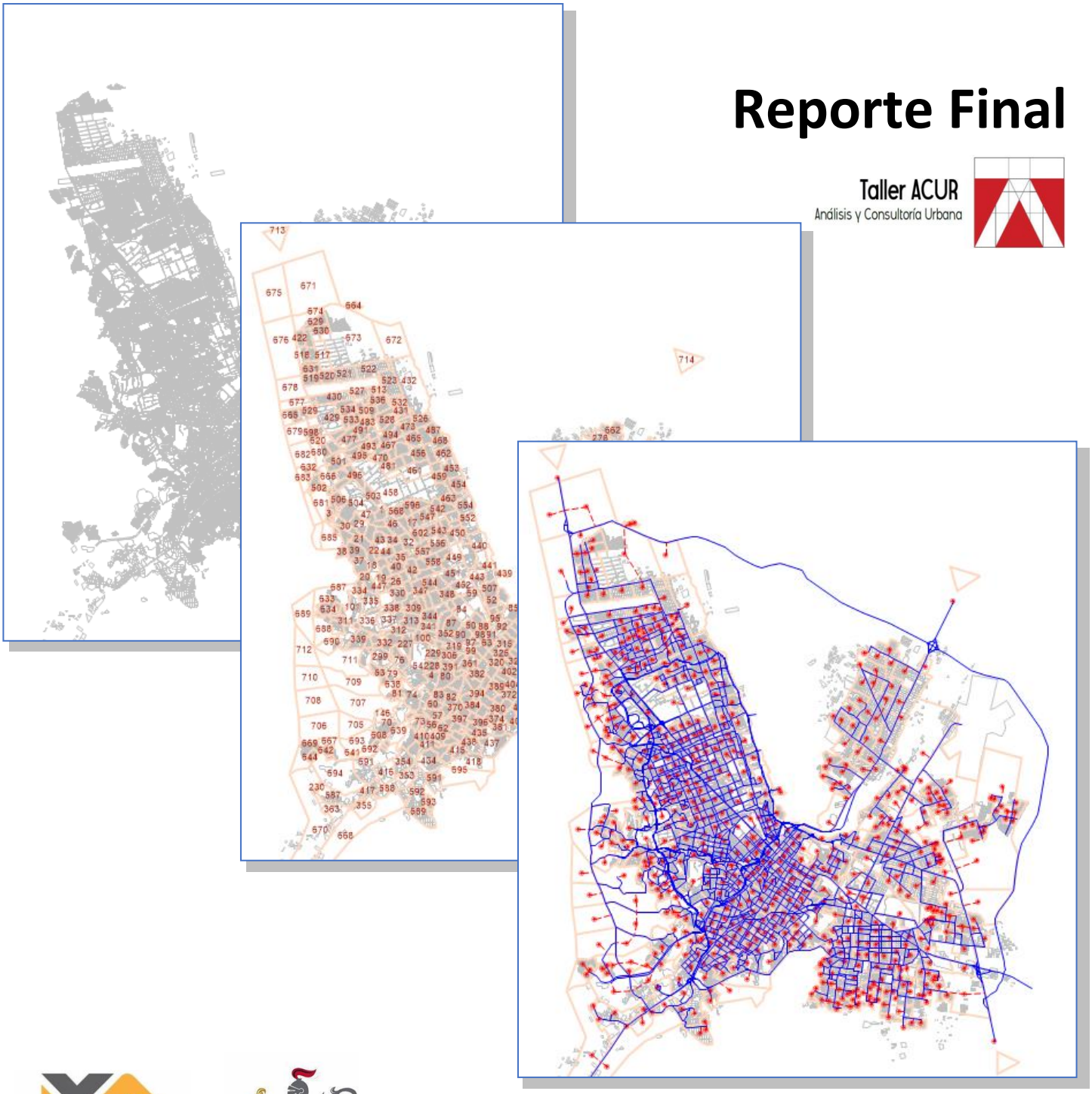
Actualización multimodal del macromodelo de Chihuahua para evaluación de alternativas viales

