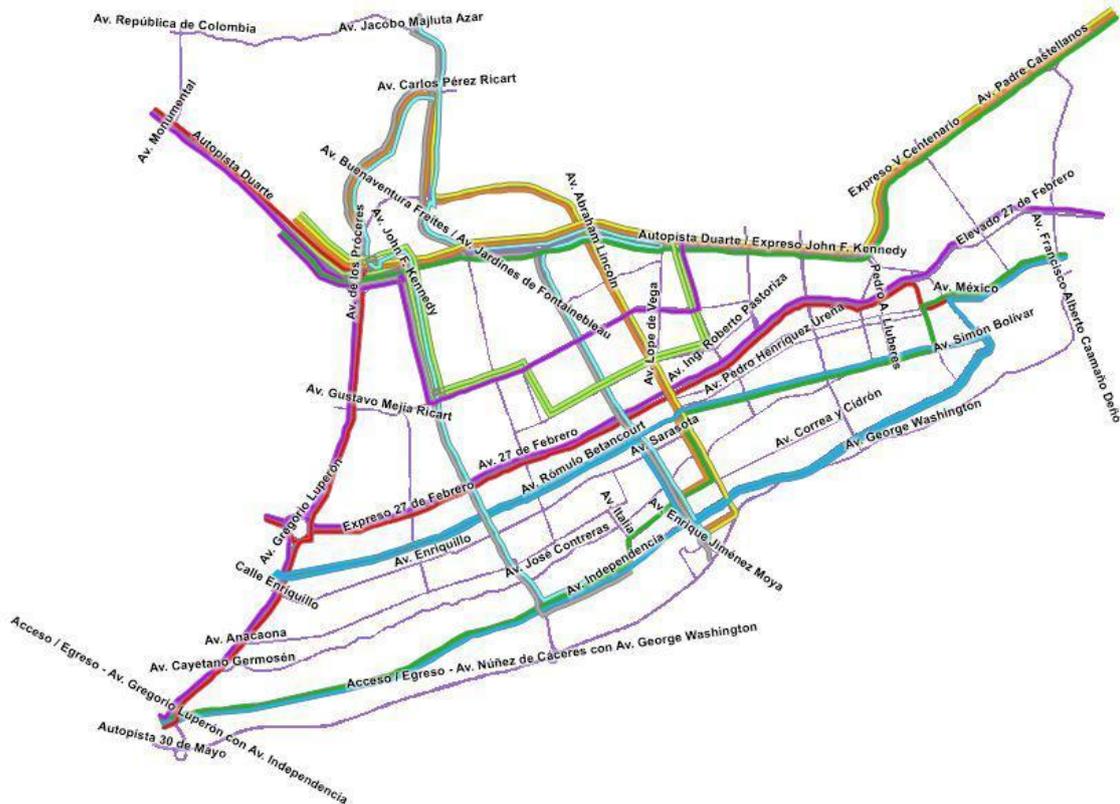
Signal Groups

ID	1	2	3
Start-Time	0	52	88
End-Time	45	82	112
Red-Amber	2	2	2
Min Green	45	30	24
Max Green	45	30	24
Amber	5	4	4
Green-Blink	0	0	0
Ped Walk + FDW			
Ped Links			

Summary | Save | Close

Fuente: Elaboración propia basada en información INTRANS.

Figura 24. Rutas del transporte público (route system) para el escenario base.



Fuente: Elaboración propia en Transmodeler.

Observaciones:

El sistema de líneas de transporte público del modelo de TransCAD (AIPMUS 1.1) se encontraba asignado a una red vial maero, distinta a la red construida para este proyecto a nivel meso, por lo que no pudo optarse por la importación directa para el modelo en TransModeler. En este sentido, para este modelo se han incorporado las líneas de transporte público organizado de forma manual en su totalidad a través de la herramienta route system, tomando como base la capa de paradas físicas.

Por otro lado, es importante mencionar que en este modelo mesoscópico el transporte público informal no fue considerado dentro del sistema de líneas de transporte público, debido al alcance y propósito de lo que será el Plan de circulación. No obstante, el volumen de vehículos que prestan los servicios de transporte informal si se han considerado en las matrices origen- destino para vehículos livianos.

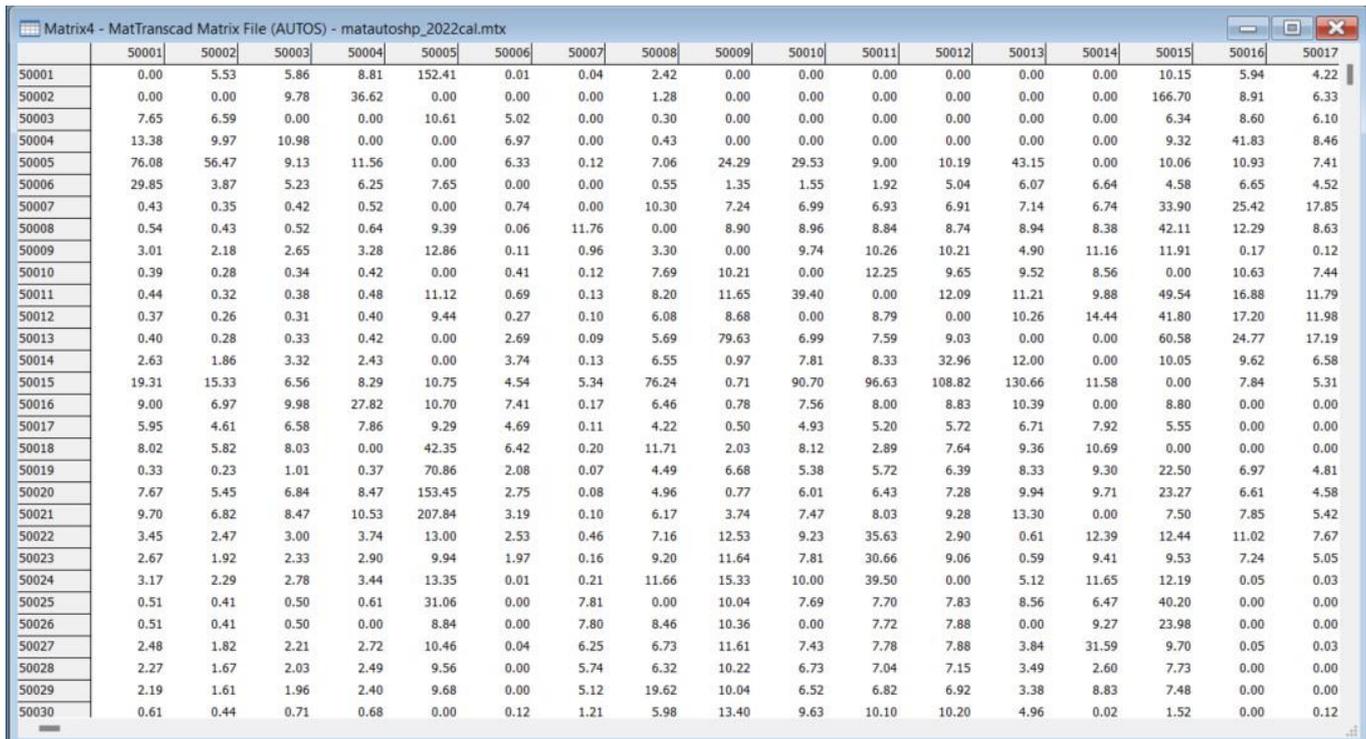
4.2.3 Demanda vehicular

Información de base

Para asignar la demanda vehicular en el modelo se utilizaron las matrices Origen – Destino desarrolladas en el marco del proyecto AIPMUS 1.1, que toma como punto de

partida la EOD ejecutada por SYSTRA en el año 2018. Dichas matrices están construidas para el año 2022 y discriminan por automóviles, motocicletas y vehículos pesados. En el caso específico de los vehículos pesados, se optó por utilizar la matriz base construida en el marco del Plan Vial del Gran Santo Domingo (AIPMUS 4.1), la cual fue ajustada teniendo en cuenta los patrones de viaje para el transporte de carga en esta zona del país.

Figura 25. Matriz origen destino de los viajes en auto para el 2022.



	50001	50002	50003	50004	50005	50006	50007	50008	50009	50010	50011	50012	50013	50014	50015	50016	50017
50001	0.00	5.53	5.86	8.81	152.41	0.01	0.04	2.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.15	5.94	4.22
50002	0.00	0.00	9.78	36.62	0.00	0.00	0.00	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	166.70	8.91	6.33
50003	7.65	6.59	0.00	0.00	10.61	5.02	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.34	8.60	6.10
50004	13.38	9.97	10.98	0.00	0.00	6.97	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.32	41.83	8.46
50005	76.08	56.47	9.13	11.56	0.00	6.33	0.12	7.06	24.29	29.53	9.00	10.19	43.15	0.00	10.06	10.93	7.41
50006	29.85	3.87	5.23	6.25	7.65	0.00	0.00	0.55	1.35	1.55	1.92	5.04	6.07	6.64	4.58	6.65	4.52
50007	0.43	0.35	0.42	0.52	0.00	0.74	0.00	10.30	7.24	6.99	6.93	6.91	7.14	6.74	33.90	25.42	17.85
50008	0.54	0.43	0.52	0.64	9.39	0.06	11.76	0.00	8.90	8.96	8.84	8.74	8.94	8.38	42.11	12.29	8.63
50009	3.01	2.18	2.65	3.28	12.86	0.11	0.96	3.30	0.00	9.74	10.26	10.21	4.90	11.16	11.91	0.17	0.12
50010	0.39	0.28	0.34	0.42	0.00	0.41	0.12	7.69	10.21	0.00	12.25	9.65	9.52	8.56	0.00	10.63	7.44
50011	0.44	0.32	0.38	0.48	11.12	0.69	0.13	8.20	11.65	39.40	0.00	12.09	11.21	9.88	49.54	16.88	11.79
50012	0.37	0.26	0.31	0.40	9.44	0.27	0.10	6.08	8.68	0.00	8.79	0.00	10.26	14.44	41.80	17.20	11.98
50013	0.40	0.28	0.33	0.42	0.00	2.69	0.09	5.69	79.63	6.99	7.59	9.03	0.00	0.00	60.58	24.77	17.19
50014	2.63	1.86	3.32	2.43	0.00	3.74	0.13	6.55	0.97	7.81	8.33	32.96	12.00	0.00	10.05	9.62	6.58
50015	19.31	15.33	6.56	8.29	10.75	4.54	5.34	76.24	0.71	90.70	96.63	108.82	130.66	11.58	0.00	7.84	5.31
50016	9.00	6.97	9.98	27.82	10.70	7.41	0.17	6.46	0.78	7.56	8.00	8.83	10.39	0.00	8.80	0.00	0.00
50017	5.95	4.61	6.58	7.86	9.29	4.69	0.11	4.22	0.50	4.93	5.20	5.72	6.71	7.92	5.55	0.00	0.00
50018	8.02	5.82	8.03	0.00	42.35	6.42	0.20	11.71	2.03	8.12	2.89	7.64	9.36	10.69	0.00	0.00	0.00
50019	0.33	0.23	1.01	0.37	70.86	2.08	0.07	4.49	6.68	5.38	5.72	6.39	8.33	9.30	22.50	6.97	4.81
50020	7.67	5.45	6.84	8.47	153.45	2.75	0.08	4.96	0.77	6.01	6.43	7.28	9.94	9.71	23.27	6.61	4.58
50021	9.70	6.82	8.47	10.53	207.84	3.19	0.10	6.17	3.74	7.47	8.03	9.28	13.30	0.00	7.50	7.85	5.42
50022	3.45	2.47	3.00	3.74	13.00	2.53	0.46	7.16	12.53	9.23	35.63	2.90	0.61	12.39	12.44	11.02	7.67
50023	2.67	1.92	2.33	2.90	9.94	1.97	0.16	9.20	11.64	7.81	30.66	9.06	0.59	9.41	9.53	7.24	5.05
50024	3.17	2.29	2.78	3.44	13.35	0.01	0.21	11.66	15.33	10.00	39.50	0.00	5.12	11.65	12.19	0.05	0.03
50025	0.51	0.41	0.50	0.61	31.06	0.00	7.81	0.00	10.04	7.69	7.70	7.83	8.56	6.47	40.20	0.00	0.00
50026	0.51	0.41	0.50	0.00	8.84	0.00	7.80	8.46	10.36	0.00	7.72	7.88	0.00	9.27	23.98	0.00	0.00
50027	2.48	1.82	2.21	2.72	10.46	0.04	6.25	6.73	11.61	7.43	7.78	7.88	3.84	31.59	9.70	0.05	0.03
50028	2.27	1.67	2.03	2.49	9.56	0.00	5.74	6.32	10.22	6.73	7.04	7.15	3.49	2.60	7.73	0.00	0.00
50029	2.19	1.61	1.96	2.40	9.68	0.00	5.12	19.62	10.04	6.52	6.82	6.92	3.38	8.83	7.48	0.00	0.00
50030	0.61	0.44	0.71	0.68	0.00	0.12	1.21	5.98	13.40	9.63	10.10	10.20	4.96	0.02	1.52	0.00	0.12

Fuente: Elaboración propia en base a matrices OD provistas por INTRANS.

Para incorporar estos datos al modelo, se debió adecuar la composición vehicular a las categorías incluidas en el software, para lo cual se consideraron las siguientes: motos, autos, SUV, vehículos pesados sin acoplado, y vehículos pesados con acoplado (esto incluye también los camiones con semirremolque).

Ajuste de matrices

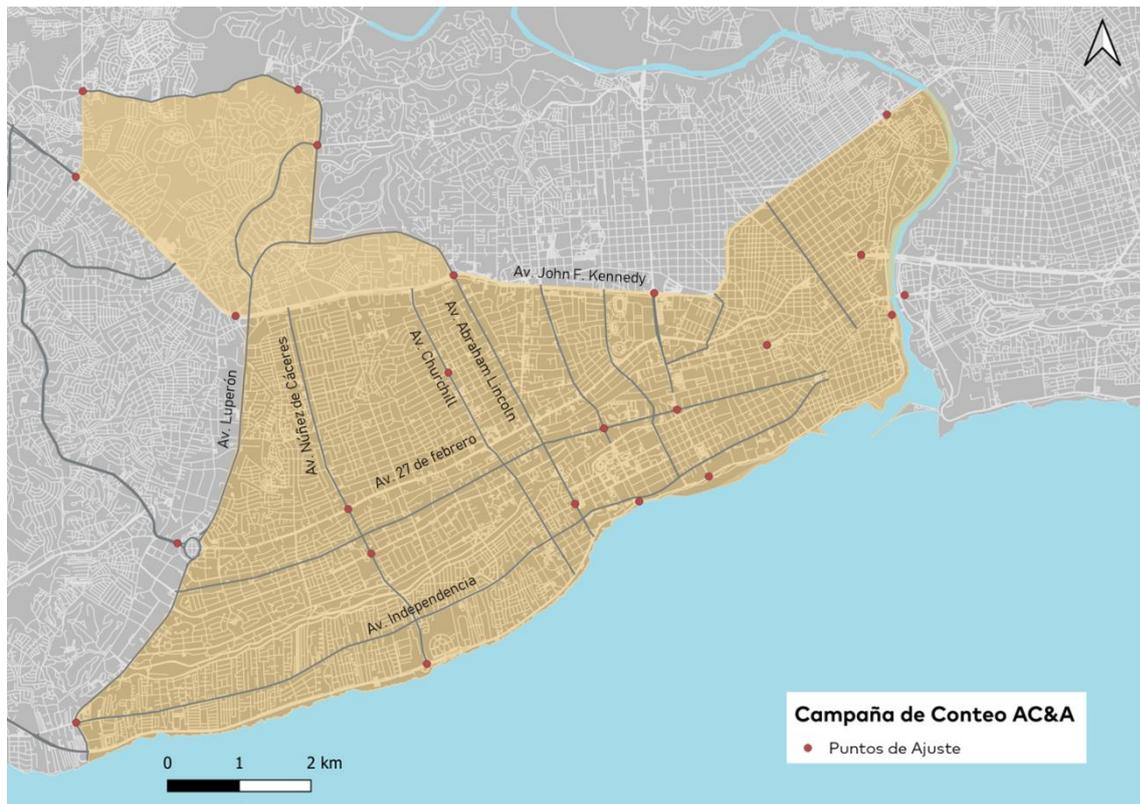
Tradicionalmente los modelos de simulación de tráfico se basaron en los volúmenes observados para definir la demanda. Sin embargo, debido al interés por modelar redes más extensas y a los modelos que estiman los patrones de tránsito que siguen los usuarios, aumentó la importancia de obtener matrices origen-destino precisas. Hoy en día podría obtenerse una matriz origen-destino únicamente a partir de modelos de planificación, aunque si esta no se valida contra los datos relevados en campo, se corre el riesgo de introducir incertidumbres e incertezas al modelo.

El software TransModeler proporciona un procedimiento para ajustar matrices origen-destino a partir de conteos. Este método es el que se utilizó en el presente

trabajo, el cual contrasta las matrices mencionadas en el punto anterior con los conteos obtenidos de la campaña de medición realizada en marzo del 2024 por este equipo y de las cámaras del 911.

La campaña de medición se realizó entre los días 20 y 21 de marzo del 2024 dentro del rango horario de 6:30h a 8:30h, en los puntos que se muestran a continuación.

Figura 26. Puntos de medición de la campaña de conteo AC&A.

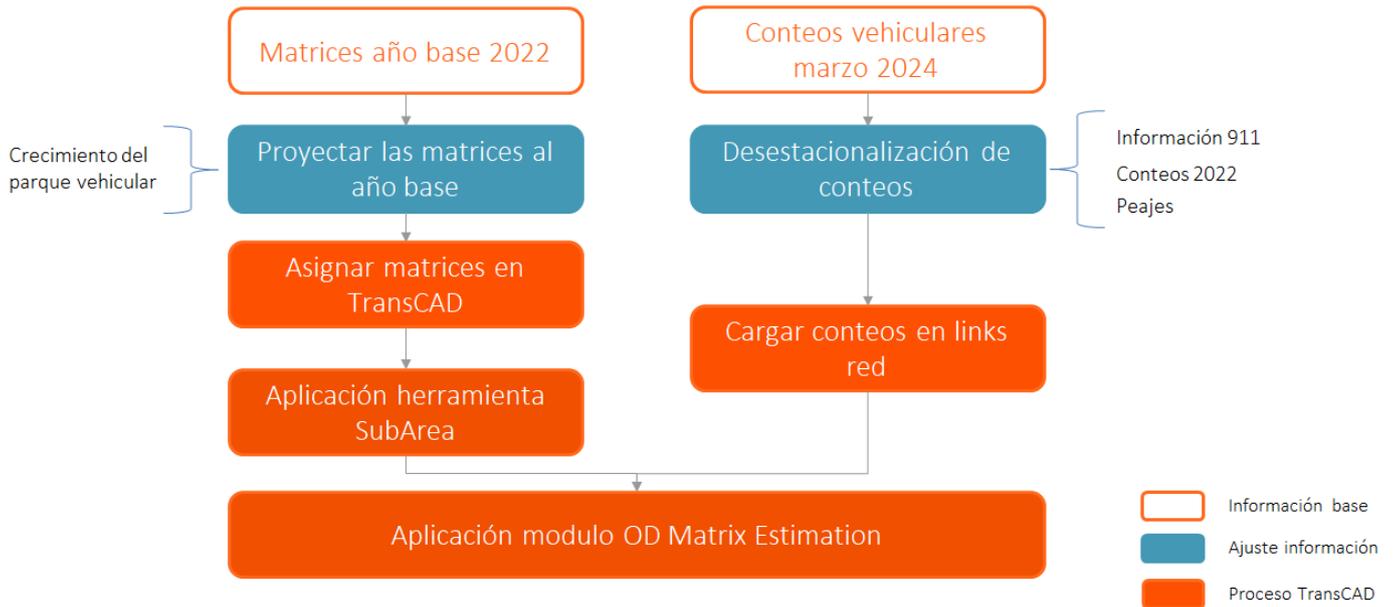


Fuente: Elaboración propia

Previo al ajuste de la matriz, fue necesario procesar la información inicial. En el caso de las matrices origen-destino, se proyectaron al año 2024 para poder compararlas posteriormente con los conteos realizados por este equipo. Para esta proyección se utilizaron las tasas de crecimiento del parque vehicular entre abril de 2022 y marzo de 2024.

En cuanto a la campaña de medición, fue preciso desestacionalizar los resultados obtenidos, empleando factores diarios y mensuales. Los factores diarios se calcularon utilizando los conteos registrados por las cámaras del 911, dividiendo el volumen diario medido por el volumen medio diario. Los factores mensuales, por su parte, se obtuvieron mediante la relación entre los volúmenes mensuales medidos y el volumen medio mensual, tomando como fuente los registros del peaje.

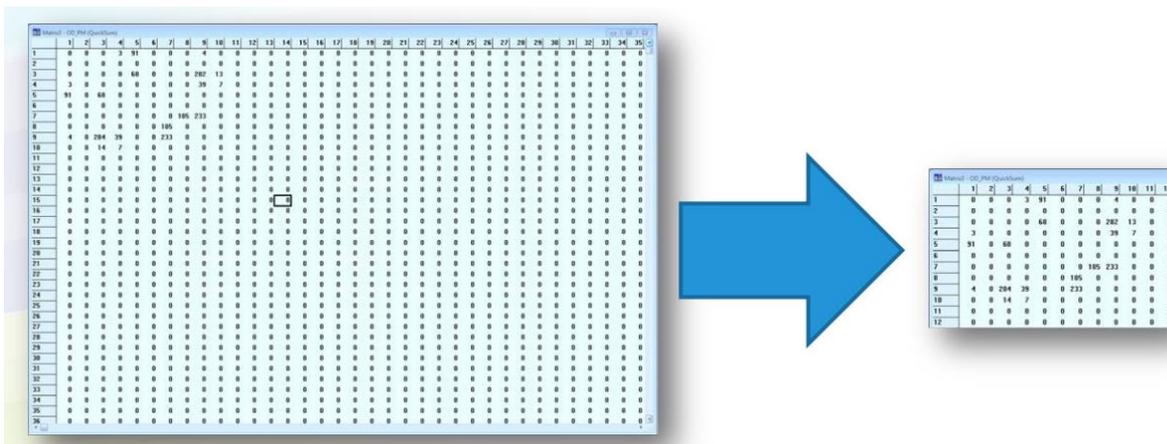
Figura 27. Metodología ajuste matrices modelo mesoscópico



Fuente: Elaboración propia

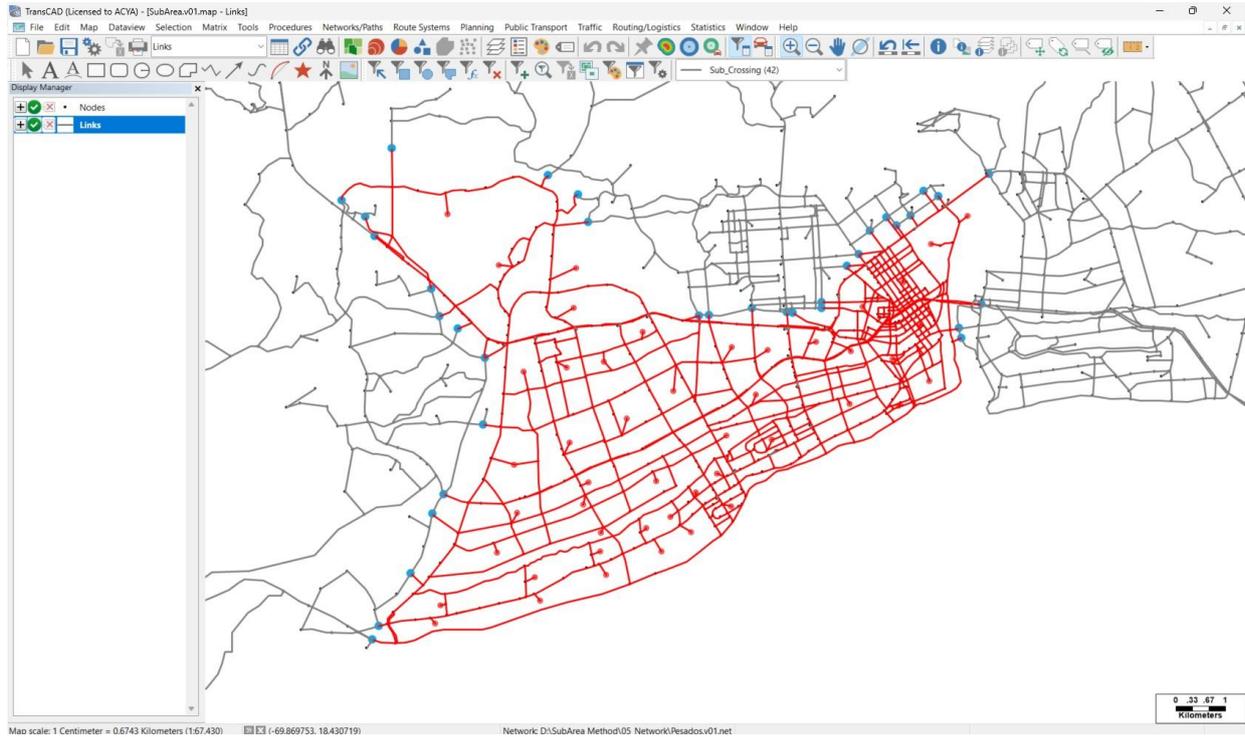
Método de subárea

Por otro lado, ya que estas matrices originalmente corresponden al modelo del Gran Santo Domingo, fue necesario ajustarlas y extraer nuevas matrices para el área de estudio de este proyecto. Para esto se utilizó el método de subárea en el software TransCAD, que permitió descartar aquellos viajes cuyo origen y destino se encuentra fuera del área de estudio, y que no pasan por la misma.



De esta manera, se reducen las matrices, manteniendo los viajes que se generan internamente en el área de estudio, y concentrando los viajes que tienen como origen y/o destino zonas externas sobre los links de ingreso al área de estudio. En la siguiente imagen se observa en color rojo el área modelada para el escenario base y las áreas externas a la misma (en color gris).

Figura 28. Método del subárea en TransCAD.

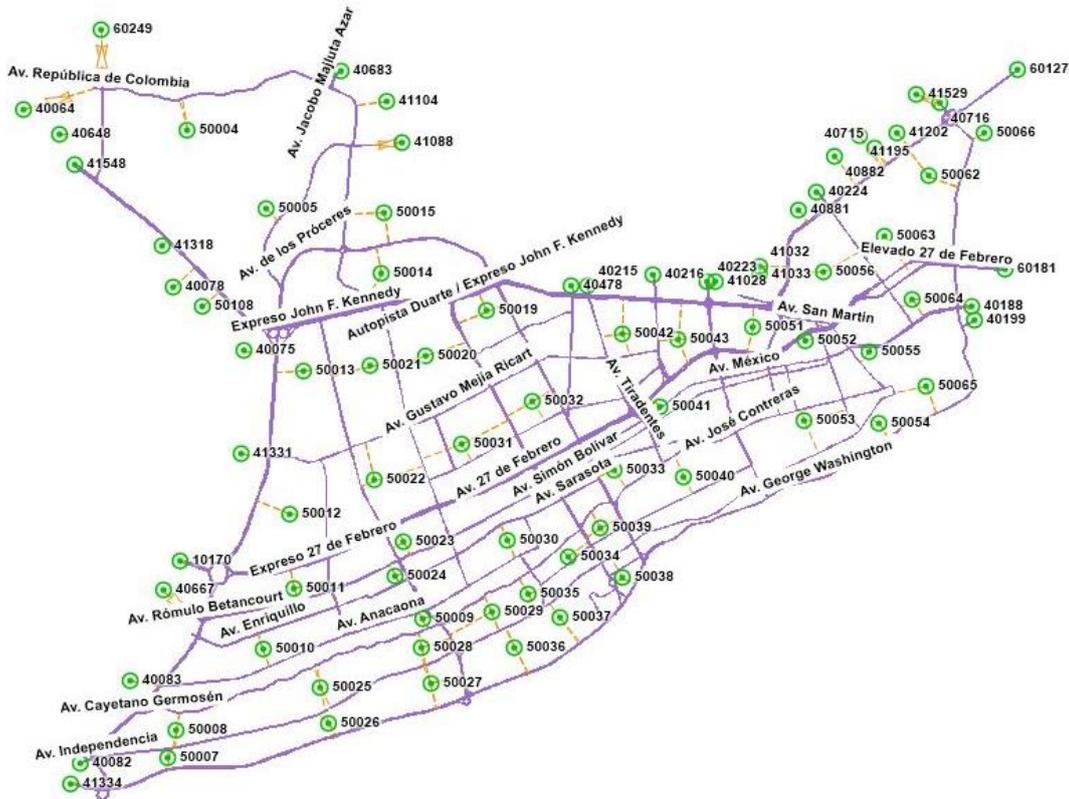


Fuente: Elaboración propia en base a zonificación PMUS GSD.

Siguiendo esta metodología y utilizando el modelo de demanda del Gran Santo Domingo (GSD) desarrollado en el marco del proyecto AIPMUS 1.1, se obtuvieron nuevas matrices de 83 columnas por 83 filas. Estas matrices permitieron generar nuevos centroides en la periferia del área modelada para concentrar los viajes externos, es decir, aquellos que ocurren entre las zonas de SDO, SDN, SDE y el sector norte del DN que no forma parte del área de estudio. Estos nuevos centroides fueron conectados a la red mediante conectores.

La siguiente figura presenta la red de modelación con los centroides asociados a las matrices extraídas por el método de subárea.

Figura 29. Red modelada con el método del subárea en TransCAD.



Fuente: Elaboración propia en Transmodeler.

Observaciones:

En el modelo de demanda del GSD, desarrollado para la hora pico de la mañana, la mayoría de los viajes tienen como destino el área de estudio relacionada con este proyecto. A través del método del subárea se concentran todos los viajes externos que inician a las 7:00h en los links de ingreso al área de estudio, pero algunos de estos viajes no alcanzarían a ingresar realmente al área de estudio durante esta hora de modelación, por lo que se debieron ajustar las matrices origen-destino a través de un análisis de tiempos de viaje en TransCAD.

OD Matrix Estimation

Una vez generada la matriz OD a través del método de subárea, se procedió a ajustar esta matriz utilizando los conteos de tráfico obtenidos previamente. Este ajuste se realizó mediante el proceso de OD Matrix Estimation, una herramienta disponible tanto en TransCAD como en Transmodeler que permite calibrar la matriz OD para reflejar con mayor precisión los patrones de tráfico observados en la red.

El proceso de OD Matrix Estimation utiliza los datos de conteo para ajustar los volúmenes proyectados en el modelo. La herramienta compara los conteos reales de tráfico en puntos clave con los valores de la matriz generada, ajustando iterativamente los flujos hasta lograr una correspondencia que se acerque a las

condiciones reales de circulación. Como resultado, la matriz ajustada refleja mejor la demanda de viajes en el área de estudio, asegurando que el modelo capture con precisión las condiciones de tráfico y permita una evaluación más fiable de las dinámicas vehiculares y posibles intervenciones.

4.3 Asignación dinámica

La asignación dinámica es un enfoque avanzado en la modelación y simulación de redes de transporte que tiene como objetivo representar de manera más realista la variabilidad temporal y espacial del tráfico vehicular. Mediante este proceso se busca relacionar la demanda (matriz origen-destino) con la oferta (red vial). A diferencia de los métodos estáticos, que asumen que las condiciones del tráfico son constantes a lo largo del tiempo, la asignación dinámica permite capturar las fluctuaciones y variaciones que ocurren en pos de optimizar los costos de viaje.

La metodología de TransModeler consiste en producir un conjunto de tiempos de viaje variables en el tiempo y de demoras en giros que reflejen los patrones de congestión esperables por los conductores, en función de su experiencia en el área de estudio. Luego, a través de una serie de simulaciones se prueban rutas alternativas que reduzcan el tiempo de viaje y la demora en giros respecto de la simulación anterior, hasta que no se puedan optimizar más. Llegado a ese punto se dice que la red convergió, alcanzando la condición de equilibrio dinámico de usuario.

Para cada simulación, TransModeler calculará el error cuadrático medio porcentual (RMSE) entre los tiempos de viaje y las demoras de la iteración anterior y los de la iteración actual. Cuando la diferencia entre el RMSE de simulaciones sucesivas se encuentre dentro de la tolerancia se puede decir que convergió y que la condición se aproxima a la de equilibrio de usuario.

Parámetros de convergencia

La asignación dinámica en equilibrio es un proceso iterativo que permite calcular el tiempo mínimo de viaje para cada par origen-destino (O-D), con el objetivo de alcanzar un equilibrio definido por el usuario. La convergencia de este proceso se basa en criterios preestablecidos que permiten garantizar resultados confiables dentro de un tiempo computacional razonable. En este sentido, es necesario definir una serie de parámetros de convergencia, entre los cuales se destacan:

- Iteraciones máximas: es el número máximo de iteraciones permitidas antes de que se detenga la asignación, independientemente de si se alcanza o no el gap relativo. En este caso, debido a la complejidad y el tamaño del modelo, se ha definido un máximo de 50 iteraciones. De acuerdo con la literatura, este valor de iteraciones es recomendable para alcanzar una convergencia razonable durante la asignación dinámica.

- Gap relativo: es una medida que se basa en los tiempos de viaje y se expresa como un porcentaje. Esta métrica compara los tiempos de viaje actuales con los tiempos más cortos para cada par O-D. El gap relativo tiende a cero cuando todas las rutas alcanzan tiempos de viaje lo más cercanos posible a los mínimos. De acuerdo con el Manual de Teoría de Flujo de Tránsito del TRB se recomienda adoptar un gap relativo del 1% para considerar que el modelo ha convergido adecuadamente.

En la figura a continuación se presentan los resultados de la asignación dinámica del modelo base realizado.

Figura 30. Asignación dinámica del modelo base en TransModeler.



Fuente: Elaboración propia en Transmodeler.

4.4 Calibración

4.4.1 Medidas de desempeño y criterios de evaluación

Como se mencionó anteriormente, la calibración es un proceso fundamental para evaluar la precisión y validez de la simulación, asegurando que el modelo refleje de manera confiable el comportamiento real de la red vial. En este caso, el indicador estadístico GEH, cuya fórmula de cálculo se presenta en la sección 2.4, fue el criterio de evaluación seleccionado. De acuerdo con el Departamento de Transporte de Nevada, un modelo se considera calibrado cuando al menos el 90% de los puntos de calibración presentan un valor de GEH inferior a 10.

Para calibrar el modelo mesoscópico del área de estudio, se utilizaron los volúmenes vehiculares registrados durante la hora pico en puntos críticos de la red como medida de desempeño principal.

Adicionalmente, se realizó una validación del modelo mediante el análisis de tiempos de viaje en diferentes tramos de la red, que fueron obtenidos utilizando la API Roads de Google Maps. Para realizar esta validación se utilizó como criterio de evaluación el

error porcentual absoluto medio (MAPE, por sus siglas en ingles). Dicha validación se presenta en el Anexo 5.

4.4.2 Información para calibración

Para llevar a cabo la calibración del modelo mesoscópico de este Plan, se identificaron 23 puntos de control con datos de volúmenes vehiculares desglosados por categoría, los cuales se detallan en la siguiente tabla. Dichos volúmenes fueron obtenidos a partir de información primaria obtenida en campo y de información secundaria proveniente de las bases de aforos suministradas por el INTRANT.

Tabla 3. Puntos de control para calibración

Intersección	Fuente
Av. Independencia y Av. Luperón	AC&A
Av. Nuñez de Cáceres y Av. 30 de Mayo	AC&A
Av. Washington y Av. Alma mater	INTRANT
Av. Washington y Av. Máximo Gómez	AC&A
Puente Flotante	AC&A
Puente Mella	AC&A
Puente Duarte	AC&A
Puente Sanchez	AC&A
Av. Dr. Delgado y Av. Simón Bolívar	AC&A
Av. Kennedy y Av. Luperón	AC&A
Av. República de Colombia y Av. Jacobo Majluta Azar	AC&A
Av. Núñez de Cáceres y Av. Sarasota	INTRANT
Av. Colombia y Av. Carlos Perez Ricart	AC&A
Av. República de Colombia y Av. Monumental	AC&A
Au. Duarte y Av. Monumental	AC&A
Av. Nuñez de Cáceres y Av. 27 de Febrero	AC&A
Av. Abraham Lincoln y Av. Jonh F. Kennedy	AC&A
Av. Máximo Gomez y Av. John F. Kennedy	AC&A
Av. 27 de Febrero y Av. Luperón (antes de la rotonda)	AC&A
Av. Winston Churchill y Av. Gustavo Mejía Ricart	AC&A
Av. Simón Bolívar y Av. Alma Mater	INTRANT
Av. Máximo Gómez x Av. Simon Bolivar	INTRANT
Av. Lincoln y Av. Correa y Cidrón	INTRANT

Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Puntos de control para la calibración



Fuente: Elaboración propia

4.4.3 Parámetros de calibración

En un modelo de simulación de tráfico mesoscópico, los vehículos se agrupan en pelotones o "células", cuyo comportamiento se modela a partir de relaciones agregadas entre la velocidad y la densidad vehicular. Estas relaciones permiten capturar dinámicas globales del flujo de tráfico sin detallar el comportamiento individual de cada vehículo.

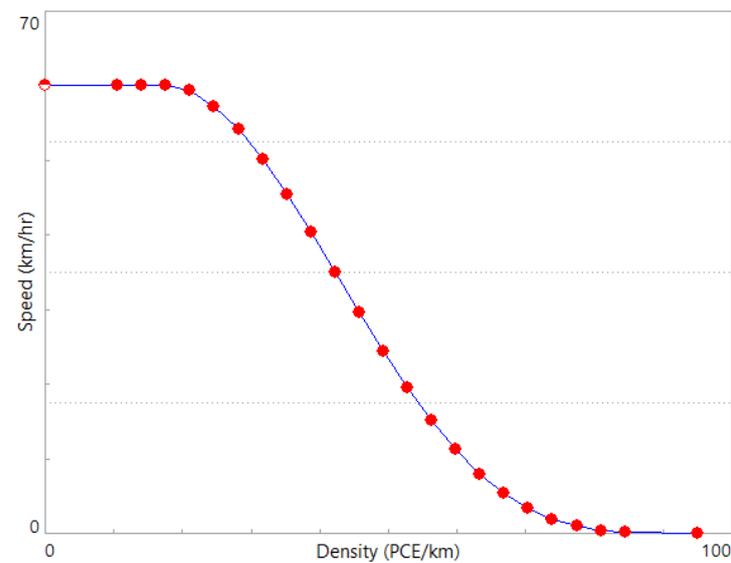
Los parámetros de calibración del modelo están asociados a estas variables clave y se establecen en función de rangos que reflejan las condiciones reales de la red. Entre los principales parámetros se incluyen la velocidad de flujo libre, la densidad de congestión, y las funciones de velocidad-densidad. Cada uno de estos elementos desempeña un papel fundamental en la representación del comportamiento del tráfico y en la precisión del modelo.

A continuación, se describen en detalle los parámetros utilizados para la calibración del modelo.

- Velocidad a flujo libre: Representa la velocidad a la que un vehículo puede circular sin impedimentos de bajo volumen de tránsito. Para el modelo de este Plan se consideraron velocidades a flujo libre entre 34 y 70 km/h.

- Densidad de congestión: Define la máxima cantidad de vehículos por unidad de longitud que puede acumularse en una vía cuando el tráfico está completamente detenido. Se asumió una densidad de congestión entre 55 y 95 PCE/km.
- Funciones de velocidad-densidad: Estas funciones describen la relación matemática entre la densidad vehicular y la velocidad promedio de los vehículos. Fueron definidas para cada una de las tipologías viales de la red de modelación. A modo de ejemplo se muestra la curva velocidad densidad para las travesías externas.

Figura 32. Ejemplo de curva velocidad densidad utilizada para travesías externas.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.4 Proceso de calibración

El proceso de calibración del modelo mesoscópico comenzó en octubre de 2023, mostrando inicialmente que solo el 36% de los puntos cumplían con el objetivo de GEH menor a 10. Ante este incumplimiento, se procedió a realizar una calibración paramétrica, elevando el porcentaje de cumplimiento a un 42%. Este resultado evidenció que el modelo estaba lejos de alcanzar el gap deseado, lo que motivó la implementación de varias medidas correctivas.

Ante esta situación, en junio de 2024 se llevaron a cabo nuevos ajustes de las matrices, esta vez empleando el software TransModeler. Tras esta recalibración, el 87% de los puntos de calibración presentaron un GEH menor a 10, teniendo en cuenta todas las categorías vehiculares analizadas.

A continuación, se presentan los resultados finales de la calibración del modelo mesoscópico en términos de volúmenes vehiculares para cada tipología vehicular: carros, motos y camiones.

Tabla 4. Indicador GEH según medio de transporte.

GEH	CARROS	MOTOS	CAMIONES
<5	40%	53%	58%
<10	80%	87%	96%
<15	89%	93%	98%
<20	96%	91%	100%

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que, aunque el objetivo del 90% no se alcanzó en todos los casos, los porcentajes obtenidos se acercan considerablemente al valor requerido: 80% en carros, 87% en motos y 96% en camiones para un GEH menor a 10. Estos valores indican un buen grado de ajuste y precisión en la simulación de la red, por lo que, a pesar de no cumplir estrictamente el criterio del 90%, se ha decidido considerar el modelo como calibrado dado el nivel de aproximación alcanzado y las limitaciones existentes en la información base de demanda.

5 MODELO ESCENARIO DE REFERENCIA

5.1 Características de la operación

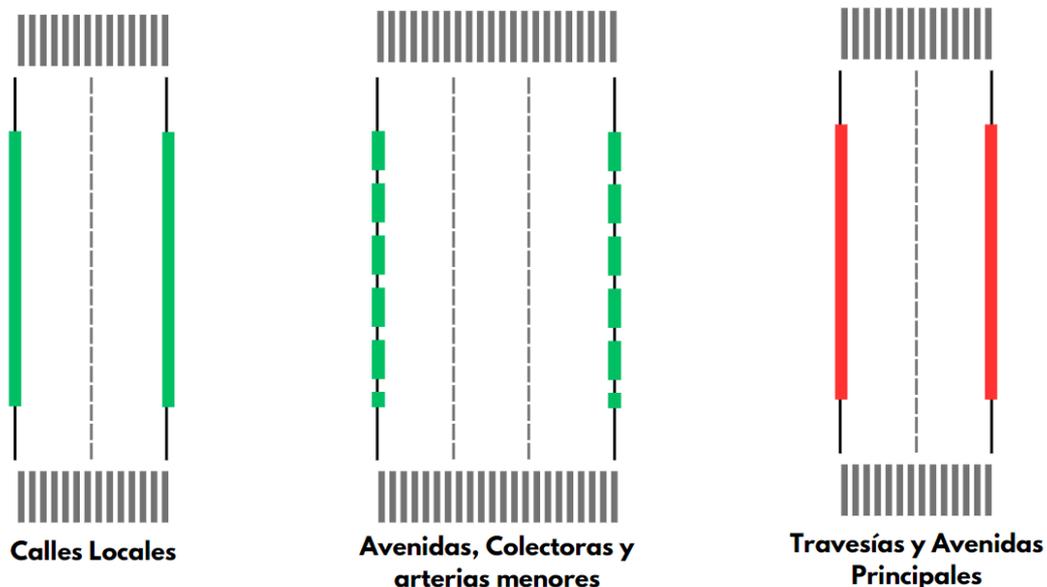
El modelo del escenario de referencia fue construido para la hora pico de la mañana, comprendida entre las 07:00 y las 08:00 am, a partir del modelo base calibrado para la situación actual y ajustando los diferentes criterios para representar las condiciones descritas en el numeral 3.1 de este informe.

Específicamente, se realizó la asignación de las rutas del SITP a la red, de acuerdo con la información de frecuencias teóricas definidas en el proyecto AIPMUS 4.1. Adicionalmente se incluyeron las siguientes intervenciones.

5.1.1 Restricción del Estacionamiento

La restricción del estacionamiento se planteó por jerarquía vial. En las calles locales se seguirá estando habilitado de 00 am a 12 pm, siempre y cuando su ancho de calzada lo permita⁸; en avenidas, colectoras y arterias menores estará restringido los días hábiles entre las 6 am y 9 pm; en travesías y avenidas principales estará prohibido de 00 am a 12 pm.

Figura 33. Restricción del estacionamiento.

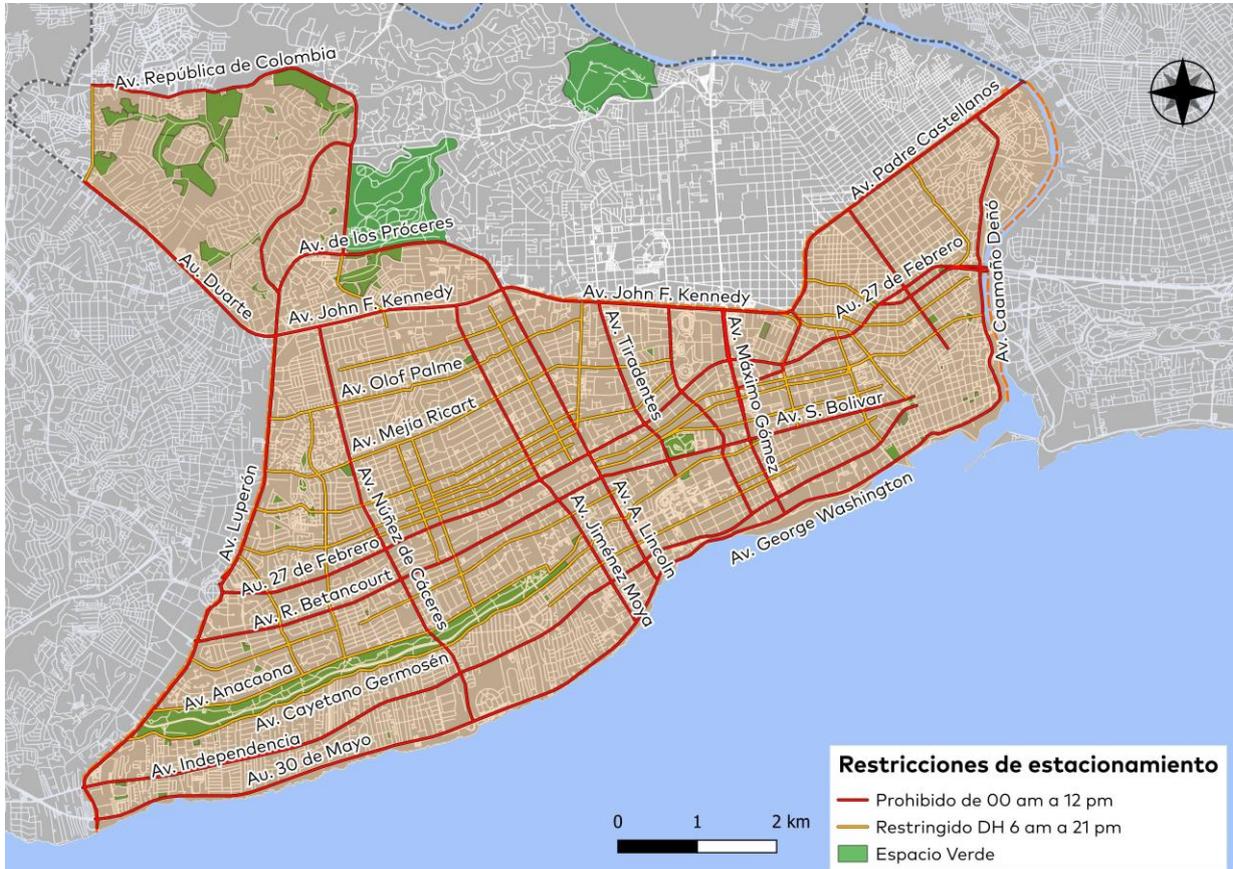


Fuente: Elaboración propia

⁸ Se recomienda estacionamiento permitido de un solo lado para anchos mayores a 5,50 m, y de ambos lados para anchos mayores a los 8 m, en caso de ser una calle local de mano única. En caso de una arteria calle doble mano el ancho mínimo para disponer estacionamiento a ambos lados deberá ser de 11 m.