Reporte Final

Taller ACUR
Análisis y Consultoría Urbana



IMPLAN
Instituto Municipal de Planeación CHIHUAHUA

CHIHUAHUA
Juntos, una mejor ciudad
GOBIERNO MUNICIPAL 2018-2021

Junio 2020

Actualización multimodal del macromodelo de Chihuahua para evaluación de alternativas viales

Reporte Final

Contenido pag

Introducción: objetivos generales y tareas..... 1

I. Trabajos de campo..... 3

Aforos vehiculares seccionales..... 3
Aforos vehiculares direccionales..... 4
Encuestas origen-destino de intercepción..... 6

II. Actualización del MDT 2020……..... 10

MDT para la ciudad de Chihuahua..... 10
Generación de viajes..... 12
Distribución de viajes..... 14
Elección modal..... 16
Asignación de tráfico y validación..... 20

III. MDT bajo escenarios de proyecto……..... 22

Alternativas de alineamiento Poniente 5..... 22
Proyecciones de crecimiento poblacional..... 24
Escenario demográfico 1: inercial..... 25
Escenario demográfico 2: compacto..... 26
Escenario demográfico 3: surponiente..... 28
Escenario demográfico 4: transición..... 29
Resumen de impactos por escenarios demográficos..... 30

IV. Microsimulación de escenario óptimo……..... 31

Características generales..... 31
Ubicación de estaciones y retornos..... 32
Estimación de matriz sintética OD de hora pico..... 33

Asignación de hora pico en microsimulador..... 35
Estimación de impactos……..... 37
Resumen de impacto ambiental..... 40

V. Conclusiones y recomendaciones..... 41

Glosario de siglas y abreviaciones..... 42

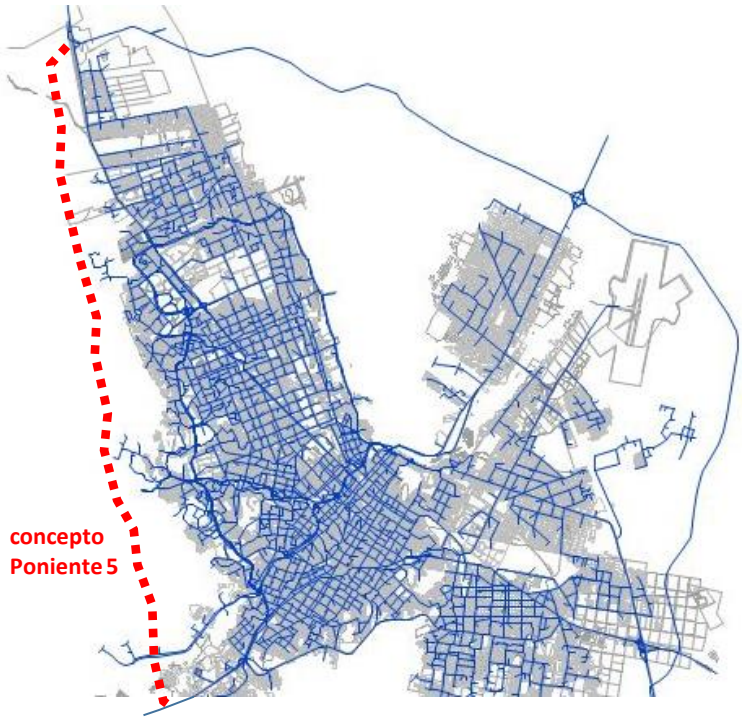
Introducción: objetivos generales y tareas

El Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) en coordinación con la Dirección de Obras Públicas Municipales de Chihuahua han comisionado el presente estudio, teniendo como base dos objetivos generales:

1) Actualizar el macromodelo de demanda de traslados (MDT) de la ciudad de Chihuahua para que incluya sensibilidad multimodal: autos, transporte colectivo y medios no-motorizados.