En la siguiente figura se muestran las restricciones de estacionamiento en el área de estudio para la red vial analizada.

Figura 34. Restricciones del estacionamiento para la red vial analizada.



Fuente: Elaboración propia.

En este escenario de modelación, la restricción del estacionamiento en vía se implementó ajustando la capacidad de cada uno de los links de la red vial. Dado que para este nivel de modelación (mesoscópico) no se puede representar el estacionamiento en vía de manera explícita, la disminución de capacidad en los links afectados simula la ocupación de espacio por vehículos estacionados, reflejando así el impacto que tendría en el flujo de tránsito (en la situación base se realizó dicha reducción).

5.1.2 Restricción de la circulación del transporte de carga

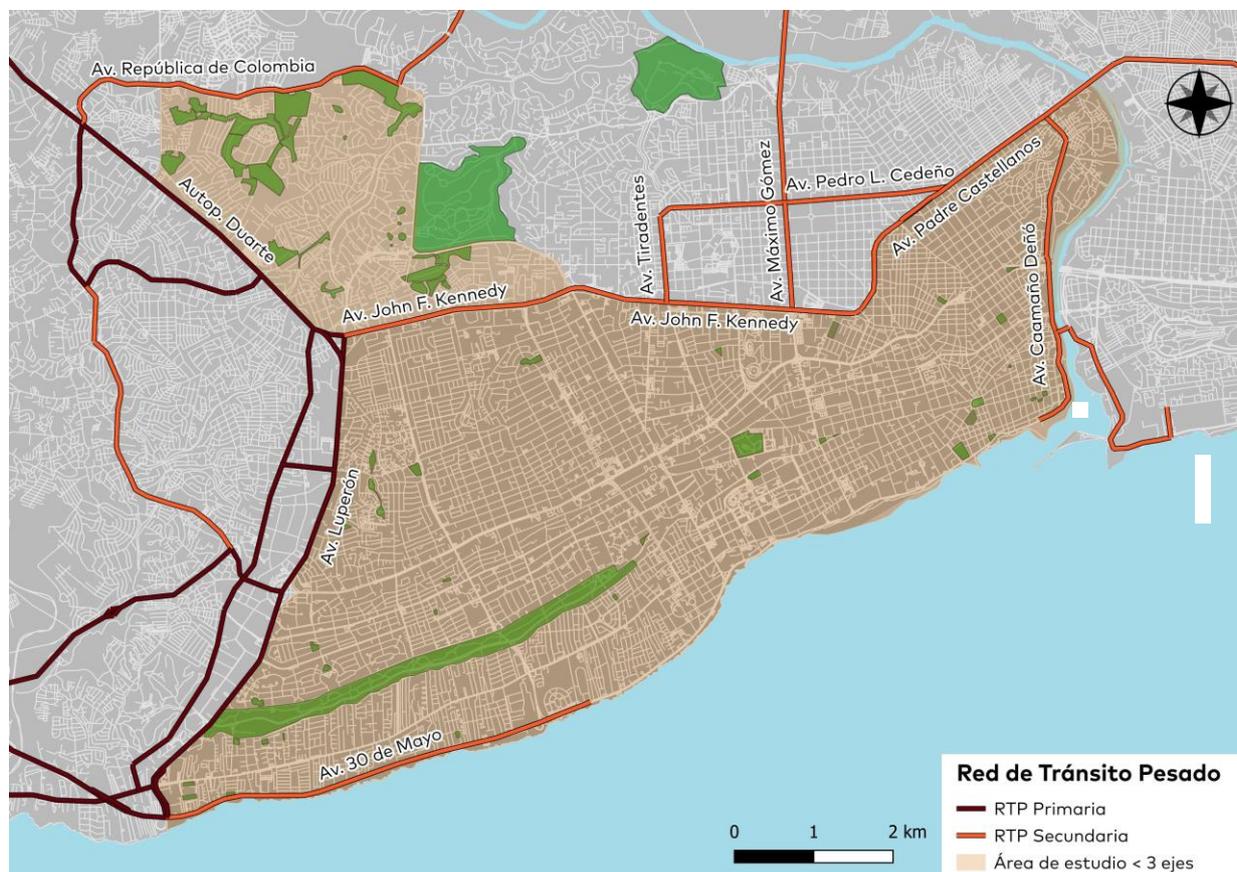
Esta intervención se plantea en concordancia con la propuesta para el ordenamiento de los flujos de carga definida en el marco del proyecto AIPMUS 4.1, donde se propone la consolidación de una red de tránsito pesado, que permita encauzar la circulación de los camiones por vías preferenciales dentro del GSD.

Como parte de esta propuesta se designan dos tipos de vías prioritarias sin restricción horaria, para la red de tránsito pesado:

- Las vías primarias por donde los camiones podrán circular independientemente de su cantidad de ejes, vialidad orientada a los viajes entre puertos, viajes pasantes al DN y viajes entre puertos y el interior del país.
- Las vialidades secundarias habilitadas para camiones de hasta 5 ejes que cuenten con permiso de circulación y únicamente tengan origen o destino dentro del GSD.

En las demás arterias de la ciudad, se propone restringir la circulación de camiones con más de tres ejes, de forma que la logística urbana sólo pueda efectuarse con camiones de hasta tres ejes o con vehículos de bajo porte; lo que obliga a la desfragmentación de la carga.

Figura 35. Red de tránsito Pesado



Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Optimización de los ciclos semafóricos

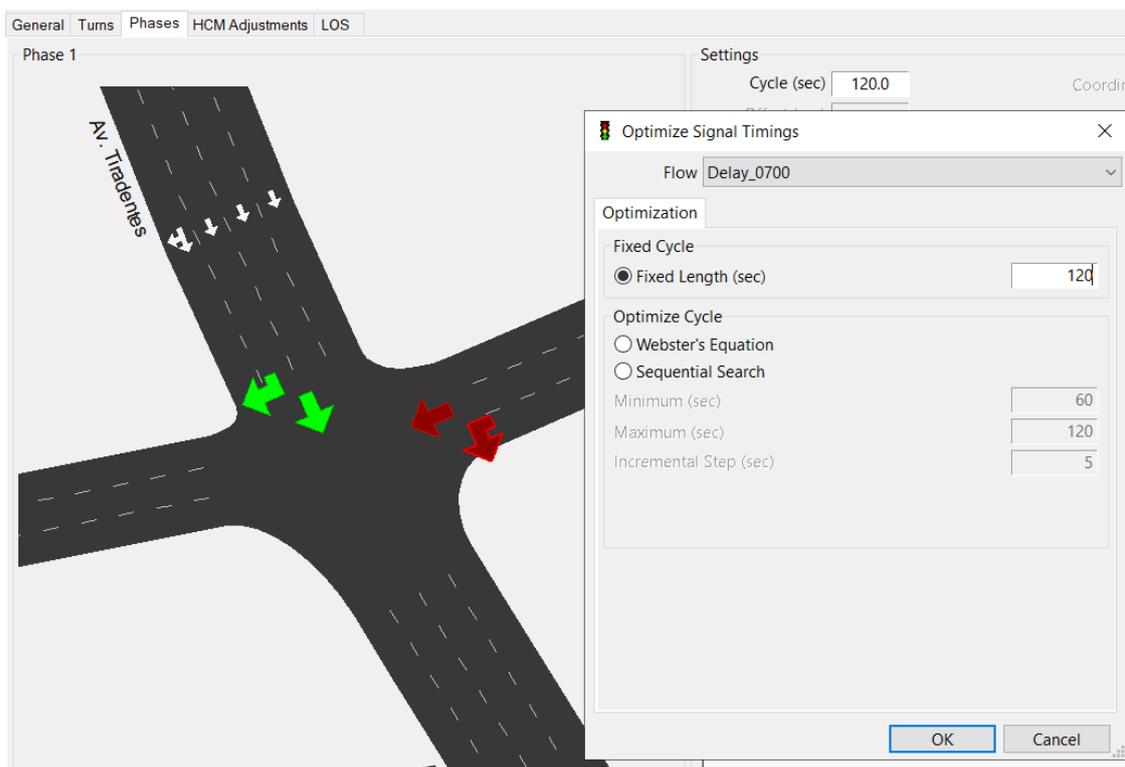
Tal y como se observó en el informe diagnóstico, actualmente el área de estudio presenta planes semafóricos con ciclos dispersos y, en muchos casos, excesivamente largos, superando los 180 segundos. Estos tiempos de espera prolongados no se ajustan a las expectativas y patrones de comportamiento de los usuarios, lo que puede generar frustración, evasión de normas y potenciales conflictos en el tráfico.

Por ello, es fundamental optimizar los ciclos semafóricos para mejorar la fluidez de la circulación y reducir los tiempos de espera, especialmente en intersecciones críticas con alta demanda.

La intervención propuesta se enfoca en la optimización de los ciclos semafóricos en todas las intersecciones dentro del área de modelación. Para ello, se estableció un ciclo máximo de 120 segundos, asegurando un tiempo mínimo de luz verde de 15 segundos, en línea con las recomendaciones de la bibliografía internacional. Esta estrategia pretende aumentar la eficiencia del tráfico, reducir la congestión en puntos clave y crear una experiencia de circulación más ágil y segura para los usuarios.

La optimización de los ciclos semafóricos en las intersecciones del área de estudio se llevó a cabo mediante la herramienta "Optimize Signal Timings" del editor de dispositivos de control en TransModeler. Esta herramienta permite ajustar los ciclos y fases semafóricas tanto a nivel local como en toda la red, con el objetivo de reducir las demoras críticas en cada acceso de las intersecciones controladas por semáforos.

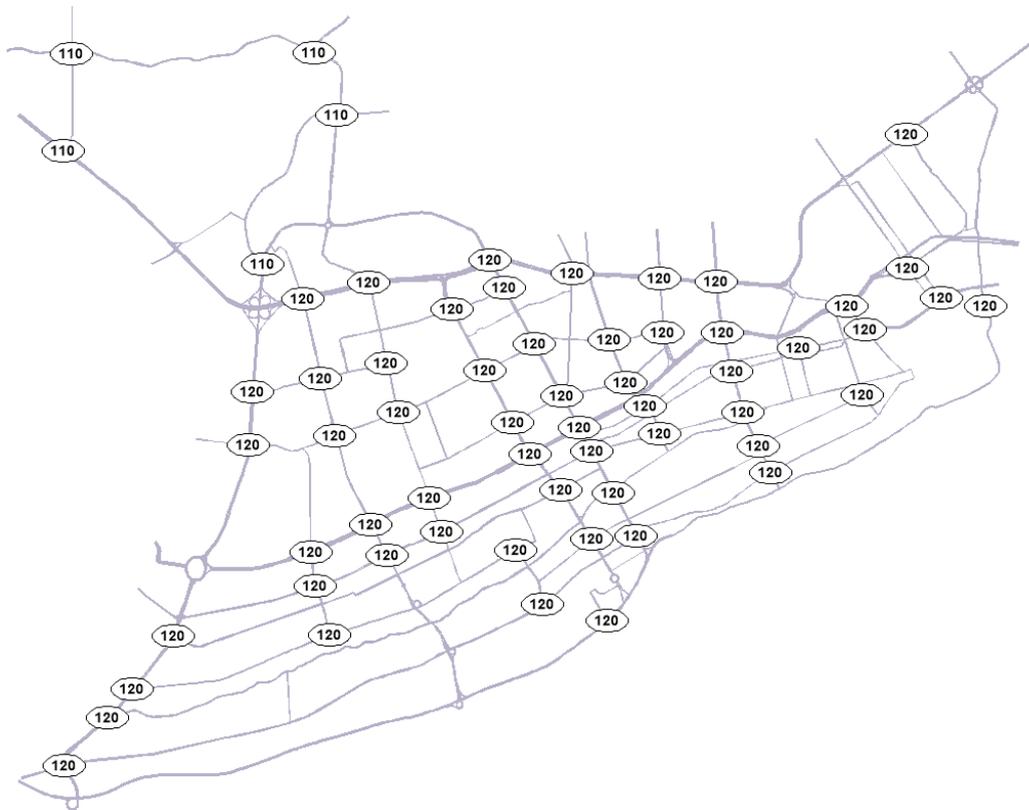
Figura 36. Aplicación de la herramienta Optimize Signal Timings en TransModeler



Fuente: Elaboración propia en TransModeler

Como resultado de esta optimización, se establecieron ciclos de 120 segundos en las intersecciones del centro del área de modelación y 110 segundos en el resto del área.

Figura 37. Optimización semafórica de las intersecciones del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia en TransModeler

5.1.4 Señalización y fiscalización de sentidos circulatorios de vías locales

Si bien en varios casos la normativa asigna sentidos únicos de circulación a las vías locales, se relevó que en la práctica no se los respeta. No obstante, se adopta en el escenario base que sí se respeten los sentidos de circulatorios legislados por la normativa vigente.

5.2 Demanda escenario de referencia

El escenario de referencia se basa en la propuesta del SITP, desarrollada en el marco del proyecto AIPMUS 1.1. En concordancia con dicha propuesta, se consideraron dos horizontes de demanda: los años 2027 y 2032. Para integrar las proyecciones de demanda correspondientes, las matrices del escenario base fueron proyectadas utilizando la herramienta "Forecast OD Matrix Volumes" de TransModeler.

A continuación, se presentan las tasas de crecimiento anual aplicadas para cada tipología vehicular, que fueron obtenidas a partir de las definiciones realizadas tanto el AIPMUS 1.1 como en el AIPMUS 4.1.

Figura 38. Tasa de crecimiento anual por tipología vehicular

Modo de transporte	Tasa de crecimiento anual
Carros	2,21%
Motos	0,19%
Transporte público	1,36%
Transporte pesado	3,38%

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del AIPMUS 1.1 y 4.1

A modo de ejemplo, a continuación se muestra parte de la matriz proyectada para los carros en el año 2032.

Figura 39. Matriz de carros proyectados al año 2032.

	10170	40064	40075	40078	40082	40083	40188	40199	40215	40216	40223	40224	40478	40648	40666	Sum
10170	0.00	0.00	0.00	0.00	249.94	0.00	0.06	0.01	0.98	3.36	12.12	0.00	4.86	0.00	0.00	900.48
40064	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	606.44
40075	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03	0.07	1.67	0.22	9.18	0.00	1.99	0.00	0.00	125.31
40078	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	67.51
40082	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.04	0.00	4.43	4.08	0.24	0.00	3.82	0.00	0.00	853.16
40083	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.78
40188	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.83	67.43	0.00	0.00	0.00	1368.58
40199	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	119.50	207.70	0.02	0.00	0.00	416.59
40215	3.47	0.00	0.10	9.42	22.95	0.00	0.35	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1096.85
40216	1.68	0.00	0.02	3.93	36.64	0.00	0.19	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1432.81
40223	0.69	0.00	0.01	0.40	0.01	0.00	0.04	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	724.99
40224	0.50	0.00	0.02	0.18	0.00	0.00	6.83	95.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1149.63
40478	1.68	0.00	0.03	2.44	1.20	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	971.98
40648	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	169.18
40667	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.39
40683	0.41	140.89	4.45	16.75	1.15	0.00	0.02	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.15	0.00	897.67
40715	0.04	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.02	0.83	0.00	0.31	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	80.36
40716	122.72	0.00	0.02	2.44	0.00	0.00	0.01	1.62	0.56	10.01	0.00	2.39	12.23	0.00	0.8	426.88
40881	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	2.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	95.42
40882	4.48	0.00	0.05	7.92	0.00	0.00	0.61	4.52	0.10	16.71	0.00	4.23	1.11	0.00	0.00	763.83
41028	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41032	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41033	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41088	0.03	0.15	0.00	0.42	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.92	0.00	1052.59
41104	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41195	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41202	3.15	0.00	0.16	7.37	0.01	0.00	0.03	2.39	25.64	50.29	0.00	4.04	45.66	0.00	0.00	831.43
41318	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	1574.15
41331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.05	0.02	11.41	0.01	4.44	0.07	13.22	0.00	0.00	918.07
41334	1.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	11.20	0.00	8.90	8.43	0.28	0.29	0.00	0.00	0.00	2455.35
41529	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41548	0.00	0.00	6.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	6.72	0.00	0.01	0.00	0.00	1099.40
50004	0.00	0.70	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.94	0.00	0.00	0.31	0.00	759.63
50005	1.05	0.01	0.10	433.62	0.10	0.00	0.06	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.07	0.00	1120.48
50007	0.29	0.00	0.00	0.00	2.54	41.12	0.03	0.00	0.36	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	438.82
50008	0.37	0.00	0.00	0.00	15.33	46.73	0.15	0.00	3.76	3.30	0.13	0.02	15.32	0.00	0.00	1266.02
50009	11.25	0.00	2.10	3.79	0.00	0.00	0.01	0.00	0.17	0.23	0.54	0.00	0.54	0.00	5.2	229.10
50010	129.50	0.00	0.00	0.00	16.15	0.04	0.00	0.00	21.69	19.61	0.41	0.01	15.40	0.00	5.9	533.95
50011	15.21	0.00	0.00	0.02	1.94	0.00	0.00	0.00	24.74	22.35	0.70	0.04	17.51	0.00	6.5	644.57
50012	0.66	0.00	0.00	0.08	0.42	0.00	0.07	0.00	7.23	0.02	1.89	0.07	6.76	0.00	0.00	456.88
50013	8.26	0.00	0.00	3.94	0.40	0.00	0.04	0.00	23.92	0.11	17.90	0.07	62.97	0.00	0.0	790.52
50014	0.50	0.00	0.01	3.27	0.51	0.00	0.64	0.08	32.87	18.75	40.00	0.09	16.16	0.00	0.00	1948.77
Sum	1933.04	647.51	50.29	988.71	779.76	232.54	769.43	657.45	747.22	402.69	557.51	867.65	787.53	446.72	69.8	66260.62

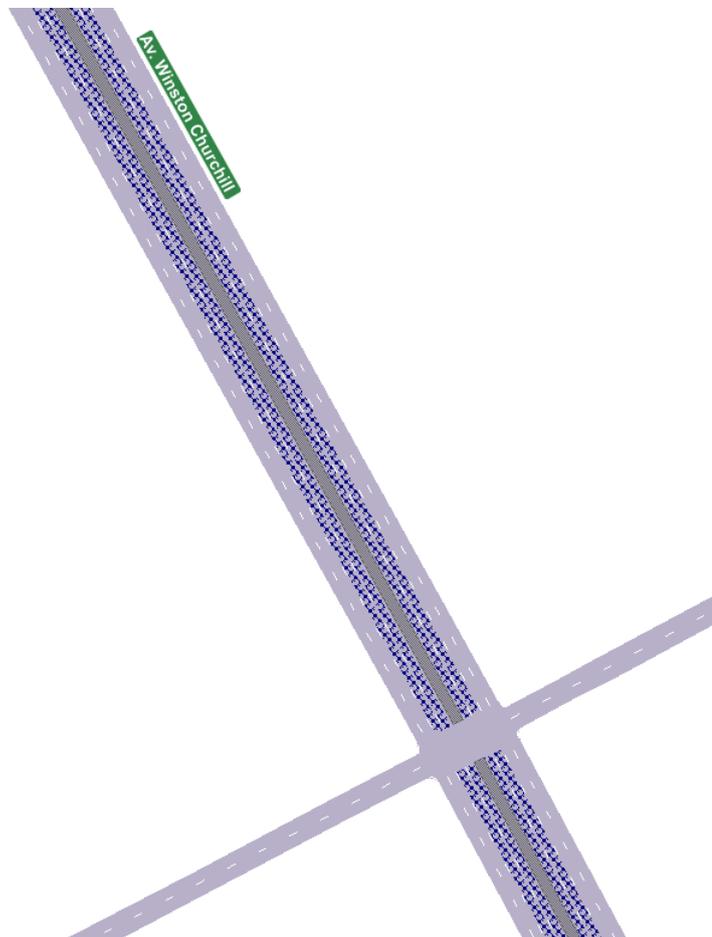
Fuente: Elaboración propia.

6 MODELOS ESCENARIOS

6.1 Escenario E1

La construcción del Escenario 1 se llevó a cabo partiendo del escenario de referencia, aplicando los criterios y características definidos previamente. Los cambios en la red se enfocaron principalmente en la definición de los carriles preferenciales para el transporte público, adaptándolos a la configuración específica de cada corredor. Según el caso, estos carriles se dispusieron lateralmente a la derecha (con o sin restricción de giros) o en una plataforma reservada tipo BRT, ubicada en el centro de la calzada.

Figura 40. Configuración de la nueva infraestructura para el Escenario 1

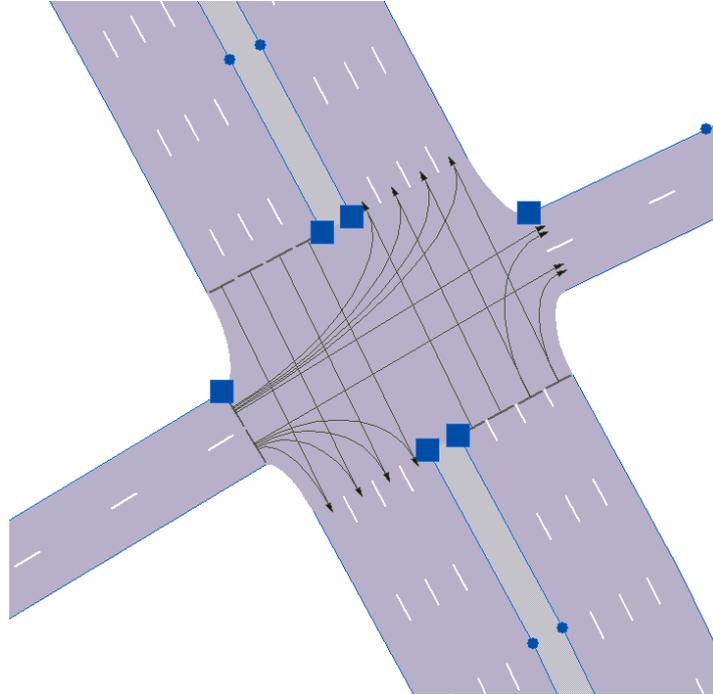


Fuente: Elaboración propia.

Esta reconfiguración de las secciones viales implicó ajustes en los movimientos permitidos en las intersecciones, ya que fue necesario eliminar giros a la derecha o a la izquierda, dependiendo de la ubicación del carril preferencial. Estos cambios, a su vez, exigieron modificaciones en los planes semafóricos de la red; en muchas

intersecciones, las fases del semáforo pasaron de cuatro a tres, con el fin de optimizar el flujo vehicular y adaptarse a la nueva configuración de carriles.

Figura 41. Configuración de las nuevas conexiones en las intersecciones

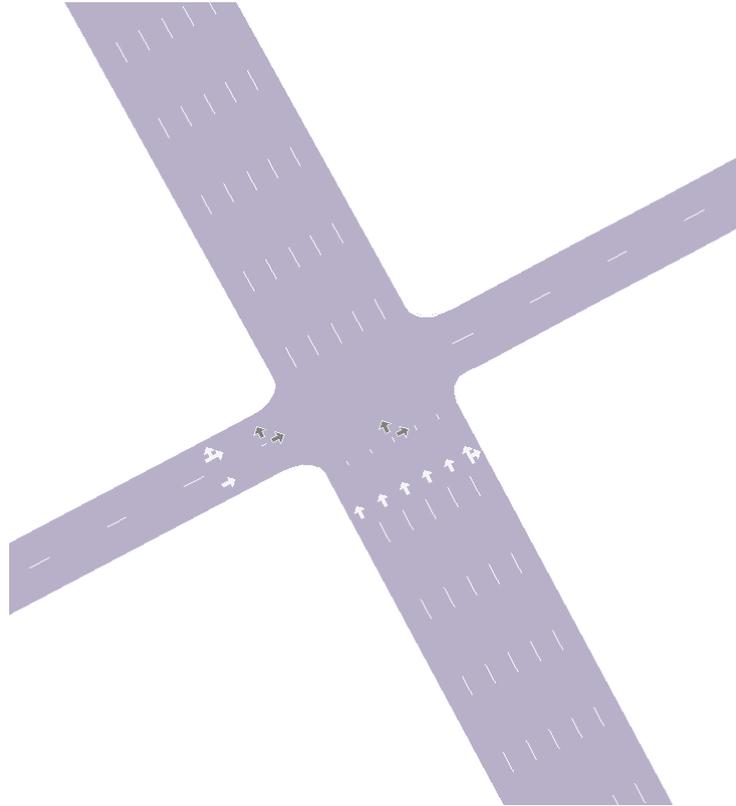


Fuente: Elaboración propia.

6.2 Escenario E2

El modelo del Escenario 2 se construyó a partir del escenario de referencia, pero con modificaciones específicas en la red vial para implementar los cinco pares viales propuestos. Estos cambios se centraron en transformar los sentidos de circulación de las avenidas seleccionadas para que operaran como vías de sentido único, en direcciones opuestas y coordinadas semafóricamente.

Figura 42. Configuración de la nueva infraestructura para el escenario 2



Fuente: Elaboración propia.

La modificación de los sentidos de circulación tuvo un impacto directo en el diseño y operación de las intersecciones dentro del área de estudio. Fue necesario reconfigurar las intersecciones y ajustar los planes semafóricos para adaptarlos a las nuevas direcciones de flujo, garantizando una coordinación eficiente entre los pares viales.

Además, el cambio en los sentidos de circulación afectó los trazados de algunas rutas de transporte público que utilizaban estas avenidas, requiriendo una redefinición de las rutas y una reubicación de las paradas asociadas. En la siguiente imagen se puede observar la nueva configuración para las rutas del SITP.

Figura 43. Route system para el Escenario 2

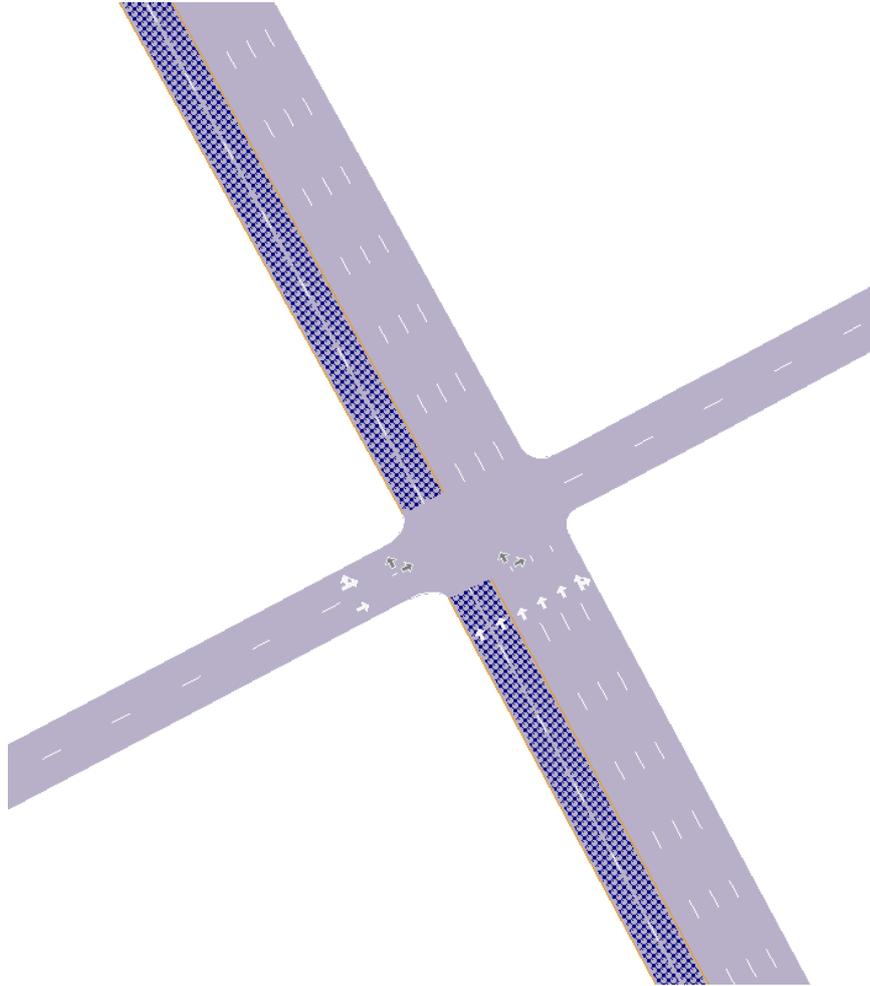


Fuente: Elaboración propia.

6.3 Escenario E3

El modelo para el escenario 3 se construyó a partir del modelo del escenario 2, que ya incluía la configuración de pares viales establecidos. En este escenario, los ajustes de infraestructura se centraron en definir los corredores preferenciales para el transporte público, muchos de los cuales coincidían con las vías donde se había realizado el cambio de sentido. Cuando se implementaron carriles preferenciales tipo BRT, se ubicaron en el lado izquierdo de las vías, aprovechando la configuración de los pares viales, mientras que los carriles preferenciales laterales se mantuvieron en el lado derecho de la vía.

Figura 44. Configuración de la infraestructura para el Escenario 3



Fuente: Elaboración propia.

Estos cambios, al igual que en los escenarios anteriores, impactaron en los movimientos permitidos en las intersecciones, ya que exigieron la eliminación de giros a la izquierda o a la derecha. Esto implicó una reconfiguración de los cruces y ajustes en los planes semafóricos, con especial atención a la modificación de las fases para optimizar la eficiencia en cada intersección.

7 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y SELECCIÓN DEL MEJOR ESCENARIO

Para evaluar el desempeño de la red, se seleccionaron indicadores clave que permiten analizar distintos aspectos de la circulación y eficiencia del sistema vial. Estos indicadores incluyen:

- Kilómetros totales recorridos por todos los vehículos de la redVelocidad promedio en la red.
- Longitud promedio de viaje de todos los vehículos de la red.
- Tiempo promedio de viaje en los principales corredores del área de estudio, medido en tramos específicos (ver la siguiente imagen).
- Tiempo promedio de viaje por vehículo.

Figura 45. Tramos de medición de los tiempos promedio de viaje por corredor



Fuente: Elaboración propia.

En la

Tabla 5 se presentan los resultados generales de la red y la Tabla 7 los particulares por corredor con los indicadores antes mencionados. Estos fueron calculados a partir de la modelación mesoscópica realizada para cada uno de los escenarios planteados:

el escenario de referencia (E REF) y tres escenarios de intervención (E1, E2 y E3). Esta información permite una comparación detallada con un escenario "Business as Usual" (BAU), proyectados a los años 2027 y 2032, que sirven como líneas base para evaluar los beneficios de las intervenciones propuestas.

Asimismo, en las Tabla 6 y

Tabla 8, se pueden observar las diferencias porcentuales de los indicadores de los escenarios propuestos respecto al Escenario BAU.

Tabla 5. Resultados de los indicadores generales para escenarios de modelación para los años 2027-2032.

Año	Resultados	Parámetros	E BAU	EREF	E1	E2	E3
2027	General de la red para todos los vehículos	Kilómetros totales recorridos	225.219	244.784	249.399	241.627	242.785
		Velocidad media de viaje Red (km/h)	36,8	38,3	38,6	37,9	38,0
		Tiempo promedio de viaje Red (min)	11,4	10,7	10,4	11,1	10,9
		Longitud promedio de viaje (km)	6,0	6,1	6,1	6,3	6,3
	General de la red por tipo de vehículo	Tiempo promedio de viaje autos (min)	10,5	9,9	9,6	10,2	10,0
		Tiempo promedio de viaje motos (min)	10,6	10,0	9,9	10,3	10,3
		Tiempo promedio de viaje buses (min)	22,8	19,4	18,2	19,3	19,2
		Tiempo promedio de viaje camiones pequeños (min)	9,4	9,1	8,8	9,3	9,2
2032	General de la red para todos los vehículos	Kilómetros totales recorridos	228.625	250.949	257.907	242.325	244.029
		Velocidad media de viaje Red (km/h)	34,8	36,6	36,7	35,9	36,2
		Tiempo promedio de viaje Red (min)	12,3	11,3	11,1	11,7	11,6
		Longitud promedio de viaje (km)	6,0	6,1	6,1	6,1	6,2
	General de la red por tipo de vehículo	Tiempo promedio de viaje autos (min)	10,9	10,3	10,2	10,7	10,7
		Tiempo promedio de viaje motos (min)	11,0	10,6	10,4	11,0	10,8
		Tiempo promedio de viaje buses (min)	22,7	19,9	19,0	20,7	20,2
		Tiempo promedio de viaje camiones pequeños (min)	10,5	9,8	9,4	9,9	9,8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Comparación porcentual de los resultados generales para escenarios de modelación para los años 2027-2032, respecto del escenario BAU.

Año	Resultados	Parámetros	EREF	E1	E2	E3
2027	General de la red para todos los vehículos	Kilómetros totales recorridos	8,69%	10,74%	7,29%	7,80%
		Velocidad media de viaje Red (km/h)	3,91%	4,83%	2,82%	3,09%
		Tiempo promedio de viaje Red (min)	-6,74%	-8,93%	-3,15%	-4,38%
		Longitud promedio de viaje (km)	2,00%	2,16%	4,16%	4,16%
	General de la red por tipo de vehículo	Tiempo promedio de viaje autos (min)	-5,92%	-8,31%	-2,20%	-4,68%
		Tiempo promedio de viaje motos (min)	-5,39%	-6,62%	-2,93%	-2,74%
		Tiempo promedio de viaje buses (min)	-14,94%	-20,11%	-15,51%	-15,86%
		Tiempo promedio de viaje camiones pequeños (min)	-3,19%	-6,18%	-1,38%	-1,60%
2032	General de la red para todos los vehículos	Kilómetros totales recorridos	9,76%	12,81%	5,99%	6,74%
		Velocidad media de viaje Red (km/h)	5,32%	5,58%	3,08%	4,02%
		Tiempo promedio de viaje Red (min)	-8,22%	-9,77%	-4,97%	-5,29%
		Longitud promedio de viaje (km)	2,01%	2,35%	2,68%	3,69%
	General de la red por tipo de vehículo	Tiempo promedio de viaje autos (min)	-5,14%	-6,24%	-1,83%	-1,74%
		Tiempo promedio de viaje motos (min)	-3,55%	-5,55%	-0,36%	-1,64%
		Tiempo promedio de viaje buses (min)	-12,42%	-16,30%	-8,81%	-11,06%
		Tiempo promedio de viaje camiones pequeños (min)	-7,05%	-10,10%	-5,52%	-6,86%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Comparación de resultados de tiempo promedio de viaje, en minutos, para los años 2027 y 2032.

Corredor	Año 2027					Año 2032				
	E BAU	EREF	E1	E2	E3	E BAU	EREF	E1	E2	E3
Av. Núñez de Cáceres	5,0	5,1	4,4	4,0	4,0	5,3	5,2	4,5	4,0	4
Av. Independencia	25,5	27,7	21,5	24,1	22,2	23,7	21,2	23,8	29,4	28,2
Av. Lincoln	3,8	3,6	3,8	4,1	4,5	3,8	3,6	3,7	4,7	4,7
Av. Churchill	5,1	4,2	4,4	4,0	4,1	4,4	4,3	4,7	4,1	4,4
Av. Mejía Ricart	8,8	8,0	8,7	7,6	8,6	8,0	7,4	7,9	7,7	7,8
Av. Sarasota	6,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,1	5,1	5,0	5,0	5,0
Av. Simón Bolívar	15,5	20,1	15,2	16,5	17,0	23,8	19,7	19,0	19,7	20,6
Av. Máximo Gómez	12,5	9,1	8,4	8,8	6,3	8,6	8,6	8,2	9,6	7,2
Av. Romulo Betancourt	4,0	3,8	3,6	3,9	3,9	3,8	3,8	3,6	3,9	3,9
Av. Lope de Vega	2,9	2,8	2,8	2,5	2,5	2,8	2,8	2,9	2,5	2,5
Av. Henriquez Ureña	7,9	6,7	6,5	6,4	7,3	8,2	7,6	7,1	7,0	7,3
Av. Correa y Cidrón	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,4
Av. Tiradentes	4,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Av. Fernando Defilló	3,0	3,0	3,0	3,3	3,7	3,1	3,0	3,0	3,4	3,6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Comparación porcentual de resultados de tiempo promedio de viaje para los años 2027 y 2032, respecto del escenario BAU.

Corredor	Año 2027				Año 2032			
	EREF	E1	E2	E3	EREF	E1	E2	E3
Av. Núñez de Cáceres	2%	-12%	-20%	-20%	-2%	-15%	-25%	-25%
Av. Independencia	9%	-16%	-5%	-13%	-10%	0%	24%	19%
Av. Lincoln	-7%	0%	8%	18%	-4%	-3%	24%	24%
Av. Churchill	-18%	-13%	-22%	-20%	-2%	8%	-6%	1%
Av. Mejía Ricart	-9%	-1%	-14%	-2%	-8%	-1%	-4%	-3%
Av. Sarasota	-17%	-17%	-17%	-17%	-1%	-2%	-2%	-2%
Av. Simón Bolívar	30%	-2%	6%	10%	-17%	-20%	-17%	-13%
Av. Máximo Gómez	-27%	-33%	-29%	-49%	0%	-5%	11%	-16%
Av. Romulo Betancourt	-5%	-10%	-2%	-2%	0%	-5%	2%	2%
Av. Lope de Vega	-3%	-3%	-14%	-14%	0%	4%	-11%	-11%
Av. Henríquez Ureña	-15%	-18%	-19%	-8%	-7%	-13%	-15%	-11%
Av. Correa y Cidrón	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-4%
Av. Tiradentes	-48%	-48%	-49%	-49%	-2%	0%	-2%	-2%
Av. Fernando Defilló	0%	0%	10%	23%	-3%	-3%	10%	16%

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los indicadores analizados, la reducción más significativa en el tiempo de viaje se observa en el escenario 1 (E1), con un promedio de 10,4 y 11,1 minutos por vehículo para los años 2027 y 2032, respectivamente, lo cual representa una mejora considerable frente a los escenarios BAU para esos años (11,4 y 12,3 minutos). Esto indica que las intervenciones propuestas en este escenario son efectivas para optimizar el tiempo de viaje de toda la red en general. También se observan mejoras en las velocidades medias de viaje de la red aumentando aproximadamente 2 km/h, tanto para el año 2027 como para el 2032, respecto de los escenarios BAU.

Cabe mencionar que el tiempo de viaje promedio de los buses mejora notablemente en todos los escenarios de intervención en comparación con el BAU. En E1, el tiempo promedio es de 18,2 y 19,0 minutos para los años 2027 y 2032, contra 22,8 y 22,7 minutos para dichos años en el caso de los escenarios BAU, lo cual sugiere que la implementación de carriles exclusivos en este escenario optimiza significativamente la circulación del transporte público.

Como punto negativo del E1, es el que posee la mayor cantidad de kilómetros totales recorridos, comparados con los demás escenarios.

Por su parte, el Escenario 2 (E2) muestra el desempeño más bajo en la red. Este escenario presenta una velocidad media más baja y un tiempo promedio de viaje más alto en comparación con los otros escenarios de intervención, lo que sugiere que las estrategias implementadas no logran optimizar adecuadamente el flujo vehicular. En particular, el incremento en la longitud promedio de los trayectos y los tiempos de viaje para autos, motos y buses refleja una menor eficiencia en la circulación.

El escenario E3 presenta un desempeño intermedio entre el E1 y E2, puesto que los indicadores de velocidad media de viaje de la red y tiempo promedio de viaje, se encuentran en valores intermedios respecto a estos dos escenarios. No obstante, presenta menores longitudes de recorrido totales respecto del E1 y mayores que en el E2.

Además, en cuanto a los kilómetros recorridos totales el escenario BAU, en ambos años, es el que menores distancias se observan, seguido por el E2 y el E3.

Asimismo, se observa que para los años de análisis las velocidades medias más altas se dan en el Escenario 1 (38,6 y 36,7 km/h), seguidas por el EREF (38,3 y 36,6 km/h), contrastando al caso BAU que donde se observan menores (36,8 y 34,8 km/h), lo cual sugiere que los escenarios que incluyen carriles preferenciales para el transporte público promueven un flujo vehicular más eficiente.

Por último, en cuanto a las longitudes promedio de viaje, se observaron resultados similares entre los distintos escenarios, con valores que oscilan entre los 6 y 6,3 km, siendo el BAU donde menores longitudes y el E2 y E3 los de mayores.

Respecto al análisis por corredores, se destaca que para el 2027, los escenarios de las alternativas (E1-E3) tienden a reducir los tiempos de viaje en la mayoría de los

corredores principales, destacando las mejoras en la Av. Núñez de Cáceres y la Av. Máximo Gómez. En tanto que para el año 2032, en algunos corredores, como la Av. Independencia y la Av. Simón Bolívar, los tiempos de viaje aumentan en escenarios alternativos, probablemente debido a mayores niveles de demanda o saturación.

A continuación se muestran resultados gráficos de los cinco escenarios para los años 2027 y 2032.

Se destaca que en las Avenidas Kennedy, 27 de Febrero y Washington, son en las que se desarrollan mayores velocidades, las cuales varían entre 45 y 60 km/h para el año 2027 y entre 30 y 45 km/h para 2032, en tanto que, en general, las arterias que corren en sentidos Norte-Sur y/o Sur-Norte, las velocidades son menores. Además, se observa que en el escenario BAU, en general, las velocidades son menores que en los demás casos.

Figura 46. Comparativa de resultados de velocidades para el año 2027.



Fuente: Elaboración propia.

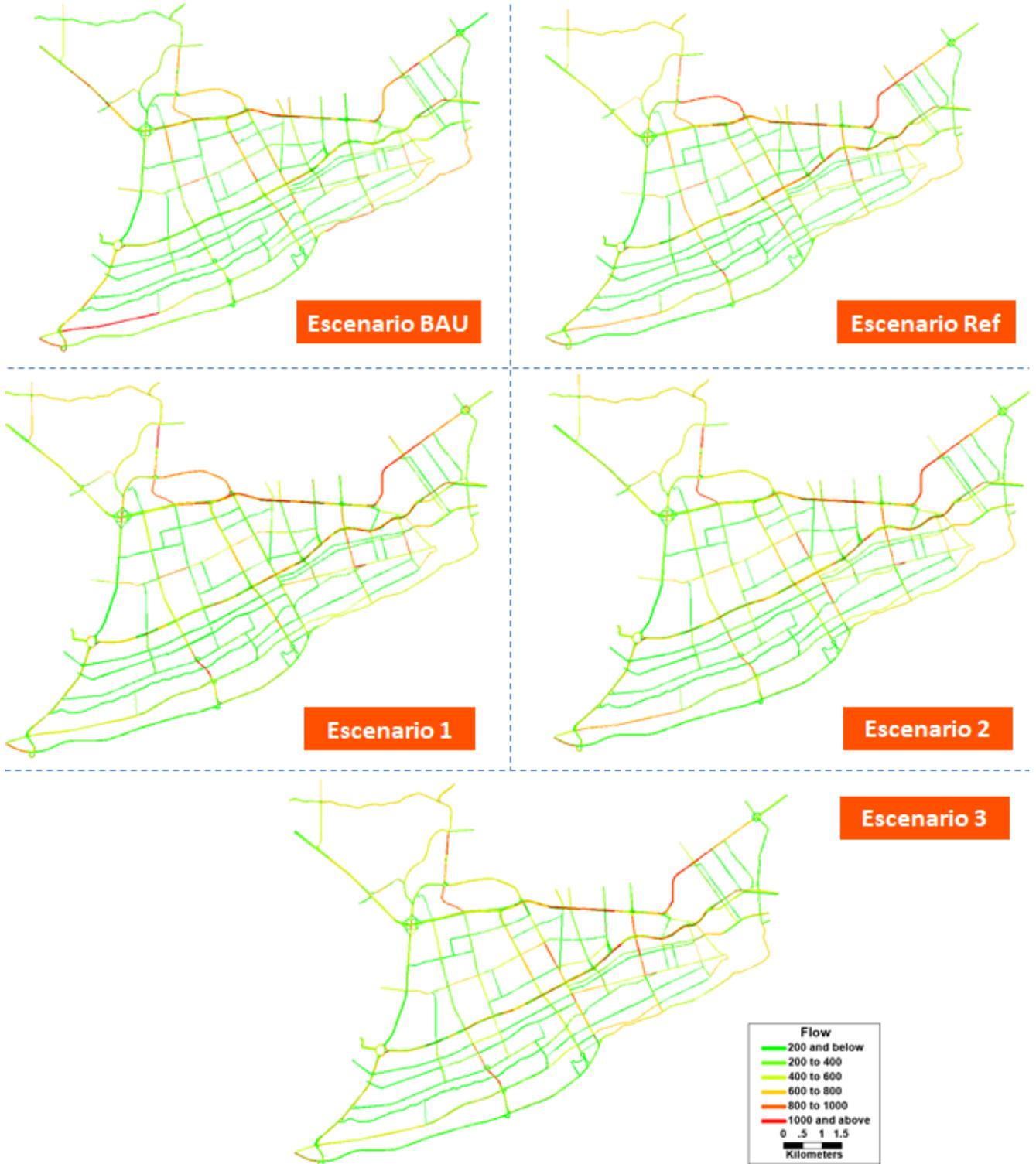
Figura 47. Comparativa de resultados de velocidades para el año 2032.



Fuente: Elaboración propia.

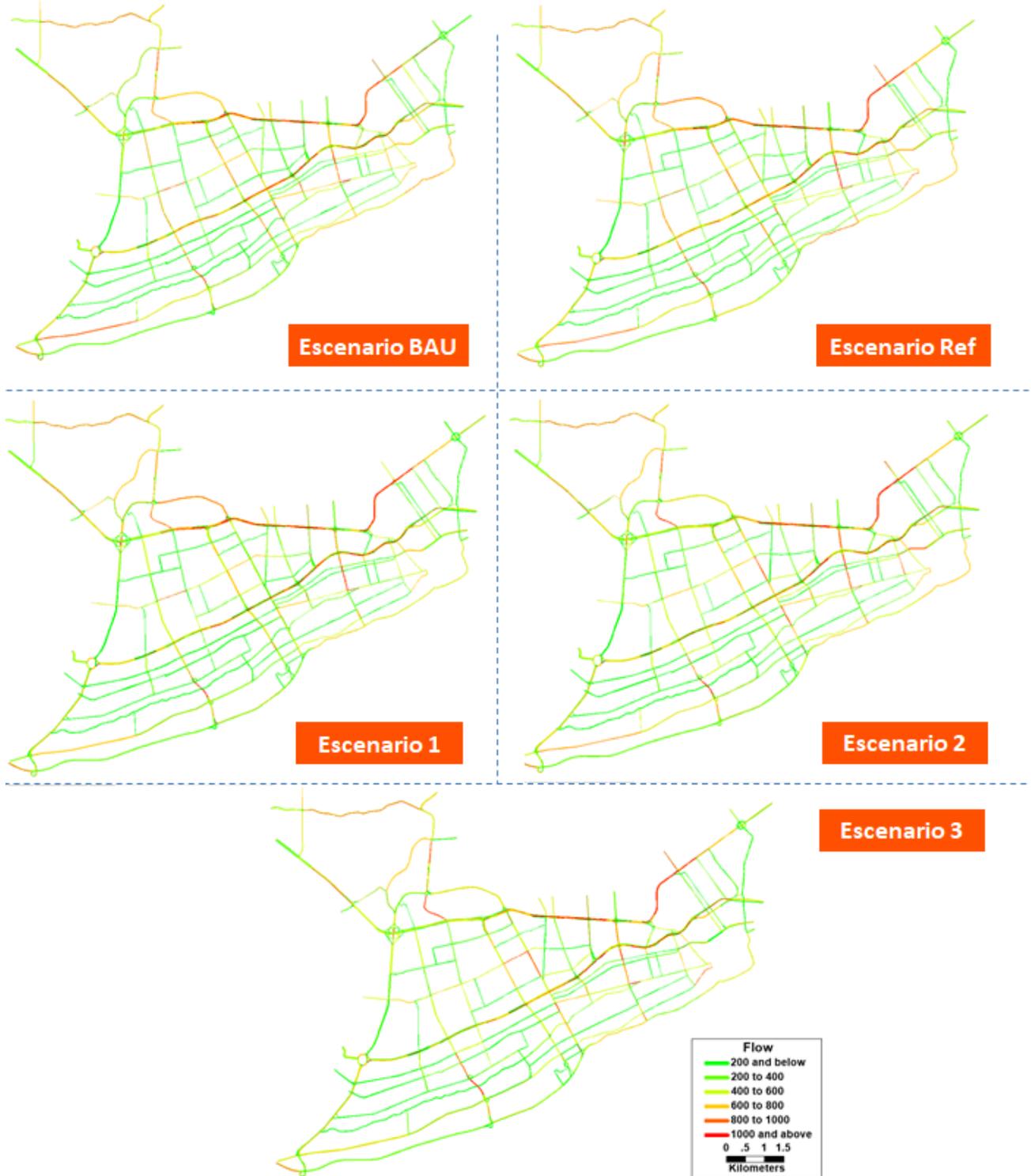
Respecto del flujo, las arterias de mayor flujo son las avenidas Kennedy y 27 de Febrero en la dirección este y oeste, en tanto que Núñez de Cáceres, Churchill y Lincoln son las que mayor flujo vehicular poseen en la dirección norte y sur.