2) Mediante el MDT evaluar alternativas para proyecto Poniente 5[1], y su impacto sobre Periférico y Av. de la Cantera, definiendo etapas y condiciones de implementación.

Para ello, se han llevado a cabo 5 tareas principales:



Tarea I. Trabajos de campo e investigación

Estos primeros trabajos han permitido obtener la información para evaluar las condiciones actuales de operación de distintos corredores viales, y por otro lado como base para actualizar el macromodelo metropolitano de demanda. Los trabajos de campo han incluido:

- Aforos vehiculares seccionales en 3 estaciones maestras:
- Aforos vehiculares direccionales en 30 intersecciones semaforizadas críticas
- Encuestas origen-destino de intercepción en estación externa norte.

Tarea II. Actualización MDT 2020

El MDT es una herramienta en plataforma GIS para el pronóstico metropolitano de demanda de transportación. Esta herramienta permite evaluar a nivel regional el impacto de modificaciones a la infraestructura de movilidad urbana. Para el presente estudio se considera un recurso necesario para evaluar distintas alternativas de conectividad vial y de transporte colectivo, en la atracción y uso de corredores alternos al de Periférico-Cantera.

Bajo un formato simplificado (partición modal genérica-fija de AUTO) en 2017 se ha desarrollado preliminarmente una primera versión de esta herramienta para la ciudad de Chihuahua en TransCAD. Con algunas actualizaciones demográficas y la incorporación de un módulo de elección modal e interacción con plataforma Emme, se han podido estimar flujos en transporte colectivo además de los vehiculares, primeramente como validación de condiciones actuales 2020.

Tarea III. MDT bajo escenarios de proyecto

Una vez validado el MDT 2020, se ha adecuado para estimar flujos vehiculares bajo distintos escenarios de proyecto en plazos al 2020, 2025 y 2030. Esto implicar necesariamente el desarrollo de escenarios de crecimiento demográfico, tanto a nivel de totales de control metropolitano, como su distribución geográfica en el espacio urbano.

Para los distintos proyectos se han estimado y evaluado flujos vehiculares por tramos, determinando su beneficio en la movilidad urbana, y de ello seleccionando el óptimo para nivel microsimulación y definición de características geométricas y operacionales.

[1] Se expandió este objetivo a otras alternativas, una vez que el análisis mostró la limitada aportación de la Poniente 5 ante escenarios de crecimiento demográfico.

Tarea IV. Micro-simulación de escenario óptimo

En esta tarea la información de intersecciones críticas y corredores se ha codificado en software de micro-simulación Aimsun para dos escenarios generales:

- Escenario actual: en este escenario, la codificación se ha alimentado con la información de aforos y programación de semáforos recabada en campo.
- Escenario optimizado: en este escenario, la codificación se ajustó para reflejar esquemas optimizados de operación del corredor seleccionado y sus intersecciones críticas, así como la redistribución regional de flujos viales estimados con el MDT (2020, 2025 y 2030).

La micro-simulación de estos escenarios ha permitido la obtención de indicadores de desempeño, tales como retraso promedio, niveles de servicio y acumulaciones. La microsimulación también ha permitido definir los grados de intervención en cuanto a sección transversal y su utilización multimodal, así como su solución geométrica a nivel de intersección.

Tarea V. Conclusiones y recomendaciones

Con base en los resultados de las tareas anteriores, esta tarea final se ha enfocado en la identificación de mejoras en el corto y mediano plazo.

El presente documento detalla los procedimientos y metodologías llevadas a cabo en cada una de las cinco tareas descritas.

I. Trabajos de campo

Estos primeros trabajos han permitido obtener la información base para evaluar las condiciones actuales de operación de distintos corredores viales, y por otro lado como insumo para calibrar y validar el macromodelo de demanda de traslados (MDT) metropolitanos.