Figura 48. Comparativa de resultados de flujo de tránsito para el año 2027.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 49. Comparativa de resultados de flujo de tránsito para el año 2032.



Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, el escenario E1 presenta un mejor desempeño en términos de velocidad y tiempos de viaje, tanto en el caso de los vehículos privados como para el transporte público, sugiriendo que las intervenciones en este escenario logran una red más eficiente. De esta forma, el escenario seleccionado es el E1.

7.1 Consideraciones al escenario seleccionado

Es importante destacar que todos los escenarios de modelación se construyeron tomando como referencia las proyecciones de demanda definidas los antecedentes del AIPMUS a este proyecto, específicamente el Diseño conceptual del Sistema Integrado de Transporte Público para el Gran Santo Domingo (GSD). Este proyecto asume ciertas consideraciones como por ejemplo que, para el año 2042, el transporte informal seguirá operando en cierta medida, así como también la no transferencia modal desde el vehículo particular hacia el transporte público.

En este sentido, y considerando los resultados de los indicadores de desempeño de la red que evidencian al escenario 1 como el más favorable debido a su reducción en los tiempos promedio de viaje, se recomienda fomentar una transferencia modal para maximizar estos beneficios. Esto implica incentivar el uso del transporte público y reducir el tráfico de vehículos particulares, lo cual no solo mejoraría la fluidez vehicular, sino que optimizaría la eficiencia y sostenibilidad de la red a largo plazo.

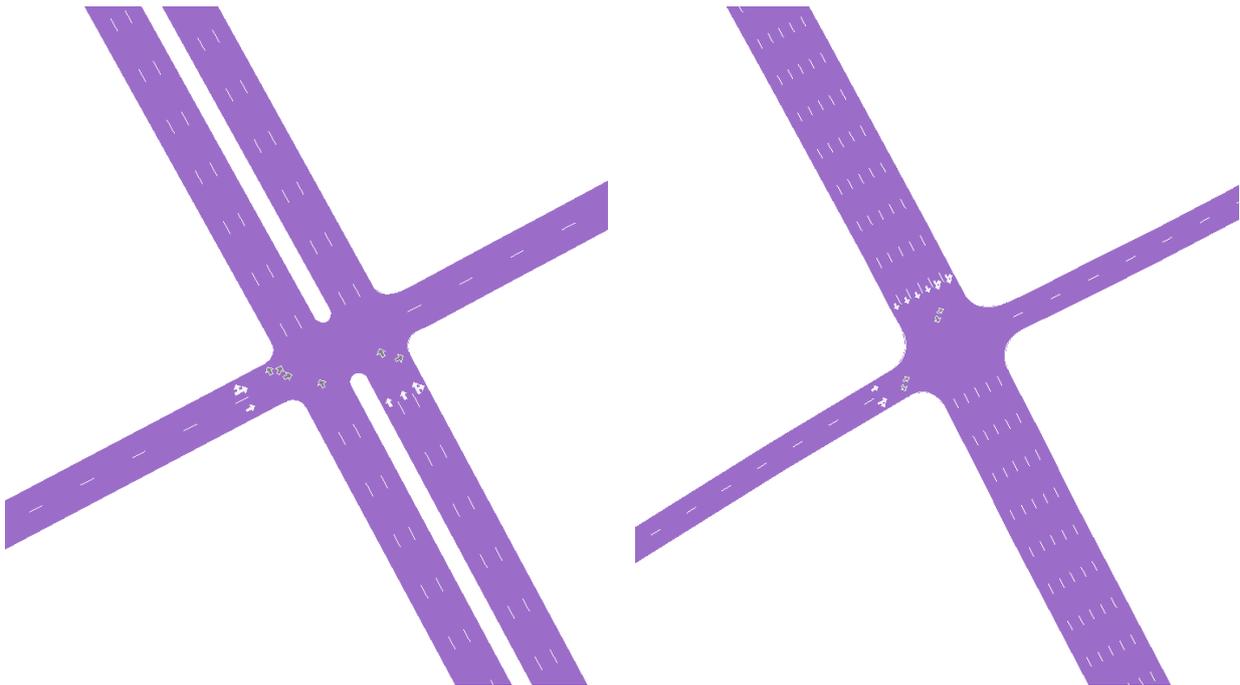
Como recomendación final, es importante considerar que todas las medidas de priorización del transporte público propuestas en el escenario 1, deben ir acompañadas de un esquema de fiscalización eficiente. Tal como se ha presentado en el Diagnóstico de este Plan, la fiscalización es esencial para asegurar que las restricciones y configuraciones de tránsito, como el uso exclusivo de carriles y la reducción de giros, se cumplan adecuadamente, contribuyendo así a la sostenibilidad y efectividad del sistema vial en el tiempo.

8 ANÁLISIS PAR VIAL CHURCHILL Y LINCOLN

Como se mencionó anteriormente, por pedido explícito del INTRANS, se evaluó de forma independiente la viabilidad del par vial entre las avenidas Winston Churchill y Abraham Lincoln, en el tramo comprendido entre la Av. Charles Summer y la Av. George Washington. Este análisis se realizó utilizando el modelo de simulación mesoscópica, desarrollado en el marco del estudio, con el objetivo de estimar los impactos operativos de esta medida en la red vial del área de estudio.

Para esto, se partió del modelo para la situación base y se implementaron modificaciones en los sentidos de circulación de ambas avenidas dentro del tramo definido (teniendo en cuenta la configuración descrita en el apartado 3.4). Como consecuencia de este cambio, fue necesario redefinir los tiempos y fases semafóricas en las intersecciones a lo largo de ambos corredores, optimizando los ciclos semafóricos. Además, se realizaron ajustes en el trazado de varias rutas de transporte público afectadas por la nueva configuración vial.

Figura 50. Ejemplo ajuste sentidos links en modelo mesoscópico



Fuente: Elaboración propia en TransModeler

Este análisis se realizó considerando dos horizontes: el año 2027 y el año 2032. Los resultados obtenidos fueron comparados con los resultados del escenario de referencia y del escenario BAU, permitiendo evaluar los impactos de la medida. A continuación, se presentan estos resultados comparativos en términos de medidas de desempeño de la red como tiempos de viaje promedio, velocidad promedio y kilómetros totales recorridos. Asimismo, se presentan los resultados particulares de tiempos de viaje por corredor.

Tabla 9. Resultados comparativos modelo Par vial Churchill y Lincoln

Año	Resultados	Parámetros	E. BAU	E. REF	Par vial Churchill y Lincoln
2027	General de la red para todos los vehículos	Kilómetros totales recorridos	225.219	244.784	225.725
		Velocidad media de viaje Red (km/h)	36,8	38,3	36,8
		Tiempo promedio de viaje Red (min)	11,4	10,7	11,4
		Longitud promedio de viaje (km)	6,0	6,1	6,0
	General de la red por tipo de vehículo	Tiempo promedio de viaje autos (min)	10,5	9,9	10,6
		Tiempo promedio de viaje motos (min)	10,6	10,0	10,6
		Tiempo promedio de viaje buses (min)	22,8	19,4	22,3
		Tiempo promedio de viaje camiones pequeños (min)	9,4	9,1	9,6
2032	General de la red para todos los vehículos	Kilómetros totales recorridos	228.625	250.949	232.840
		Velocidad media de viaje Red (km/h)	34,8	36,6	35,0
		Tiempo promedio de viaje Red (min)	12,3	11,3	12,0
		Longitud promedio de viaje (km)	6,0	6,1	6,0
	General de la red por tipo de vehículo	Tiempo promedio de viaje autos (min)	10,9	10,3	11,1
		Tiempo promedio de viaje motos (min)	11,0	10,6	11,1
		Tiempo promedio de viaje buses (min)	22,7	19,9	22,0
		Tiempo promedio de viaje camiones pequeños (min)	10,5	9,8	10,4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Resultados por corredor para modelo Par Vial Churchill y Lincoln

Corredor	Año 2027			Año 2032		
	E. BAU	E. REF	Par vial Churchill - Lincoln	E. BAU	E. REF	Par vial Churchill - Lincoln
Av. Núñez de Cáceres	5,0	5,1	5,0	5,3	5,2	5,9
Av. Independencia	25,5	27,7	22,2	23,7	21,2	26,0
Av. Lincoln	3,8	3,6	3,7	3,8	3,6	4,2
Av. Churchill	5,1	4,2	3,8	4,4	4,3	3,8
Av. Mejía Ricart	8,8	8,0	8,7	8,0	7,4	8,8
Av. Sarasota	6,0	5,0	5,0	5,1	5,1	5,0
Av. Simón Bolívar	15,5	20,1	17,8	23,8	19,7	18,4
Av. Máximo Gómez	12,5	9,1	8,8	8,6	8,6	10,0
Av. Rómulo Betancourt	4,0	3,8	3,5	3,8	3,8	3,6
Av. Lope de Vega	2,9	2,8	3,3	2,8	2,8	3,4
Av. Henríquez Ureña	7,9	6,7	5,9	8,2	7,6	6,7
Av. Correa y Cidrón	5,6	5,6	5,4	5,6	5,6	5,4
Av. Tiradentes	4,1	2,1	2,2	2,1	2,1	2,2
Av. Fernando Defilló	3,0	3,0	3,1	3,1	3,0	3,2

Fuente: Elaboración propia

De estos resultados se desprende que la implementación del par vial entre las avenidas Winston Churchill y Abraham Lincoln no genera un impacto significativo en los indicadores generales de la red en comparación con el escenario BAU. En términos de kilómetros recorridos, la variación es mínima, manteniéndose en valores similares al BAU y significativamente por debajo del escenario de referencia (EREF).

La velocidad media de la red y los tiempos de viaje promedio reflejan un comportamiento estable, sin mejoras notables respecto al BAU. En 2027, la velocidad media se mantiene en 36,8 km/h en ambos escenarios, mientras que en 2032 se observa un leve incremento con la modificación propuesta (35,0 km/h frente a 34,8 km/h en el BAU). Esto sugiere que la medida no introduce interrupciones en la circulación general de la red, pero tampoco genera mejoras sustanciales en la movilidad.

Analizando los tiempos de viaje por cada tipología vehicular, se observa que los autos y motos presentan tiempos similares entre el escenario del par vial y el BAU, mientras que en el caso de los buses y camiones pequeños, se observa una leve mejora en los tiempos de viaje en 2027 y 2032, aunque sin alcanzar los valores del escenario de referencia (EREF).

Para los buses, por ejemplo, el tiempo de viaje promedio en 2027 con el par vial es de 22,3 minutos, ligeramente inferior al BAU (22,8 minutos), pero por encima del Escenario de referencia (19,4 minutos). En 2032, la tendencia se mantiene con tiempos de 22,0 minutos en el escenario con modificación frente a 22,7 en el BAU. Esto indica que, si bien la medida no introduce desventajas para el transporte público, tampoco aporta mejoras considerables en su desempeño operativo.

En cuanto a los tiempos de viaje por corredor, se observa que el impacto del cambio de sentido en las avenidas Winston Churchill y Abraham Lincoln es moderado. En la Av. Lincoln, los tiempos de viaje presentan una ligera variación respecto al BAU, con un incremento mínimo en 2032 (4,2 minutos frente a 3,8 minutos en el BAU). Mientras que en la Av. Churchill, el cambio de sentido parece favorecer la circulación, reduciendo los tiempos de viaje en ambos años evaluados. En 2027, el tiempo de viaje en la Av. Churchill pasa de 5,1 minutos en el BAU a 3,8 minutos con la modificación, mientras que en 2032 la reducción es similar (4,4 minutos en el BAU frente a 3,8 minutos con la modificación).

El análisis realizado indica que la implementación del par vial entre las avenidas Winston Churchill y Abraham Lincoln, en el tramo evaluado, no produce mejoras significativas en la operación general de la red vial. Si bien se observan algunas reducciones puntuales en los tiempos de viaje, especialmente sobre la Av. Churchill, los indicadores globales de desempeño, como velocidad media, tiempos de viaje promedio y kilómetros recorridos, permanecen prácticamente sin cambios respecto al escenario BAU.

Además, las mejoras observadas en el transporte público y en ciertos corredores son marginales y no alcanzan los niveles del escenario de referencia. Esto sugiere que los beneficios operativos de la medida son limitados y no justifican, por sí solos, una intervención de esta magnitud.

Dado que la implementación del par vial implicaría intervenciones relevantes sobre la infraestructura existente, ajustes en la red semafórica y modificaciones en el trazado de rutas de transporte público, se considera que el esfuerzo y los recursos requeridos no se ven compensados por los beneficios obtenidos.

En este sentido, se concluye que la alternativa del par vial Churchill–Lincoln no representa una solución eficiente ni prioritaria para mejorar la movilidad en el área de estudio. Su posible implementación podría explorarse en el futuro como parte de un enfoque integral que contemple aspectos urbanos, de seguridad vial y de reordenamiento del espacio público, los cuales deberían ser evaluados mediante estudios específicos adicionales.

9 MODELO MICROSCÓPICO

Una vez evaluados los distintos escenarios de proyecto a nivel mesoscópico y seleccionado aquel con los mejores indicadores para la red, se vuelve esencial analizar los impactos que las medidas de priorización del transporte público tendrán sobre las intersecciones y vías.

Dado el nivel de detalle y las limitaciones inherentes a los modelos de simulación mesoscópica, surge la necesidad de realizar un análisis más detallado a escala microscópica, que permita observar los comportamientos individuales de los vehículos y sus interacciones.

En este sentido, se desarrollarán modelos de simulación microscópica para un área piloto previamente definida en conjunto con el comitente. Para ello, se aprovechará la capacidad del software TransModeler de Caliper Corp., de realizar simulaciones híbridas, que permiten analizar zonas específicas de un modelo de transporte a gran escala con mayor nivel de detalle, integrando enlaces (links) con comportamientos tanto mesoscópicos como microscópicos.

9.1 Elección del área de modelación

La elección del corredor de Núñez de Cáceres como área de análisis micro responde a varios factores clave en la dinámica de tráfico de Santo Domingo. Este corredor es una arteria vial central de la ciudad y, a su vez, un importante eje de transporte público organizado. La intención de priorizar el transporte público en el análisis hizo que este corredor fuera ideal, ya que cuenta con la operación de un sistema de transporte privado organizado y presenta una infraestructura con intervenciones mínimas que permitan darle prioridad al transporte colectivo.

Además, el corredor de Núñez de Cáceres destaca por su configuración de giros protegidos a la izquierda, lo cual permite planes semafóricos ajustados de acuerdo con la demanda del tráfico y un flujo relativamente eficiente en intersecciones clave. Estos planes de semáforos están diseñados para optimizar el tiempo de espera y el flujo de vehículos, alineándose adecuadamente con la propuesta de restricción de giros a la derecha, lo que refuerza el carácter prioritario del transporte público en esta vía principal.

Figura 51. Av. Núñez de Cáceres



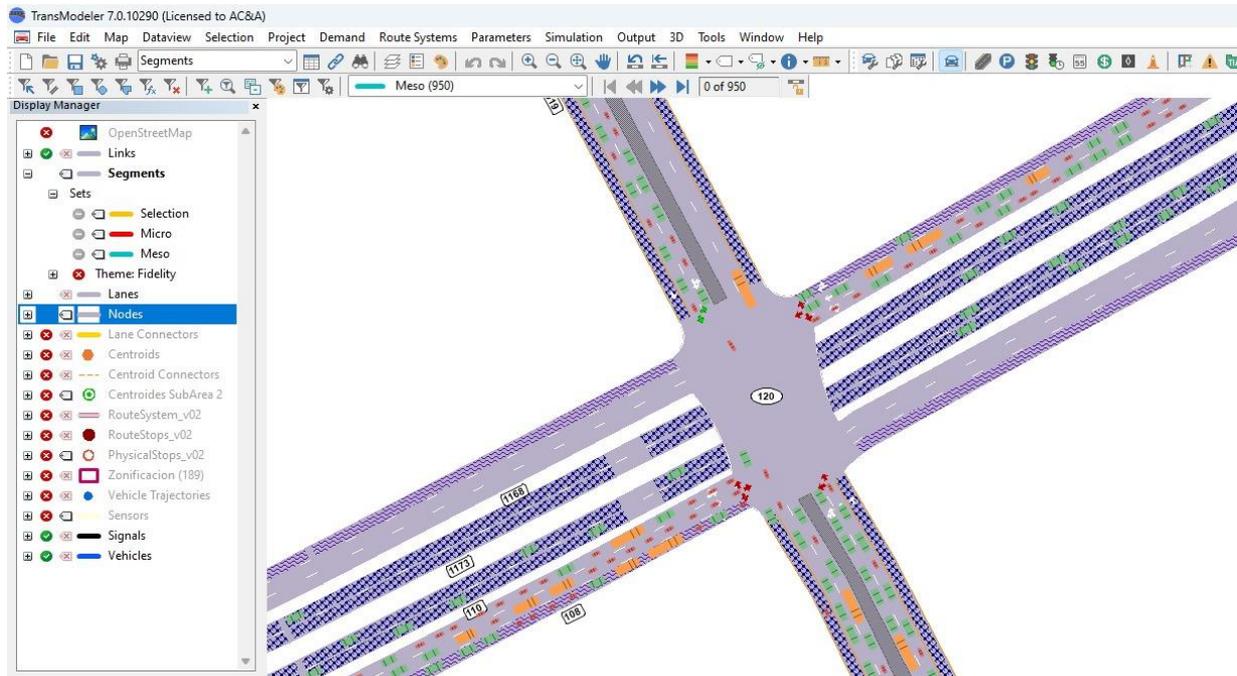
Fuente: Repositorio imágenes propias

9.2 Construcción del modelo Micro

Uno de los aspectos clave en la construcción del modelo microscópico fue el aprovechamiento de la herramienta de modelación híbrida de TransModeler, que permitió integrar niveles de detalle microscópico sobre los modelos mesoscópicos ya construidos. Este enfoque representó una ventaja significativa en comparación con la construcción tradicional de un modelo microscópico desde cero, ya que posibilitó un uso eficiente de los recursos, al tiempo que garantizó la coherencia entre los diferentes niveles de simulación.

La herramienta de modelación híbrida utiliza la propiedad llamada "fidelity" para definir el nivel de detalle con el que se simula cada enlace (link) dentro de la red. Esta propiedad determina si un link operará bajo un enfoque macroscópico, mesoscópico o microscópico en la simulación. En el caso del análisis detallado en el corredor de Núñez de Cáceres, se realizaron ajustes específicos en los links correspondientes para que su fidelidad pasara a modo Micro, permitiendo analizar con precisión las dinámicas de tráfico a nivel vehículo.

Figura 52. Creación de modelo Micro



Fuente: Modelo Micro AIPMUS 4.2

9.2.1 Calibración de los parámetros de comportamiento

Además de una red vial y archivos de entrada que detallan la demanda de tráfico, los sistemas de control de tráfico y los sistemas de tránsito, los modelos microscópicos de tránsito deben ser calibrados teniendo en cuenta diferentes parámetros del comportamiento individual de los vehículos, que permitan realizar una representación precisa de las dinámicas de tránsito. Estos parámetros, en gran medida, gobiernan el comportamiento del tráfico en la red.

En este sentido, un modelo de simulación de tráfico microscópico se podría definir como una colección de submodelos que simulan el comportamiento de los conductores y el desempeño de los vehículos. Los conductores toman decisiones sobre cambios de carril, aceptan brechas para realizar cambios o giros, y aceleran o desaceleran dentro de los límites de rendimiento de sus vehículos. Algunos de estos modelos se basan únicamente en reglas básicas de física y dinámica, mientras que otros implican procesos de comportamiento más complejos.

En TransModeler los parámetros de un modelo microscópico están asociados a parámetros generales del modelo, parámetros de comportamiento del conductor, respuesta a controles de tráfico, estacionamiento, bicicletas y motocicletas, y clasificación de vehículos y desempeño de los mismos. En la siguiente imagen se resumen los parámetros modificados para calibrar el modelo microscópico para la Avenida Núñez de Cáceres.

Figura 53. Parámetros de comportamiento modificados y calibrados

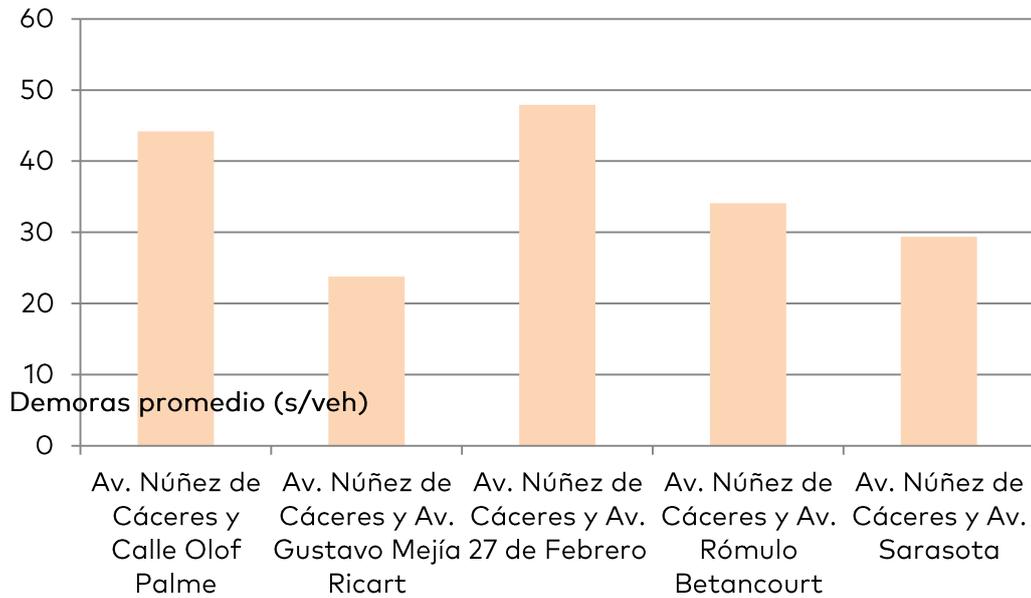
Group	Page	Name	Scope
Queue and Stop Definitions	Yes	Speed bounds for determining when a vehicle is, and is no longer, stopped	Project
Queue and Stop Definitions	Yes	Minimum number of vehicles for reporting queues	Project
Step Sizes	Yes	Step Sizes for Acceleration/Deceleration (in seconds)	Project
Stopped Gaps	Yes	Gaps Between Stopped Vehicles	Project
Stopped Gaps	Yes	Minimum Stopped Gap	Project
General	Yes	Portion of desired speed distribution designated slower-moving vehicles	Project
General	Yes	Reduced speed perceived when gaps between vehicles are less than	Project
General	Yes	Reduced speed perceived when speeds are less than	Project
Categories	Yes	Category Membership Probability by Class	Project
Model Selection	Yes	Choose a Car Following Model	Project
Wiedemann 74	Yes	Additive and Multiplicative Parameters	Project
Wiedemann 74	Yes	Driver-specific (Normally-distributed) Random Numbers	Project
Options	Yes	Minimum Time between Consecutive Discretionary Lane Changes	Project
Look Ahead	Yes	Response distance	Project
General	Yes	Minimum gap distance	Project
General	Yes	Minimum headway gap	Project
General	Yes	Minimum distance from stop bar to yield position for U-Turn	Project
General	Yes	Minimum distance from stop bar to yield position for Left/Right	Project
Compliance Rates	Yes	Compliance Rates	Project
Compliance Rates	Yes	Maximum distance to violate lane use rule	Project
Automation	No	Default	Project
Lateral Movement	Yes	Vehicles Allowed to Move Laterally within Lanes	Project
Stopped Gaps	Yes	Gaps between Stopped Vehicles	Project
Following Distance and Acceleration	Yes	Non-Motorized Vehicles and Following Distance	Project
Critical Distance	Yes	Non-Motorized Vehicles	Project
Step Size and Lane Distribution	Yes	Post-incident capacity restoration	Project
Step Size and Lane Distribution	Yes	Gap threshold	Project

Fuente: TransModeler

9.2.2 Resultados modelo base

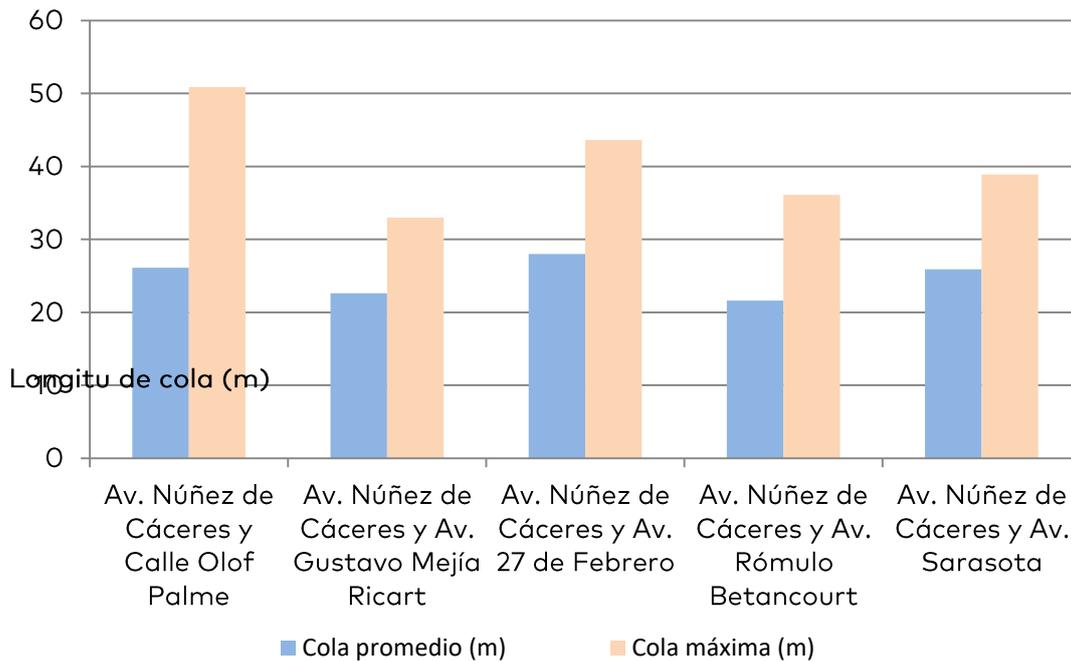
A continuación se presentan los resultados de la simulación del modelo base, en términos de tiempos de demoras promedio, longitud promedio de colas y niveles de servicio por intersección.

Figura 54. Demoras promedio por intersección – Escenario base



Fuente: Elaboración propia.

Figura 55. Longitud de cola promedio y máxima por intersección para el E. Base



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Niveles de servicio por intersección para E. Base

Intersección	LOS
Av. Núñez de Cáceres y Calle Olof Palme	D
Av. Núñez de Cáceres y Av. Gustavo Mejía Ricart	C
Av. Núñez de Cáceres y Av. 27 de Febrero	D
Av. Núñez de Cáceres y Av. Rómulo Betancourt	C
Av. Núñez de Cáceres y Av. Sarasota	C

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con estos resultados, en el escenario base las intersecciones con la Calle Olof Palme y la Av. 27 de Febrero presentan los mayores niveles de congestión, con demoras de 44,2 s/veh y 47,9 s/veh, respectivamente, clasificándose en nivel de servicio (LOS) D. Esta situación se refleja en la longitud de las colas, donde la intersección con Olof Palme registra un promedio de 26,1 metros y una máxima de 50,9 metros, mientras que la de 27 de Febrero alcanza una cola promedio de 28 metros y una máxima de 43,6 metros, evidenciando acumulación de vehículos y posible saturación en los ciclos semafóricos.

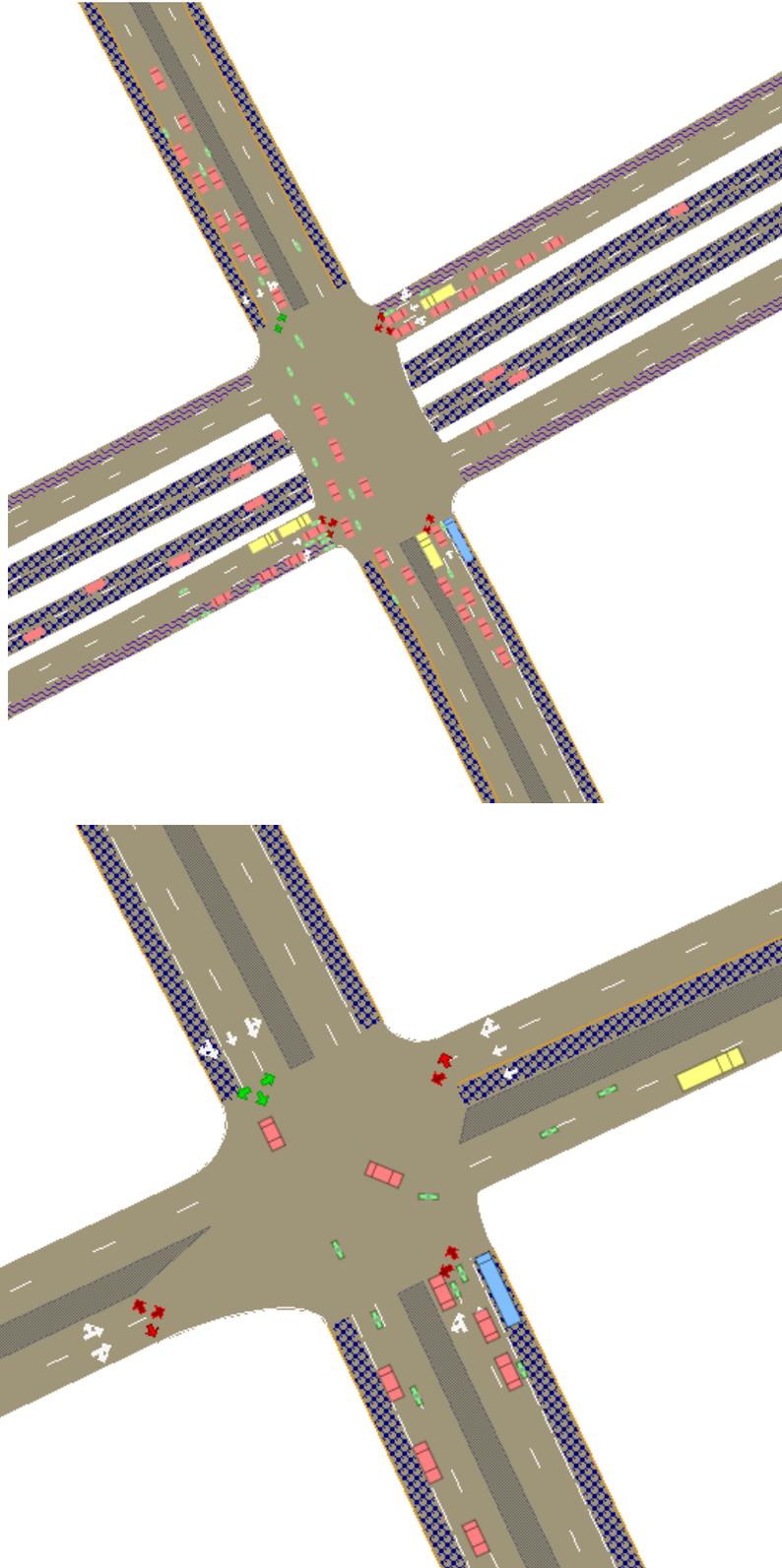
En contraste, las intersecciones con la Av. Gustavo Mejía Ricart, la Av. Rómulo Betancourt y la Av. Sarasota presentan un mejor desempeño, con LOS C y demoras menores. La intersección con Gustavo Mejía Ricart, que muestra la menor demora (23,8 s/veh), también refleja colas más reducidas, con un promedio de 22,6 metros y un máximo de 33 metros. Sin embargo, las intersecciones con Rómulo Betancourt y Sarasota, aunque con demoras moderadas (34,1 s/veh y 29,4 s/veh, respectivamente), presentan colas promedio de 21,6 y 25,9 metros, con valores máximos que pueden superar los 36 metros.

Estos resultados sirven como referencia para evaluar las medidas propuestas para el escenario seleccionado.

9.3 Modelo micro Escenario 1

A continuación, se detallan los resultados del análisis a nivel microscópico para el Escenario 1 en el corredor de Núñez de Cáceres, con un enfoque en los siguientes indicadores: demoras promedio por intersección, Nivel de Servicio (LOS, por sus siglas en inglés) y colas promedio. La selección de estos indicadores permite complementar la evaluación realizada mediante la simulación a nivel mesoscópica y proporcionar una comprensión detallada y específica del comportamiento del tráfico a nivel individual en este corredor. El análisis se realizará para el horizonte a 2027 y 2032.

Figura 56. Ejemplo simulaciones del Escenario 1 a nivel microscópico



Fuente: Elaboración propia en TransModeler

9.3.1 Demoras promedio por intersección

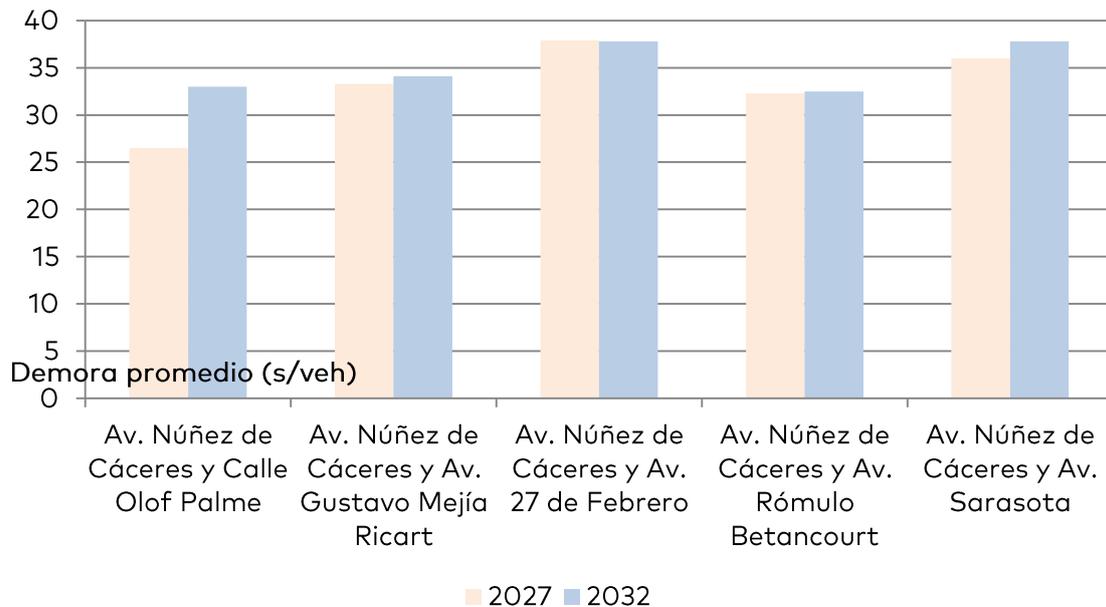
La siguiente tabla muestra los resultados de la demora promedio por vehículo en las intersecciones del corredor de Núñez de Cáceres, para el Escenario 1, tanto para el año 2027 como para el año 2032.

Tabla 12. Comparación de demoras por intersección para el corredor Núñez de Cáceres para los años 2027 y 2032.

Intersección	2027	2032
Av. Núñez de Cáceres y Calle Olof Palme	26,5	33
Av. Núñez de Cáceres y Av. Gustavo Mejía Ricart	33,3	34,1
Av. Núñez de Cáceres y Av. 27 de Febrero	37,9	37,8
Av. Núñez de Cáceres y Av. Rómulo Betancourt	32,3	32,5
Av. Núñez de Cáceres y Av. Sarasota	36	37,8

Fuente: Elaboración propia.

Figura 57. Comparación de demoras por intersección para el corredor Núñez de Cáceres para los años 2027 y 2032.



Fuente: Elaboración propia.

Observando los resultados de demoras promedio por intersección, se evidencia que el aumento general de las demoras se asocia al crecimiento de la demanda proyectada para 2032. Sin embargo, las demoras se mantienen dentro de rangos aceptables, lo que sugiere que las medidas de priorización del transporte público, como los carriles exclusivos de buses, contribuyen a mitigar significativamente los impactos del incremento de tráfico en estas intersecciones críticas.

El Anexo 6 muestra esquemáticamente las demoras promedio registradas en cada intersección, discriminadas por movimiento vehicular.

9.3.2 Longitud de colas

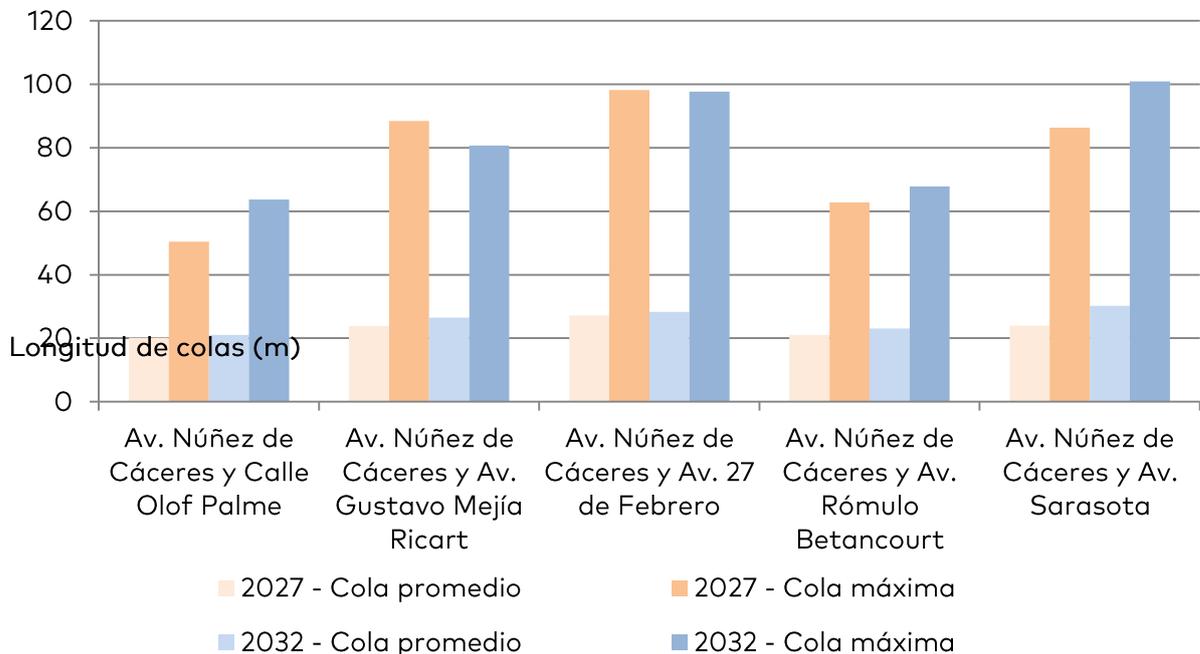
La siguiente tabla muestra los resultados de las longitudes de cola promedio y máxima en las intersecciones del corredor de Núñez de Cáceres, para el Escenario 1.

Tabla 13. Comparación de longitudes de cola promedio y máxima para el corredor Núñez de Cáceres para los años 2027 y 2032.

Intersección	2027		2032	
	Cola promedio	Cola máxima	Cola promedio	Cola máxima
Av. Núñez de Cáceres y Calle Olof Palme	20,1	50,4	21	63,7
Av. Núñez de Cáceres y Av. Gustavo Mejía Ricart	23,9	88,4	26,5	80,7
Av. Núñez de Cáceres y Av. 27 de Febrero	27,2	98,2	28,3	97,7
Av. Núñez de Cáceres y Av. Rómulo Betancourt	21	62,8	23,1	67,8
Av. Núñez de Cáceres y Av. Sarasota	24	86,3	30,2	100,9

Fuente: Elaboración propia.

Figura 58. Comparación de longitudes de cola promedio y máxima para el corredor Núñez de Cáceres para los años 2027 y 2032.



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta estos resultados, se evidencia que la implementación de carriles bus en el corredor de la Av. Núñez de Cáceres ayuda a controlar la formación de colas, especialmente en intersecciones críticas como las de la Av. 27 de Febrero y la Av. Rómulo Betancourt. Sin embargo, en ciertas intersecciones como la Av. Sarasota, los

incrementos en las colas máximas sugieren la necesidad de optimizar los tiempos de semáforos o explorar medidas complementarias para mejorar el flujo vehicular.

9.3.3 Nivel de servicio

A continuación se muestra comparativamente los niveles de servicio en las intersecciones del corredor de Núñez de Cáceres, para el Escenario 1, observándose que los niveles de servicio se mantuvieron en rangos aceptables en la mayoría de las intersecciones, a pesar del incremento en la demanda proyectada para 2032.

Tabla 14. Comparación de longitudes de cola promedio y máxima para el corredor Núñez de Cáceres para los años 2027 y 2032.

Intersección	2027	2032
Av. Núñez de Cáceres y Calle Olof Palme	C	C
Av. Núñez de Cáceres y Av. Gustavo Mejía Ricart	C	C
Av. Núñez de Cáceres y Av. 27 de Febrero	D	D
Av. Núñez de Cáceres y Av. Rómulo Betancourt	C	C
Av. Núñez de Cáceres y Av. Sarasota	C	D

Fuente: Elaboración propia

En términos generales, aunque el nivel de servicio se mantiene estable, el aumento en las demoras promedio por vehículo en todas las intersecciones evidencia una mayor saturación progresiva del corredor hacia 2032, particularmente en las intersecciones de la Av. Núñez de Cáceres con la Calle Olof Palme y con la Av. Gustavo Mejía Ricart.

Específicamente, la intersección de la Av. Núñez de Cáceres con la Av. Sarasota presentó un empeoramiento en su nivel de servicio, lo que indica la necesidad de ajustes operativos o infraestructura adicional para evitar congestión excesiva en el futuro.

9.3.4 Velocidades

A continuación, se presenta de forma esquemática la variación de la velocidad correspondiente al Escenario 1, a través de mapas del área microscópica de análisis. Estos mapas, obtenidos a partir de las simulaciones en TransModeler, muestran la variación espacial de las velocidades promedio durante la hora de modelación, tanto para el año 2027 como para el año 2032.

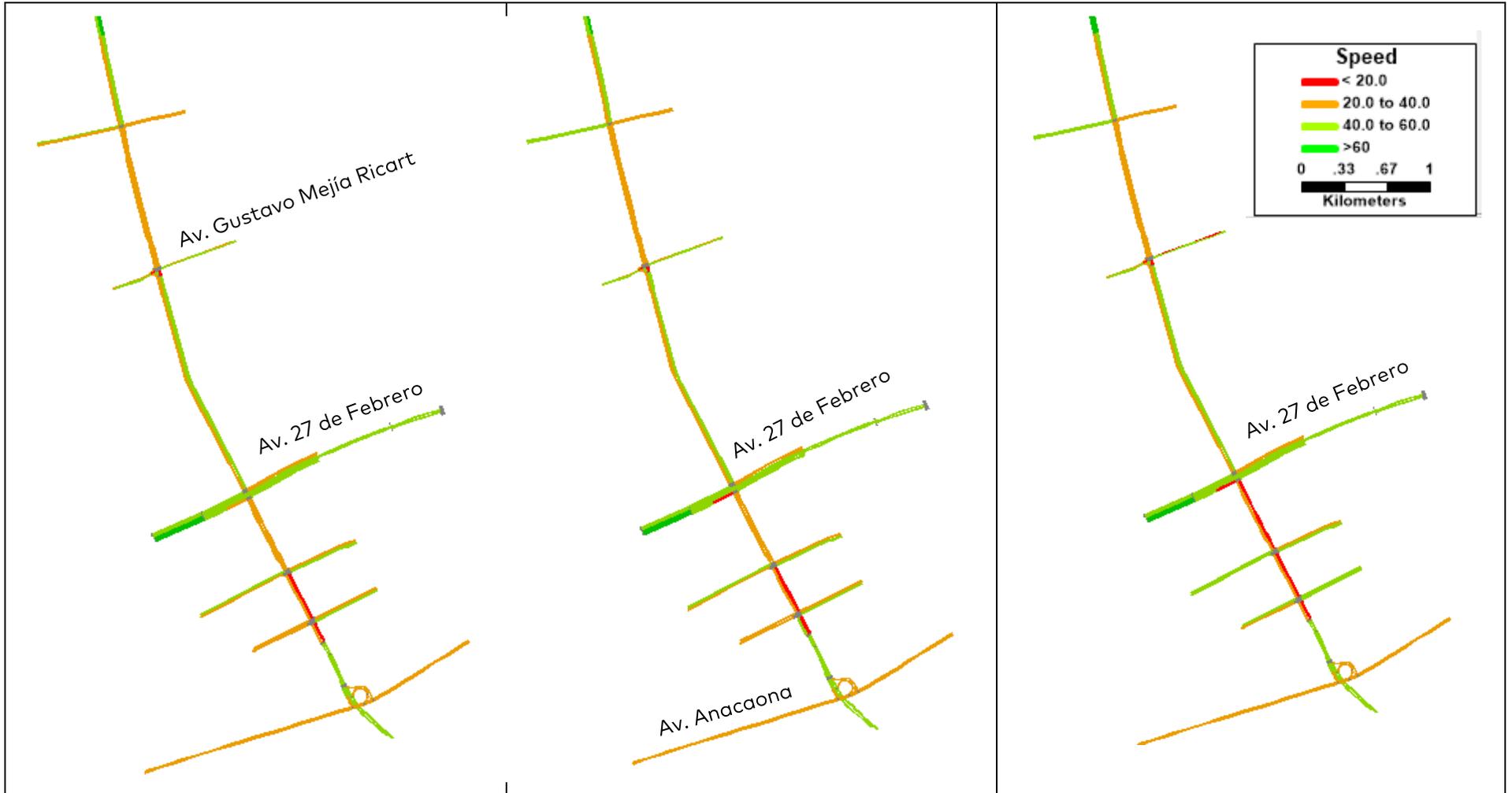
Como puede observarse en la figura 56, en 2027 la distribución de las velocidades en el área de estudio es heterogénea, aunque se pueden identificar zonas de congestión significativa, principalmente sobre el corredor de la Avenida Núñez de Cáceres entre la Avenida 27 de Febrero y la Avenida Sarasota.

Por su parte, en 2032 (figura 57), se evidencia una disminución generalizada de las velocidades en toda el área de estudio microscópica. No obstante, la zona al norte de la 27 de febrero mantiene un comportamiento relativamente estable, sin deterioro significativo de las condiciones de circulación.