Aforos vehiculares seccionales

Para identificar las horas pico en el área de estudio, se realizaron aforos seccionales de 16 horas en 3 estaciones maestras:

S1: Carretera a Juárez (sur de caseta de cobro Sacramento)
S2: Periférico de la Juventud en túnel bajo Juan Escutia
S3: Av. Tecnológico en puente sobre Juan Escutia

La figura I.1 muestra la ubicación de las 3 estaciones maestras seleccionadas para aforos seccionales. Este tipo de aforos, también conocidos como aforos de "cordón", son conteos vehiculares que se realizan típicamente sobre tramos de vialidad donde el flujo vehicular es continuo, con ubicaciones convencionalmente alejadas de la influencia de semáforos o señales de alto, incluyendo puntos sobre puentes o en túneles. Normalmente los conteos se realizan diferenciando los sentidos existentes de circulación del tramo.

Para el presente estudio, los aforos seccionales se realizaron en días entre semana durante 16 horas continuas, de 6am a 10pm, considerando que, en este lapso de tiempo y horarios, pasa más del 90% del flujo diario de la vialidad. Pero sobretodo porque en este lapso ocurren las horas pico, para las cuales se determina la capacidad de diseño.

En el caso particular del aforo seccional en Carretera a Juárez (S2), se manejó éste como estación de acceso metropolitano que, más relevante que su distribución horaria de flujos en zona rural, aporta sobre todo información acerca de los volúmenes vehiculares externos como base para su cuantificación por orígenes y destinos en zona urbana y otros accesos carreteros.

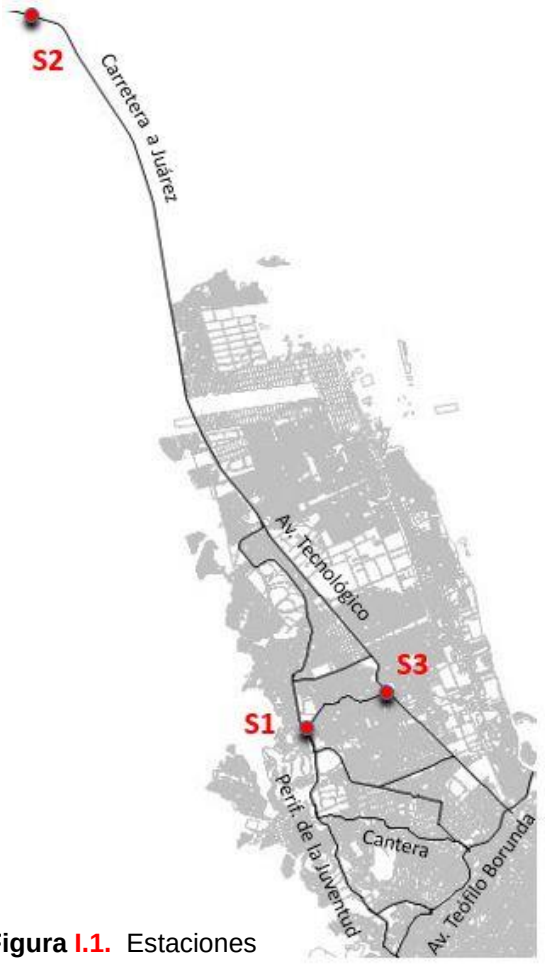


Figura I.1. Estaciones maestras

Las tablas y gráficas con los aforos seccionales en estas 3 estaciones maestras se muestran a detalle en el **apéndice Ia**, de las cuales la figura I.2 ejemplifica el caso para la S1, cuyo patrón es representativo de zona urbana.

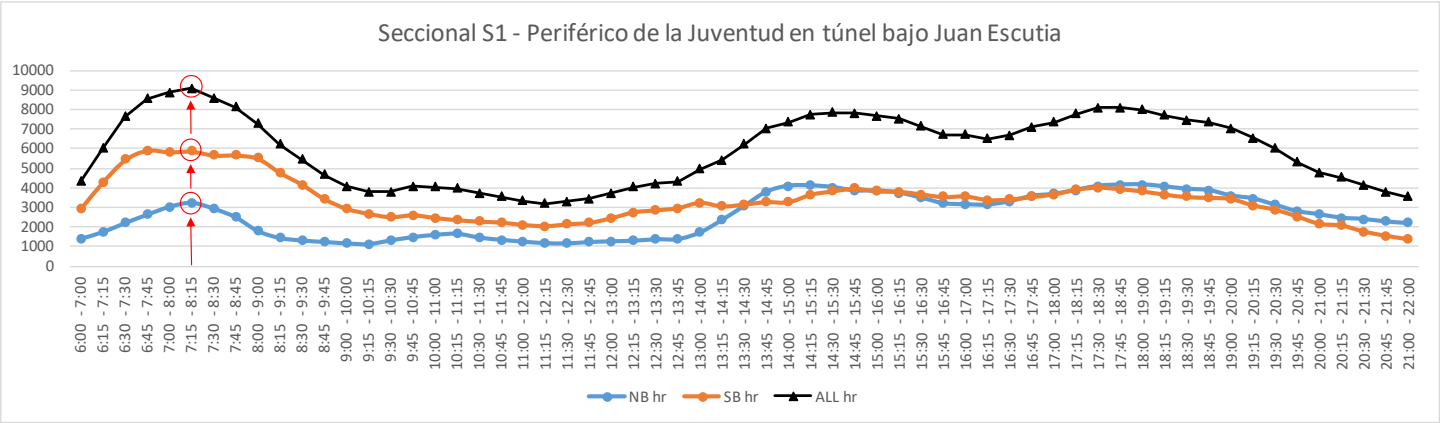


Figura I.2. Flujo vehicular horario, por sentido y su suma, para estación maestra S1.

De este aforo seccional se puede apreciar que la hora pico urbana más alta del día sucede de 7:15AM a 8:15AM, y que la dirección dominante es hacia el Sur (SB). En los horarios PM los flujos son más dispersos, y los picos no son tan claros. La hora pico AM resulta la más crítica del día, y por tanto es la que ocasiona la mayor problemática de acumulaciones y de congestión vehicular. La tabla I.1 muestra un resumen de la hora pico AM y PM detectadas en las dos estaciones maestras.

Tabla I.1. Horas pico identificadas por los aforos seccionales

estación maestra	contexto	hr pico **AM**			hr pico **PM**		
		al NORTE	al SUR	AMBOS	al NORTE	al SUR	AMBOS
S1	URBANO	7:15-8:15	7:15-8:15	**7:15-8:15**	6:00-7:00	5:30-6:30	**5:30-6:30**
S2	RURAL	8:00-9:00	9:15-10:15	**9:15-10:15**	5:00-6:00	7:30-8:30	**5:00-6:00**
S3	URBANO	7:30-8:30	7:15-8:15	**7:15-8:15**	5:45-6:45	5:00-6:00	**5:15-6:15**

De la identificación de las horas pico urbanas (S1 y S2), se seleccionaron los horarios de 7:00AM a 8:30AM, y de 5:00PM a 6:30PM como los períodos pico AM y PM para concentrar el resto de los trabajos de campo.

Aforos vehiculares direccionales

Una vez identificados los períodos pico AM y PM, se procedió a realizar los aforos direccionales en las 30 intersecciones semaforizadas críticas. La figura I.3 muestra la selección inicial de 10 intersecciones, éstas más cercanas al potencial alineamiento del eje Poniente 5.