Teniendo en cuenta estos resultados, la adopción del escenario 1 entre 2027 y 2032 implicaría una disminución generalizada de la velocidad en tramos claves del corredor de la Av. Núñez de Cáceres, lo que indica una pérdida de capacidad operativa ante el crecimiento proyectado de la demanda.

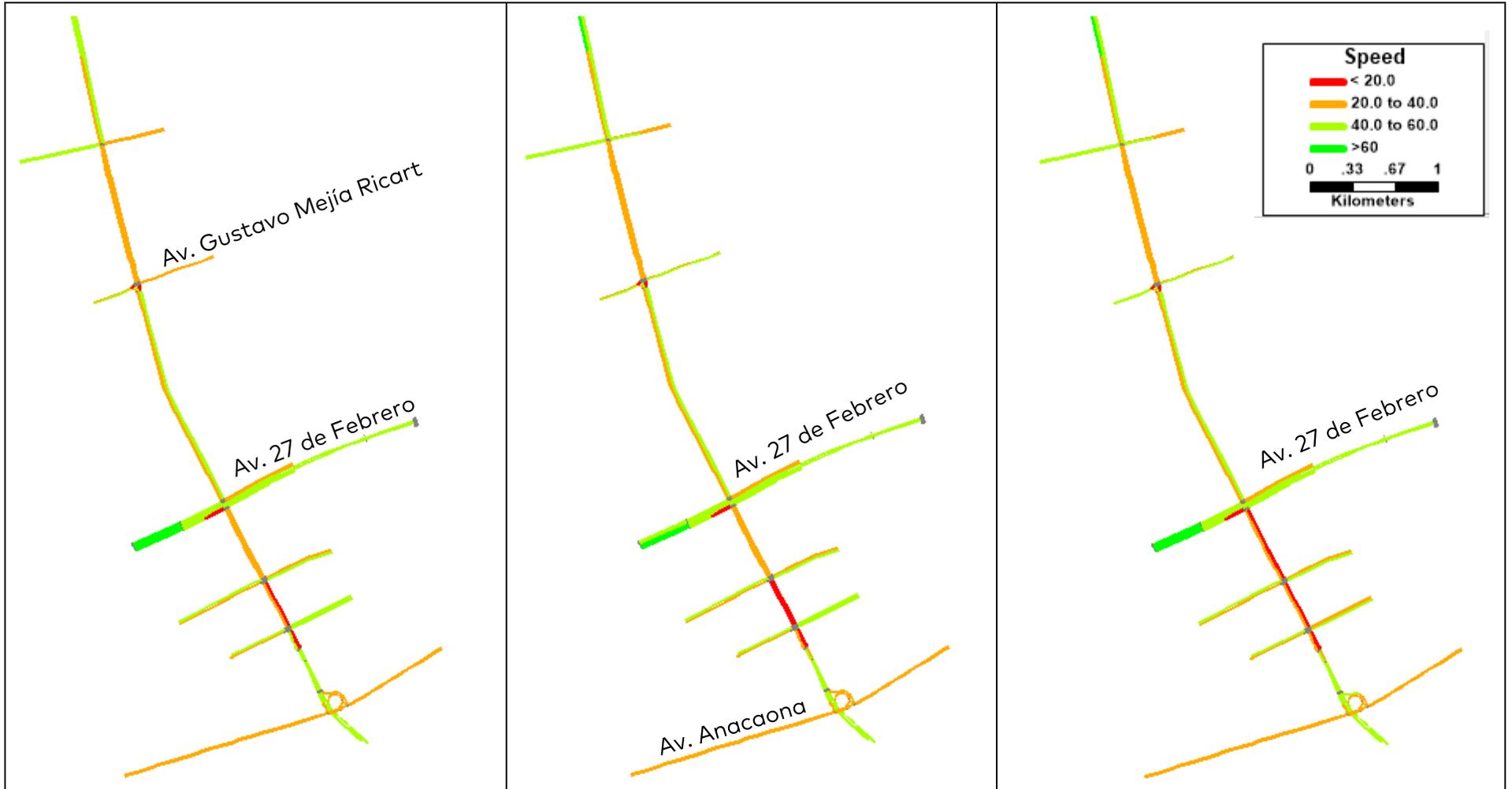
Para mitigar esta situación deberían explorarse medidas enfocadas en redistribuir la demanda, a través del fomento de un cambio modal hacia el transporte público y otros modos más sostenibles, la optimización de la gestión del tránsito y la aplicación de intervenciones puntuales de infraestructura, para mejorar la capacidad vial.

Figura 59. Variación de la velocidad durante la hora de modelación para el Escenario 1 en 2027



Fuente: Elaboración propia

Figura 60. Variación de la velocidad durante la hora de modelación para el Escenario 1 en 2032



Fuente: Elaboración propia

9.4 Medidas adicionales

En función de los resultados obtenidos de la modelación a nivel microscópica para el escenario 1, a continuación se describen algunas medidas complementarias para optimizar el desempeño de la red vial. Dichas medidas son:

- Optimización semafórica en función de la demanda: Ajustes dinámicos en los tiempos de semáforo según la demanda en horas pico podrían ayudar a mitigar el incremento de las demoras, especialmente en las intersecciones críticas.
- Evaluación de Capacidad: Considerar ampliaciones menores en la capacidad de ciertas intersecciones (como la de la Av. Sarasota) para mejorar la fluidez del tráfico.
- Monitoreo Continuo del Nivel de Servicio: Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para identificar rápidamente puntos donde el Nivel de Servicio comienza a deteriorarse y aplicar medidas correctivas inmediatas.
- Fomento del transporte público (trasferencia modal): Para que el impacto de los carriles exclusivos sea aún más significativo, se requiere una mejora constante en la calidad, frecuencia y cobertura del transporte público, incentivando a más usuarios a migrar del vehículo privado al transporte público.

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se desarrolló un modelo de simulación mesoscópica para la zona centro del Distrito Nacional de Santo Domingo, en la República Dominicana. El modelo fue construido y calibrado para representar la hora pico de la mañana, entre las 7:00 y las 8:00, correspondiente al año base 2024.

Con esta herramienta de simulación debidamente calibrada, fue posible modelar tres escenarios de intervención previamente acordados con el comitente, los cuales incorporan distintos cambios en la circulación del área de estudio. El Escenario 1 (E1) contempla la implementación de carriles exclusivos para buses con diversas configuraciones en varios corredores principales. El Escenario 2 (E2) propone la introducción de cinco pares viales, implicando cambios en los sentidos de circulación de múltiples avenidas. Finalmente, el Escenario 3 (E3) combina las medidas propuestas en los escenarios anteriores, es decir, carriles exclusivos para buses y la reconfiguración de pares viales.

Todos los escenarios fueron evaluados a partir de un escenario de referencia (E Ref.) que contempla tres medidas generales: la restricción del estacionamiento en vía, la optimización de los ciclos semafóricos y la limitación de circulación para vehículos pesados.

Al comparar los resultados de los tres escenarios frente al escenario de referencia y al escenario tendencial (BAU), se concluye que el Escenario 1 presenta el mejor desempeño global. Este escenario logra mejoras significativas en los indicadores de velocidad y tiempo de viaje, tanto para el transporte privado como para el transporte público, lo que sugiere que sus intervenciones permiten alcanzar una red más eficiente en comparación con los otros dos escenarios analizados.

Adicionalmente y por pedido explícito del INTRANS, se desarrolló un análisis particular del par vial Churchill y Lincoln a nivel mesoscópico. Los resultados de este modelo indican que la medida no genera mejoras significativas en los indicadores globales de desempeño de la red vial respecto al escenario tendencial (BAU). Si bien se registran algunas reducciones puntuales en los tiempos de viaje, particularmente sobre la Av. Churchill, la velocidad media, los tiempos de viaje promedio y los kilómetros recorridos se mantienen prácticamente inalterados. Las mejoras observadas para el transporte público y ciertos tipos de vehículos son marginales y no alcanzan los niveles del escenario de referencia.

Dado que esta intervención requeriría modificaciones importantes en la infraestructura, la red semafórica y el trazado de rutas de transporte público, los beneficios operativos obtenidos no justifican el esfuerzo y los recursos necesarios para su implementación. Por tanto, la alternativa del par vial Churchill-Lincoln no se presenta como una solución prioritaria ni eficiente para mejorar la movilidad en el área de estudio, aunque podría considerarse a futuro en el marco de una estrategia

urbana más amplia que contemple aspectos de ordenamiento, seguridad vial y calidad del espacio público.

Por último, se realizó un análisis a nivel microscópico de un área piloto de la zona de estudio, para evaluar el comportamiento detallado de los vehículos con la implementación del escenario seleccionado. El área piloto corresponde al corredor de la Av. Núñez de Cáceres entre la Av. John F. Kennedy y la Av. Sarasota.

El análisis microscópico del Escenario 1 para el corredor de la Av. Núñez de Cáceres muestra que, aunque las demoras promedio por intersección y las longitudes de cola aumentan hacia el año 2032, estos valores se mantienen dentro de rangos aceptables, reflejando un desempeño adecuado de la red ante el crecimiento proyectado de la demanda. En este sentido, la implementación de carriles bus resulta positiva, ayudando a controlar la formación de colas y a mantener niveles de servicio estables en la mayoría de las intersecciones. Sin embargo, se identifican puntos críticos como la Av. Sarasota, donde las colas máximas y el nivel de servicio evidencian una tendencia al deterioro, sugiriendo la necesidad de ajustes operativos o medidas complementarias.

En cuanto al análisis de velocidades, se evidencia una disminución generalizada en los tramos más congestionados del corredor, especialmente entre las avenidas 27 de Febrero y Sarasota, lo cual indica una pérdida progresiva de capacidad operativa. Este comportamiento resalta la importancia de complementar la iniciativa de priorización del transporte público con estrategias que redistribuyan la demanda vehicular, como la promoción del transporte público y modos sostenibles, junto con acciones puntuales de mejora en la infraestructura y la gestión del tránsito.

Finalmente, cabe resaltar que la adopción de todas las medidas acá propuestas requiere un esquema de fiscalización riguroso, que incluya el uso de tecnologías de monitoreo, como cámaras de control de carriles exclusivos y detección de infracciones. Asimismo, se recomienda desarrollar campañas de sensibilización ciudadana y generar consensos institucionales que respalden la implementación sostenida de las intervenciones, garantizando su efectividad y continuidad en el tiempo.

11 ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS BRT Y CARRILES EXCLUSIVOS Y BENCHMARKING DE SISTEMAS EXISTENTES

Los carriles de los sistemas de BRT estándar poseen al menos 3,5 m de ancho, en tanto que las estaciones o paradores suelen disponerse de anchos comprendidos entre 2,5 y 5 metros de ancho. Respecto a la longitud de los paradores puede extenderse a lo largo de una cuadra de la vía o ser menor, en función de la cantidad de recorridos circulantes por la traza.

En tanto que, las vías con carriles exclusivos para buses (busway) estándares con un carril único por dirección requieren de 10 a 13 m de ancho de vía total para poder emplazarse, en tanto que los servicios tipo expreso, es decir con carril de sobrepaso, pueden requerir hasta 20 m de ancho.

En cuanto a las características operacionales, dependen de la estructura de negocios que utilice, existiendo dos tipologías de sistemas: abiertos, donde se permite que cualquier operador ingrese en los carriles de buses (por ejemplo los Metrobuses de Buenos Aires), o cerrados, como el de Bogotá y el de Curitiba, en los que los corredores están limitados a un grupo prescrito de operadores y un número restringido de vehículos. Según estadísticas de la Guía de Planificación de Sistemas BRT desarrollada por el ITDP, al año 2010 "la mayoría de los sistemas tipo abierto han tenido una calidad inferior que la de sistemas cerrados y han tendido a tener problemas de congestión del carril, particularmente en las estaciones y las intersecciones."

La capacidad y la velocidad de los sistemas tipo BRT suelen distinguir a estos sistemas respecto de los buses convencionales. La capacidad depende, entre otros factores, de la cantidad de unidades con su frecuencia, la posibilidad de sobrepaso, el tipo y distancia de paradores, y del tipo de unidades, pudiendo ser con buses convencionales, articulados o biarticulados. Según el sitio web BRT Data, en el mundo actualmente existen sistemas BRT en 191 ciudades alrededor del mundo, siendo el de mayor capacidad TransMilenio de Bogotá con 49.000 pasajeros por hora por sentido⁹, en tanto que los buses convencionales poseen aproximadamente 13.000 pasajeros por hora por sentido¹⁰. Generalmente los cuellos de botella de estos sistemas suelen ser las longitudes de paradores y las intersecciones y coordinaciones semafóricas.

Las velocidades comerciales, los BRTs, dependiendo de su ubicación pueden variar entre 23 a 30 km/h.

⁹ Fuente: https://brtdata.org/location/latin_america/colombia/bogota (link vigente a Enero de 2025).

¹⁰ Fuente: ITDP (2010). Guía de Planificación de Sistemas BRT.

Respecto a la ubicación de las estaciones, experiencias internacionales muestran que las localizadas cerca de las intersecciones pueden ser más convenientes algunas veces para los pasajeros, mientras que construirlas en medio de la cuadra permite efectuar giros a la izquierda un giro en la intersección.

Los accesos peatonales deben contemplar factores de diseño como por ejemplo ser directos y tener conectividad, estética, facilidad de movimiento, legibilidad, seguridad personal y seguridad vial. Las zonas únicamente para peatones, el espacio compartido y los caminos cubiertos son algunas de las soluciones de diseño que pueden motivar un vínculo fuerte entre una comunidad y el servicio de BRT. Según distintas experiencias internacionales, los usuarios prefieren cruces seguros a nivel en lugar de puentes peatonales y túneles, aunque los últimos también pueden ser efectivos si se diseñan de manera apropiada. Las estaciones pueden ser cerradas o semiabiertas, para proteger a los usuarios del sol y condiciones climáticas adversas, así como también es clave disponer de iluminación en los paradores.

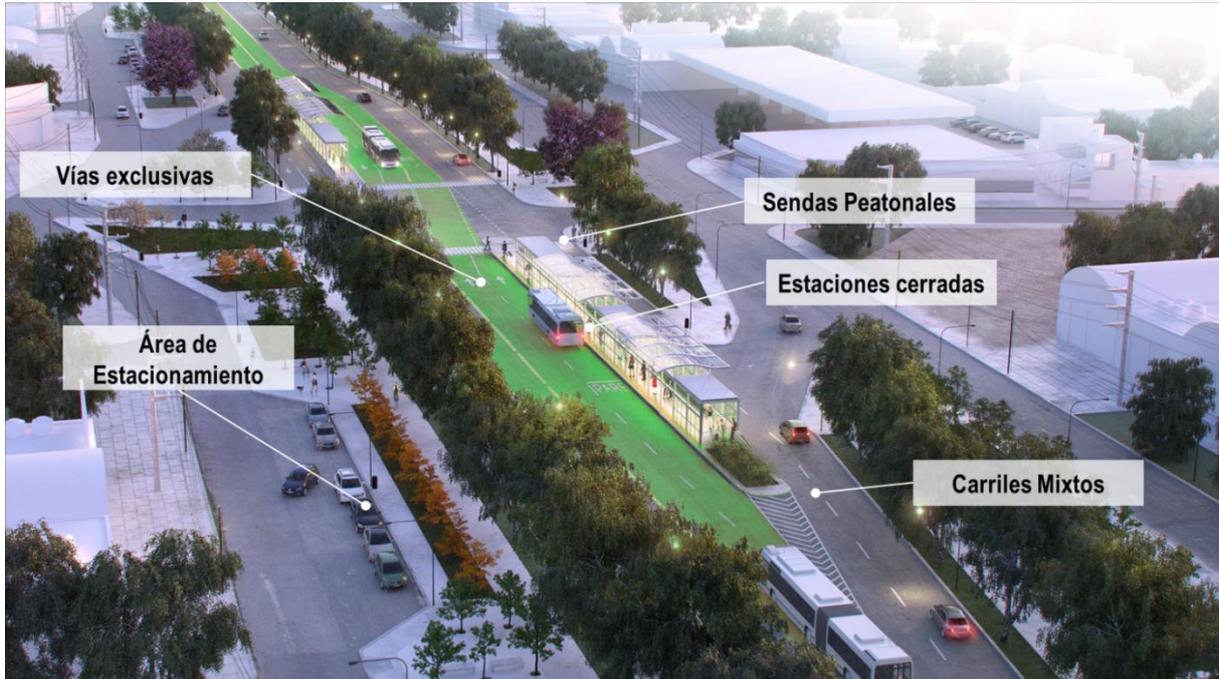
Figura 61. Tipología de estación cerrada (Transmilenio, Bogotá, Colombia) y semiabierta (BRT Max, Colorado, EEUU).



Fuente: ITDP.

A continuación se muestra un esquema funcional de un tramo de un BRT distinguiendo los tipos de carriles exclusivos de los de tránsito mixto, la tipología de estación y otras medidas funcionales del entorno.

Figura 62. Esquema funcional de BRT



Fuente: Elaboración propia para BRT Juan Manuel de Rosas (RN3) La Matanza, Buenos Aires, Argentina.

Es importante que en el diseño de los corredores de BRT se disponga de señalización clara en donde se indiquen la ubicación de las paradas por línea dentro de cada estación y la localización de los siguientes paradores de la traza del BRT o carril exclusivo. A su vez, se resulta conveniente disponer de carteles de leyenda variable que comuniquen a los usuarios el tiempo estimado de llegada de los próximos servicios. Es primordial que las estaciones cuenten con información en braille y de baldosas podotáctiles personas visión reducida y rampas para el acceso de personas con movilidad reducida. Adicionalmente, se recomienda que las estaciones dispongan de asientos que permitan a los usuarios esperar hasta que lleguen las unidades. Se recomienda que las estaciones posean puestos de autoconsulta, es decir de un sistema con monitor donde el usuario pueda efectuar consultas y que tengan respuesta automatizada, de forma de poder orientarlo.

La información a los usuarios en las unidades también se debe tener en cuenta. En general, los sistemas de BRT suelen contar con receptor GPS y un equipo de cartelera digital que se comunica con el sistema central permitiendo interactuar con el mismo de manera integrada. De esta forma, se le puede informar a los usuarios cuáles serán las siguientes estaciones y en cuánto tiempo se estima el arribo a cada una, así como también indicar cuáles son las estaciones de integración con otros modos.

Figura 63. Esquema de señalización en estaciones y en los buses.



Fuente: <http://www.coroflot.com/>

La integración modal con el metro, los teleféricos y bicicletas también es un factor clave, se considera que los sistemas BRT no terminan en las puertas de entrada o salida de la estación, sino que más bien incluyen el área completa de captura de clientes. Si los usuarios no pueden llegar a una estación de manera cómoda y segura, dejarán de ser usuarios.

En especial integrar el sistema BRT con el uso de bicicletas puede incrementar significativamente el área de captación de usuarios y el área de cobertura de la red. Permitir que las bicicletas entren en las unidades de los BRTs permite que el usuario pueda usar la bicicleta como servicio de alimentación en ambos lados del viaje. Otra alternativa es proporcionar estacionamientos para bicicletas seguros en las estaciones o en sus entornos próximos, lo cual da confianza para acceder a este tipo de transporte.

Figura 64. Área de cobertura teórica del transporte público, para usuarios de la bicicleta y a pie.



Fuente: Banco Mundial. Propuesta y recomendaciones para la formulación de una estrategia para la Bicicleta en Lima Metropolitana.

Caber destacar que la incorporación de los carriles bus o los BRT no sólo considera la infraestructura del transporte público, sino también mejoras en el entorno próximo, tales como mejorar las aceras y la generación cruces peatonales seguros, incrementar la iluminación y aumentar la cantidad de espacios verdes, entre otras medidas.

Por último, a continuación se muestran distintas tipologías de sistemas BRT o de carriles bus en aplicados en diferentes países del mundo.

Figura 65. Sistema de la Línea Ecovía en Quito estación central y unidades con puertas duales y sin carril de sobrepaso.



Fuente: ITDP (2010). Guía de Planificación de Sistemas BRT.

Figura 66. Sistema con estaciones escalonadas y sin carril de sobrepaso.



Fuente: Secretaría de Transporte de Argentina. Metrobús de Neuquén.

Figura 67. Sistema con estaciones escalonadas y con carril de sobrepaso.



Fuente: Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Metrobús Norte, Buenos Aires Argentina.

Figura 68. Carril bus en Hangzhou, China.

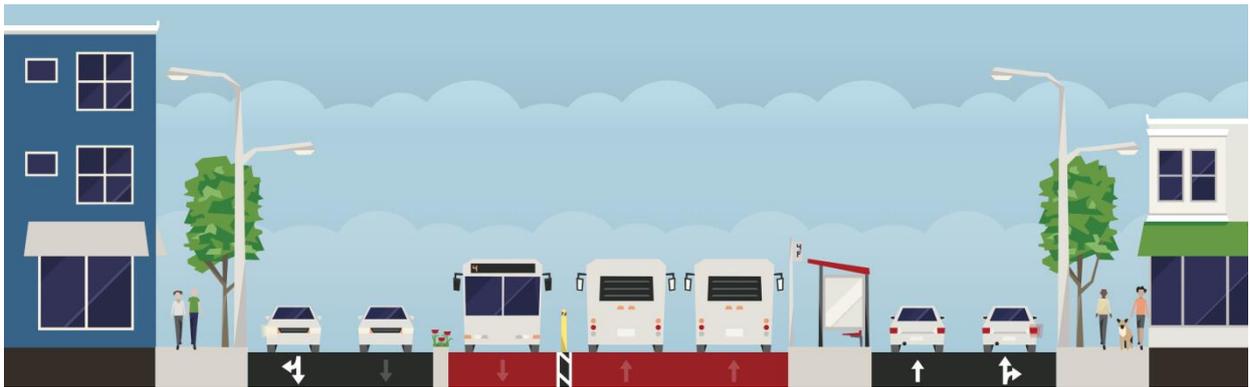


Fuente: ITDP (2010). Guía de Planificación de Sistemas BRT.

12 ANEXO 2: VÍAS CON BRT O CARRILES PREFERENCIALES PARA TRANSPORTE PÚBLICO

A continuación se muestran cortes transversales conceptuales para las vías con transporte público segregado pertenecientes al Escenario 1.

Figura 69. Corte trasversal propuesto para la Av. Abraham Lincoln con estaciones escalonadas y con carril de sobrepaso



Fuente: Elaboración propia con la plataforma Steet Mix.

Figura 70. Corte trasversal propuesto para la Av. Winston Churchill con buses de acceso dual.



Fuente: Elaboración propia con la plataforma Steet Mix.

Figura 71. Corte trasversal propuesto para la Av. Rómulo Betancourt



Fuente: Elaboración propia con la plataforma Steet Mix.

Figura 72. Corte transversal propuesto para la Av. Sarasota entre Av. Núñez de Cáceres y Av. Jiménez Moya



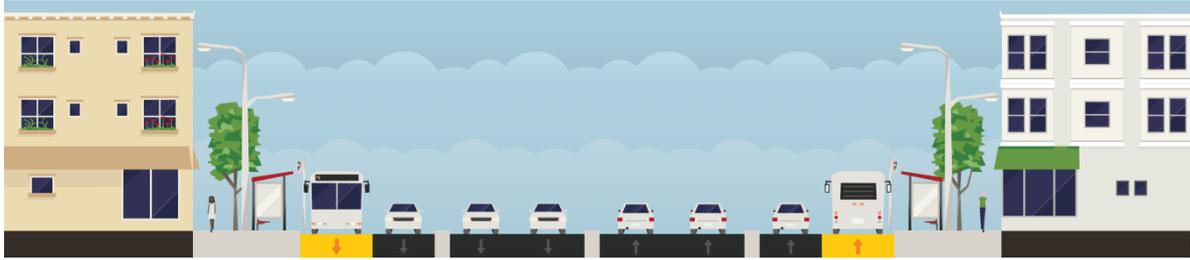
Fuente: Elaboración propia con la plataforma Steet Mix.