01: Periférico y Teófilo Borunda
02: Periférico y Ortiz Mena
03: Periférico y Politécnico Nacional
04: Periférico y Hda. del Carrizal
05: Periférico y Hdas. Del Valle
06: Periférico y Cantera
07: Periférico y Francisco Villa
08: Periférico y Juan Escutia
09: Periférico y Circuito Universidad
10: Cantera y Washington

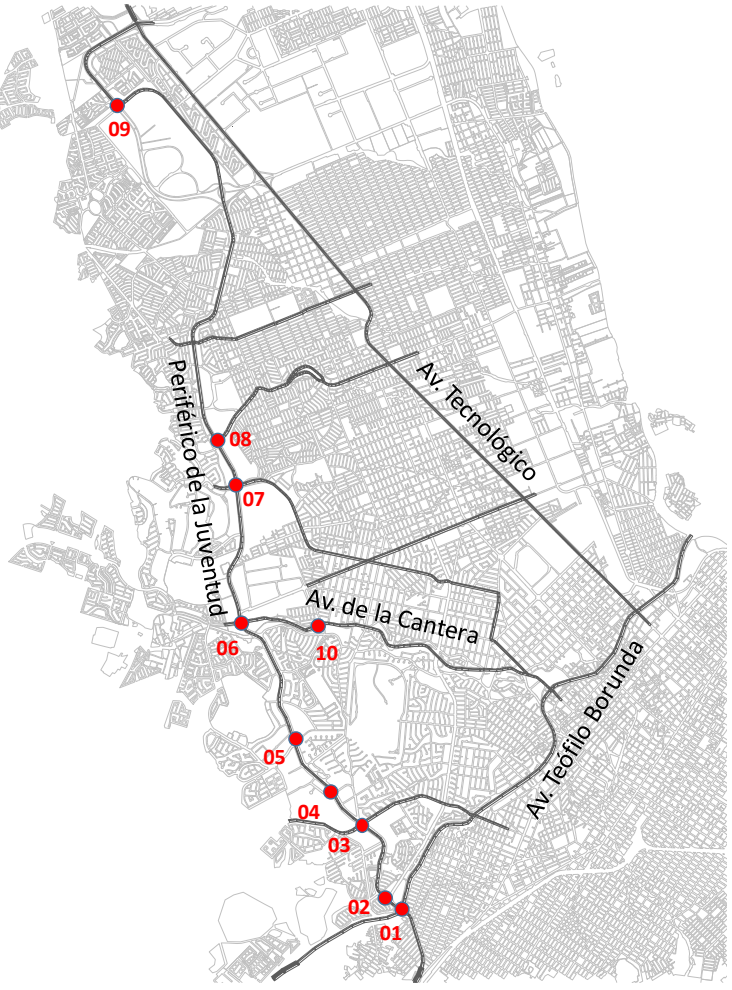


Figura I.3. Selección inicial de intersecciones críticas

Conforme el estudio arrojó resultados que mostraban la viabilidad de consolidar corredores más céntricos, se llevó a cabo una selección complementaria de 20 intersecciones sobre Av. Tecnológico, las cuales se muestran en le figura I.4 y se listan a continuación.

D01: Av. Tecnológico y Los Arcos
D02: Av. Tecnológico y Los Nogales
D03: Av. Tecnológico y Miguel Cervantes
D04: Av. Tecnológico y Paseos de Bachíniva
D05: Av. Tecnológico y Cd. Guerrero
D06: Av. Tecnológico y Eusebio Báez
D07: Av. Tecnológico y Jiménez
D08: Av. Tecnológico y Elías Muller
D09: Av. Tecnológico y 16 de Septiembre
D10: Av. Tecnológico y Tomochi
D11: Av. Tecnológico y Juan Escutia
D12: Av. Tecnológico y Vallarta
D13: Av. Tecnológico y Broadway
D14: Av. Tecnológico y Zaragoza
D15: Av. Tecnológico y Sicomoro
D16: Av. Tecnológico y Pino
D17: Av. Tecnológico y Mercurio
D18: Av. Tecnológico y Agustín Melgar
D19: Av. Tecnológico y Pascual Orozco
D20: Av. Tecnológico y División del Norte

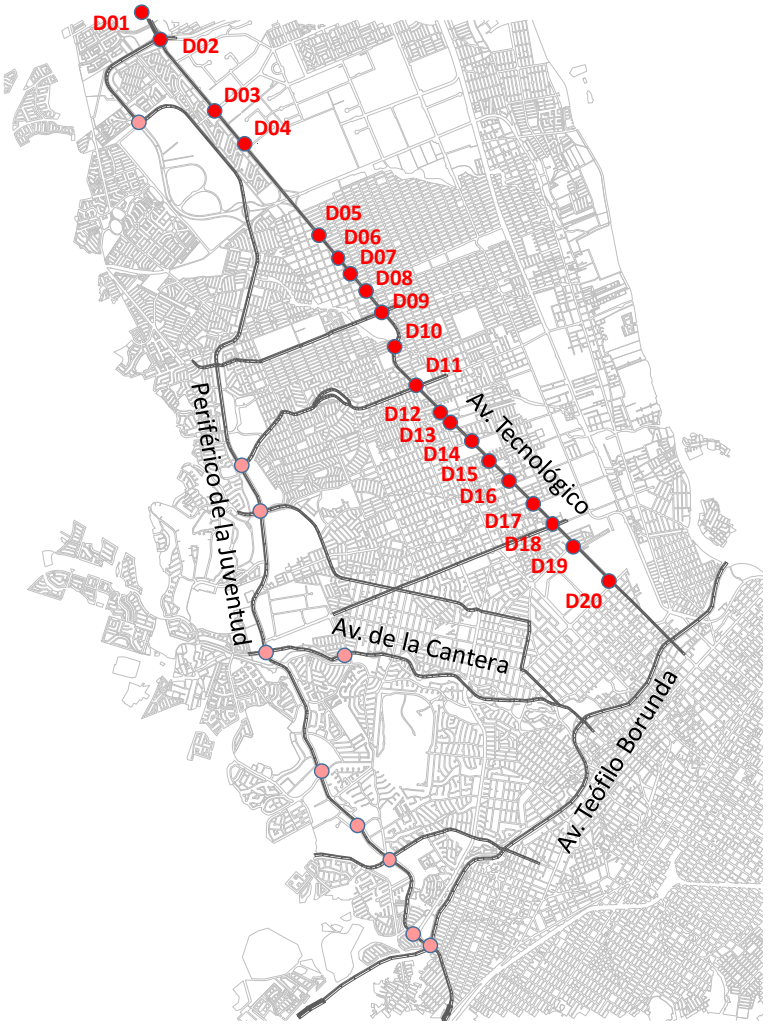


Figura I.4. Selección complementaria de intersecciones críticas

Las tablas con los aforos direccionales de las 31 intersecciones críticas se muestran a detalle en el **apéndice Ib**, de las cuales la tabla I.2 ejemplifica el caso AM para la D11.

Tabla I.2. Aforo seccional desagregado para intersección crítica 03 (período AM)

Aforo vehicular direccional

intervalos de 15 minutos

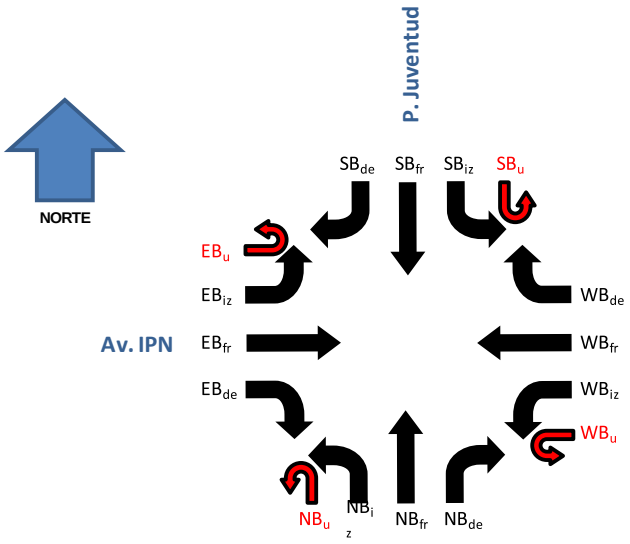
Clave 03 - AM - SEMAFORIZADO

ubicación: Perif. Juventud y Av. I. P. Nacional
Cihuahua, Chih.