Figura 73. Corte transversal propuesto para la Av. John F. Kennedy



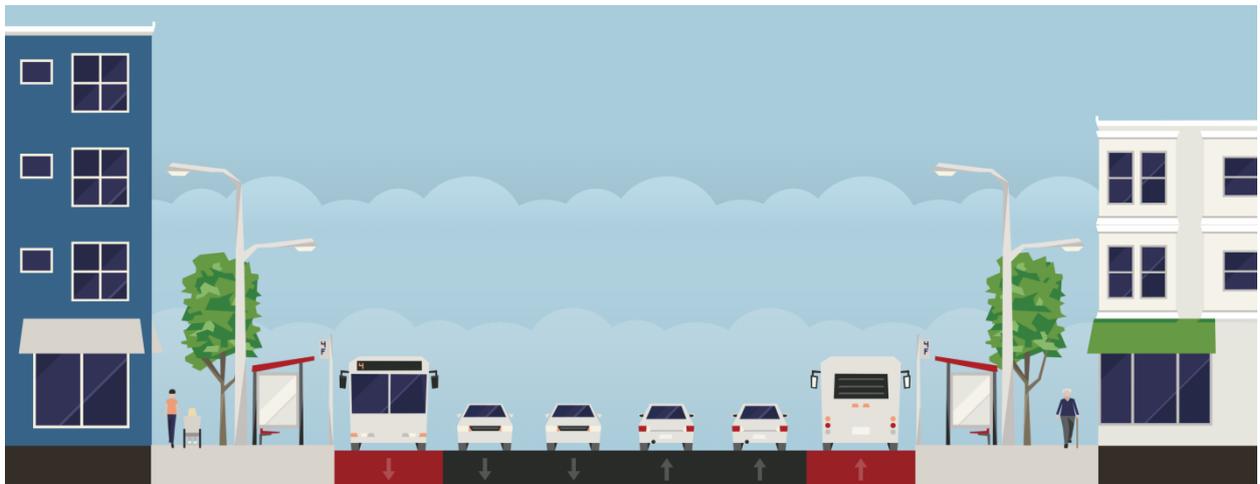
Fuente: Elaboración propia con la plataforma Steet Mix.

Figura 74. Corte trasversal propuesto para la Av. 27 de Febrero entre Av. Luperón y el Río Ozama



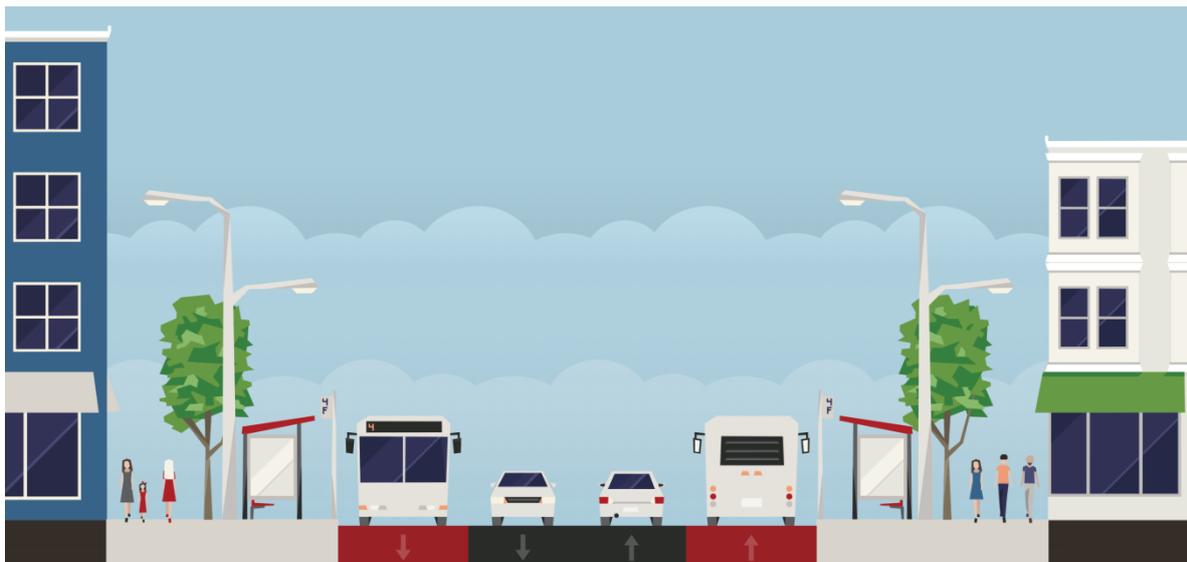
Fuente: Elaboración propia con la plataforma Steet Mix.

Figura 75. Corte trasversal propuesto para la Av. Núñez de Cáceres entre Av. Kennedy y Av. Sarasota



Fuente: Elaboración propia con la plataforma Steet Mix.

Figura 76. Corte trasversal propuesto para la Av. Independencia entre Av. Núñez de Cáceres y Av. Italia



Fuente: Elaboración propia con la plataforma Steet Mix.

Figura 77. Corte trasversal propuesto para la Av. Independencia entre Av. Italia y Av. Lincoln



Fuente: Elaboración propia con la plataforma Steet Mix.

Figura 78. Corte trasversal propuesto para la Av. Pedro Henríquez Ureña entre av. Lincoln y Av. México



Fuente: Elaboración propia con la plataforma Steet Mix.

Figura 79. Corte trasversal propuesto para la Av. Correa y Cidrón entre Av. Máximo Gómez y Av. Italia



Fuente: Elaboración propia con la plataforma Steet Mix.

13 ANEXO 3: COMPARATIVA CICLOS SEMAFÓRICOS ENTRE ESCENARIOS BAU Y DE REFERENCIA

A continuación se detallan las variaciones de los ciclos semafóricos para el área de estudio en el período de 7 a 8 am.

Tabla 15. Comparativa de ciclos semafóricos entre los escenarios BAU y de referencia

Intersección	Ciclo BAU	Ciclo de referencia
Autopista Duarte - Av. Monumental	92	110
Av. 27 de febrero - Av. 30 de marzo	105	120
Av. 27 de febrero - Av. Abraham Lincoln	150	120
Av. 27 de febrero - Av. Dr. Delgado	105	120
Av. 27 de febrero - Av. Leopoldo Navarro	100	120
Av. 27 de febrero - Av. Máximo Gómez	150	120
Av. 27 de Febrero - Av. Núñez de Cáceres	150	120
Av. 27 de febrero - Av. Privada	130	120
Av. 27 de febrero - Av. Tiradentes	150	120
Av. 27 de Febrero - Av. Winston Churchill	160	120
Av. 27 de febrero - C/ Barahona	60	120
Av. 27 de Febrero - C/ Dr. Defilló	150	120
Av. Abraham Lincoln - Av. Correa y Cidron	80	120
Av. Abraham Lincoln - Av. George Washington	130	120
Av. Abraham Lincoln - Av. Gustavo Mejía Ricart	150	120
Av. Abraham Lincoln - Av. Independencia	80	120
Av. Abraham Lincoln - Av. José Contreras	140	120
Av. Abraham Lincoln - Av. Pedro Henríquez Ureña	150	120
Av. Abraham Lincoln - Av. Roberto Pastoriza	150	120
Av. Abraham Lincoln - Av. Sarasota	150	120
Av. Abraham Lincoln - Av. Simón Bolívar	150	120
Av. Alma Mater - Av. José Andrés Aybar Castellano	150	120
Av. Alma Mater - Av. José Contreras	100	120
Av. Alma Mater - Av. Pedro Henríquez Ureña	150	120
Av. Alma Mater - Av. Simón Bolívar	100	120
Av. Anacaona - Av. Italia	120	120

Intersección	Ciclo BAU	Ciclo de referencia
Av. Anacaona - Av. Privada	80	120
Av. Correa y Cidron - Av. Italia	120	120
Av. De Los Próceres y Av. Cnel. Juan María Lora Fernández	120	110
Av. Francisco Caamaño Deño - Puente Flotante	111	120
Av. George Washington - Av. Máximo Gómez	120	120
Av. Gregorio Luperón - Av. Cayetano Germosén	90	120
Av. Gregorio Luperón - Av. Enriquillo	140	120
Av. Gregorio Luperón - Av. Gustavo Mejía Ricart	130	120
Av. Gregorio Luperón - Av. Independencia	130	120
Av. Gregorio Luperón - Av. Rómulo Betancourt	140	120
Av. Gustavo Mejía Ricart - C/ Dr. Defilló	100	120
Av. Independencia - Av. Dr. Delgado	90	120
Av. Independencia - Av. Italia	120	120
Av. Jiménez Moya - Av. Correa y Cidron	110	120
Av. Jiménez Moya - Av. Independencia	110	120
Av. Jiménez Moya - Av. José Contreras	110	120
Av. Jiménez Moya - Av. Rómulo Betancourt	120	120
Av. Jiménez Moya - Av. Sarasota	120	120
Av. John F. Kennedy - Av. Abraham Lincoln	170	120
Av. John F. Kennedy - Av. Dr. Defilló	126	120
Av. John F. Kennedy - Av. Lope de Vega	121	120
Av. John F. Kennedy - Av. Máximo Gómez	150	120
Av. John F. Kennedy - Av. Núñez de Cáceres	130	120
Av. John F. Kennedy - Av. Ortega & Gasset	150	120
Av. John F. Kennedy - Av. Tiradentes	120	120
Av. José Contreras - Av. Italia	120	120
Av. Lope de Vega - Av. Gustavo Mejía Ricart	100	120
Av. Lope de Vega - Av. Roberto Pastoriza	150	120
Av. Máximo Gómez - Av. Independencia	120	120
Av. Máximo Gómez - Av. José Contreras	133	120
Av. Máximo Gómez - Av. México	133	120

Intersección	Ciclo BAU	Ciclo de referencia
Av. Máximo Gómez - Av. Pedro Henríquez Ureña	133	120
Av. Máximo Gómez - Av. Simón Bolívar	133	120
Av. México - Av. 30 de marzo	130	120
Av. México - Av. Dr. Delgados	100	120
Av. México - Av. Juan Pablo Duarte	90	120
Av. México - Av. Leopoldo Navarro	100	120
Av. Núñez de Cáceres - Av. Gustavo Mejía Ricart	110	120
Av. Núñez de Cáceres - Av. Rómulo Betancourt	120	120
Av. Núñez de Cáceres - Av. Sarasota	120	120
Av. Ortega & Gasset - Av. Gustavo Mejía Ricart	110	120
Av. Pedro Henríquez Ureña - Av. Leopoldo Navarro	100	120
Av. Privada - Av. Enriquillo	110	120
Av. Rep. de Colombia - Av. Monumental	105	110
Av. Rep. de Colombia - Av. Pres. Jacobo Majluta Azar	152	110
Av. Rómulo Betancourt - Av. Dr. Defilló	120	120
Av. Rómulo Betancourt - Av. Privada	130	120
Av. Sarasota - Av. Dr. Defilló	120	120
Av. Sarasota - C/ Pedro Bobea	120	120
Av. Simón Bolívar - Av. Dr. Delgado	60	120
Av. Tiradentes - Av. Gustavo Mejía Ricart	100	120
Av. Tiradentes - Av. Roberto Pastoriza	150	120
Av. Winston Churchill - Av. Gustavo Mejía Ricart	150	120
Av. Winston Churchill - Av. Roberto Pastoriza	150	120

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la CCT

14 ANEXO 5: VALIDACIÓN TIEMPOS DE VIAJE MODELO BASE

Vía	Tramo	Coordenadas Origen	Coordenadas destino	Distancia	Tiempo API (s)	Velocidad API	Tiempo modelo (s)	MAPE
Rómulo Betancourt	Jiménez Moya -Guzmán Fernández	18.460290, -69.934149	18.447965, -69.960986	3153	415	27,35	330,00	0,2048
	Guzmán Fernández - Jiménez Moya	18.447856, -69.960941	18.460237, -69.934021	3162	718	15,85	732,00	0,0195
30 de mayo	Luperón - Núñez de Cáceres	18.424195, -69.988754	18.434929, -69.944588	4850	311	56,14	312,00	0,0032
	Núñez de Cáceres - Luperón	18.435484, -69.943545	18.424307, -69.988727	4966	300	59,59	306,00	0,0200
	Núñez de Cáceres - Máximo Gómez	18.434995, -69.944442	18.458674, -69.907128	4920	1301	13,61	1008,00	0,2252
	Máximo Gómez - Núñez de Cáceres	18.458731, -69.907168	18.435121, -69.944480	4919	475	37,28	348,00	0,2674
José Tapia Brea	Pastoriza - Mejía Ricart	18.462133, -69.945797	18.468484, -69.947957	746	151	17,79	108,00	0,2848
Av. Sarasota	Núñez de Cáceres - Lincoln	18.449163, -69.951309	18.460901, -69.927807	2814	623	16,26	444,00	0,2873
	Lincoln - Núñez de Cáceres	18.461022, -69.927861	18.449275, -69.951375	2817	548	18,51	384,00	0,2993
Mejía Ricart	Núñez de Cáceres - Lope de Vega	18.464762, -69.958601	18.475466, -69.931512	3129	729	15,45	588,00	0,1934
Defilló	Mejía Ricart - Sarasota	18.467218, -69.951366	18.452084, -69.945510	1793	525	12,29	408,00	0,2229
Kennedy	Antes Defilló - después Lincoln	18.480884, -69.957924	18.483754, -69.937123	2258	932	8,72	858,00	0,0794
	Antes Lincoln - después Defilló	18.483297, -69.934906	18.481040, -69.958076	2512	184	49,15	222,00	0,2065
Tiradentes	Kennedy - Pastoriza	18.482552, -69.929076	18.470723, -69.924875	1390	241	20,76	174,00	0,2780
	Pastoriza - Kennedy	18.470756, -69.924794	18.482528, -69.929002	1384	249	20,01	198,00	0,2048
Lincoln	27 de febrero - Kennedy	18.465740, -69.930292	18.483994, -69.940467	2296	441	18,74	354,00	0,1973
	Kennedy - 27 de Febrero	18.483967, -69.940612	18.465681, -69.930416	2300	505	16,40	528,00	0,0455
Máximo Gómez	Washington - Kennedy	18.458952, -69.906892	18.481731, -69.914150	2670	824	11,67	984,00	0,1942
	Kennedy - Washington	18.481799, -69.914291	18.458873, -69.907004	2686	645	14,99	438,00	0,3209
Núñez de Cáceres	Kennedy - 27 de Febrero	18.479821, -69.962545	18.454879, -69.954671	2910	690	15,18	486,00	0,2957
Dr. Delgado	San Martín - Independencia	18.479724, -69.900953	18.467041, -69.895347	1543	393	14,13	300,00	0,2366
Churchill	27 de febrero - Kennedy	18.462812, -69.936047	18.482152, -69.945752	2410	455	19,07	384,00	0,1560
	Kennedy - 27 de Febrero	18.482046, -69.946432	18.462749, -69.936235	2412	771	11,26	1008,00	0,3074
Jiménez Moya	27 de febrero - Independencia	18.462448, -69.935991	18.451131, -69.927736	1540	548	10,12	396,00	0,2774
	Independencia - 27 de Febrero	18.451256, -69.927577	18.462524, -69.935849	1537	488	11,34	366,00	0,2500
27 de febrero	Antes Churchill - después Máximo G.	18.460493, -69.939961	18.476022, -69.910595	3620	836	15,59	696,00	0,1675
	Antes Máximo G. - después Churchill	18.476273, -69.910520	18.460980, -69.939513	3579	749	17,20	534,00	0,2870
Expreso 27 de febrero	Antes Churchill - después Máximo G.	18.460538, -69.939971	18.476069, -69.910290	3657	816	16,13	576,00	0,2941
	Antes Máximo G. - después Churchill	18.476154, -69.910276	18.460936, -69.939458	3592	554	23,34	516,00	0,0686

Fuente: Elaboración propia

15 ANEXO 5: DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS

En este anexo se describen los principales indicadores obtenidos a partir de la simulación realizada en TransModeler. Estos parámetros representan los resultados globales del modelo y permiten analizar el comportamiento del sistema de transporte en términos de eficiencia operativa.

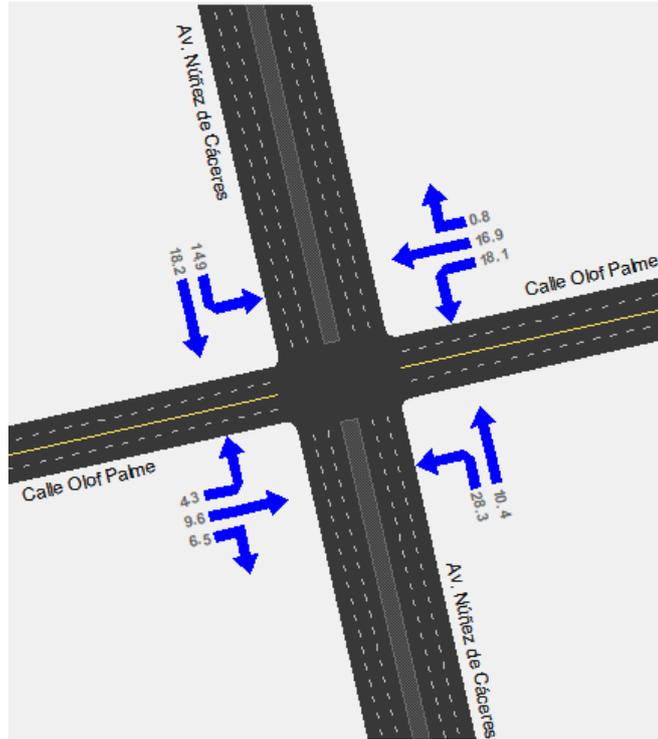
Tabla 16. Descripción de parámetros.

Parámetro	Unidad	Descripción
Kilómetros totales recorridos	km	Suma de todas las distancias recorridas por los vehículos durante el período de simulación. Incluye todos los tipos de vehículos.
Velocidad media de viaje Red	km/h	Velocidad promedio de todos los vehículos que circulan por la red, calculada como el cociente entre los kilómetros recorridos y el tiempo total de viaje.
Tiempo promedio de viaje Red	min	Tiempo medio que tarda un vehículo en completar su trayecto dentro de la red. Incluye vehículos de todos los tipos.
Longitud promedio de viaje	km	Promedio de la distancia recorrida por cada vehículo en su trayecto completo.
Tiempo promedio de viaje autos	min	Tiempo medio que tarda un automóvil en recorrer su trayecto dentro de la red. Calculado solo con vehículos de tipo "auto".
Tiempo promedio de viaje motos	min	Tiempo medio que tarda una motocicleta en completar su trayecto. Calculado solo con vehículos de tipo "moto".
Tiempo promedio de viaje buses	min	Tiempo medio que tarda un autobús en completar su recorrido. Calculado solo con vehículos de tipo "bus".
Tiempo promedio de viaje camiones pequeños	min	Tiempo medio de viaje para vehículos de carga ligera. Calculado solo con vehículos de tipo "camión pequeño".

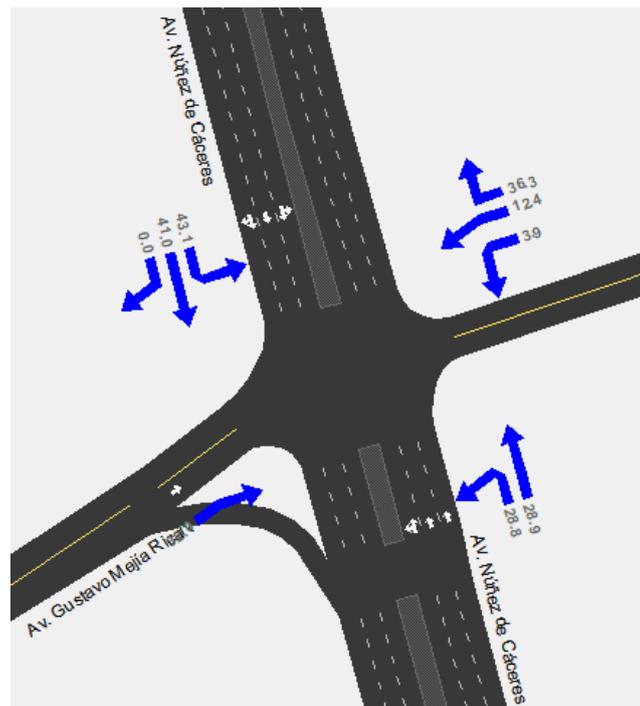
Fuente: Elaboración propia

16 ANEXO 6: DEMORAS PROMEDIO POR INTERSECCIÓN – MODELO MICROSCÓPICO

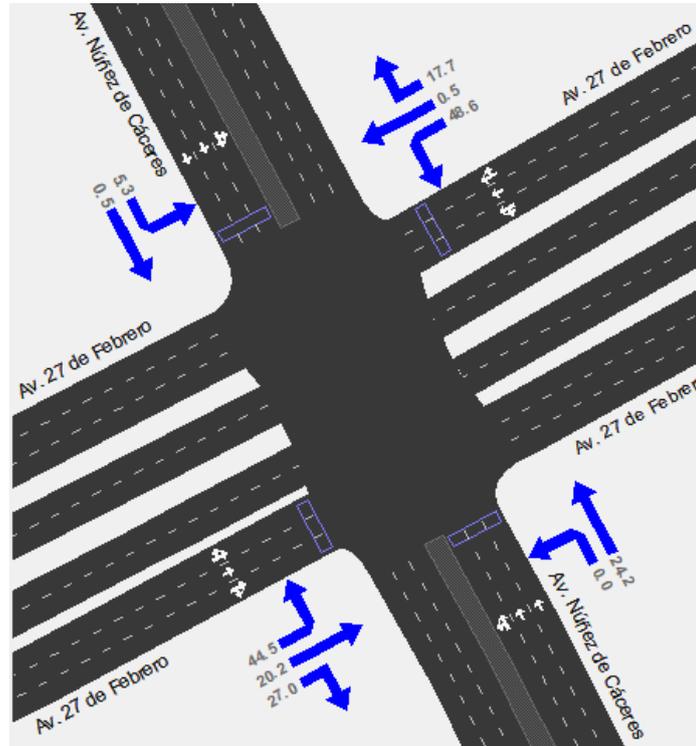
Avenida Núñez de Cáceres con Calle Olof Palme



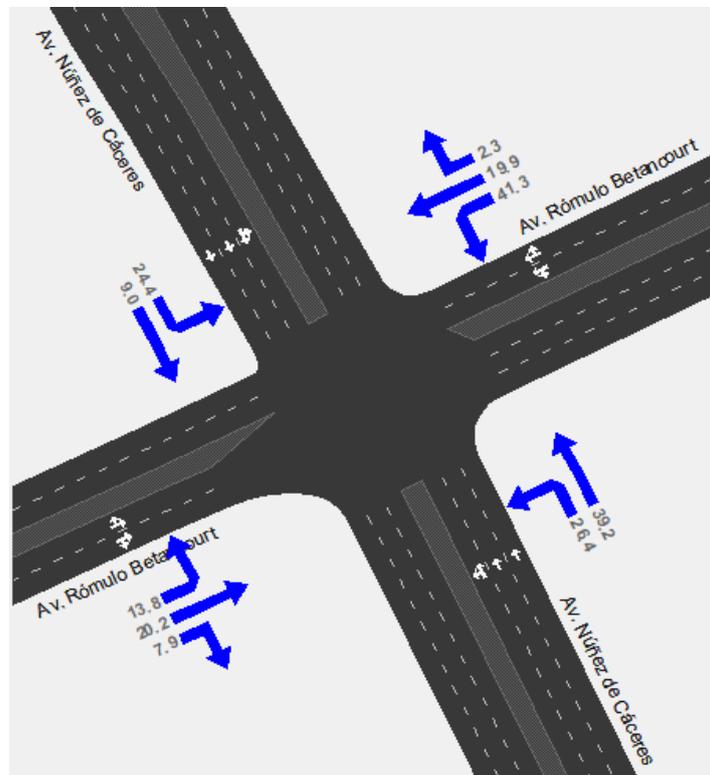
Avenida Núñez de Cáceres con Av. Gustavo Mejía Ricart



Avenida Núñez de Cáceres con Av. 27 de febrero



Avenida Núñez de Cáceres con Av. Rómulo Betancourt



Avenida Núñez de Cáceres con Av. Sarasota