fecha: 16-May-19

dia sem: JUEVES

periodo: 7:00 a 8:30



	mov SB$_{de}$	mov SB$_{fr}$	mov SB$_{iz}$	mov SB$_{u}$
	Vehículos	Vehículos	Vehículos	Vehículos
7:00 a 7:15	97	43	169	8
7:15 a 7:30	194	38	292	8
7:30 a 7:45	156	47	225	18
7:45 a 8:00	77	71	225	12
8:00 a 8:15	48	48	189	25
8:15 a 8:30	32	59	186	15

	mov NB$_{de}$	mov NB$_{fr}$	mov NB$_{iz}$	mov NB$_{u}$
	Vehículos	Vehículos	Vehículos	Vehículos
7:00 a 7:15	22	35	50	23
7:15 a 7:30	63	32	72	17
7:30 a 7:45	48	54	63	21
7:45 a 8:00	35	85	35	30
8:00 a 8:15	20	88	38	27
8:15 a 8:30	7	60	40	10

	mov WB$_{de}$	mov WB$_{fr}$	mov WB$_{iz}$	mov WB$_{u}$
	Vehículos	Vehículos	Vehículos	Vehículos
7:00 a 7:15	87	42	24	0
7:15 a 7:30	195	76	22	0
7:30 a 7:45	173	86	47	0
7:45 a 8:00	151	31	40	0
8:00 a 8:15	100	65	35	0
8:15 a 8:30	142	39	20	0

	mov EB$_{de}$	mov EB$_{fr}$	mov EB$_{iz}$	mov EB$_{u}$
	Vehículos	Vehículos	Vehículos	Vehículos
7:00 a 7:15	15	63	102	0
7:15 a 7:30	12	115	140	0
7:30 a 7:45	20	91	138	0
7:45 a 8:00	15	96	190	0
8:00 a 8:15	14	40	141	2
8:15 a 8:30	11	36	77	0

De la tabla I.2, se puede apreciar que los aforos direccionales se realizaron con cortes cada 15 minutos, y con clasificación vehicular genérica en AUTOS (automóviles, vans, camionetas "pick-up", motocicletas), BUSES (autobuses de pasajeros), y CARGA (vehículos de carga de mediano y gran tamaño). De una revisión más detenida se podrá observar que los 60 minutos más críticos para esta intersección particular se obtienen de los lapsos consecutivos entre 7:15AM y 8:15AM, corroborando con ello lo detectado en los aforos seccionales que resume la tabla I.1. Estas condiciones se emularán en las tareas de microsimulación.

Encuestas origen-destino de intercepción

Como tarea final de campo, se llevaron a cabo encuestas origen-destino de intercepción en la caseta de cobro Sacramento, en la salida de la carretera a Ciudad Juárez. Para la encuesta se seleccionó una muestra aleatoria de vehículos que circulaban por este punto, y de éstos se obtuvo la siguiente información:

- Sentido de toma (norte, sur)
- Hora de toma de encuesta
- Tipo de vehículo encuestado
- Residencia del conductor del vehículo
- Lugar de origen del viaje (sitio e intersección vial más cercana)
- Hora de origen del viaje
- Lugar de destino final del viaje (sitio e intersección vial más cercana)
- Motivo del viaje



Figura I.5. Señalamiento informativo temporal para la encuesta OD

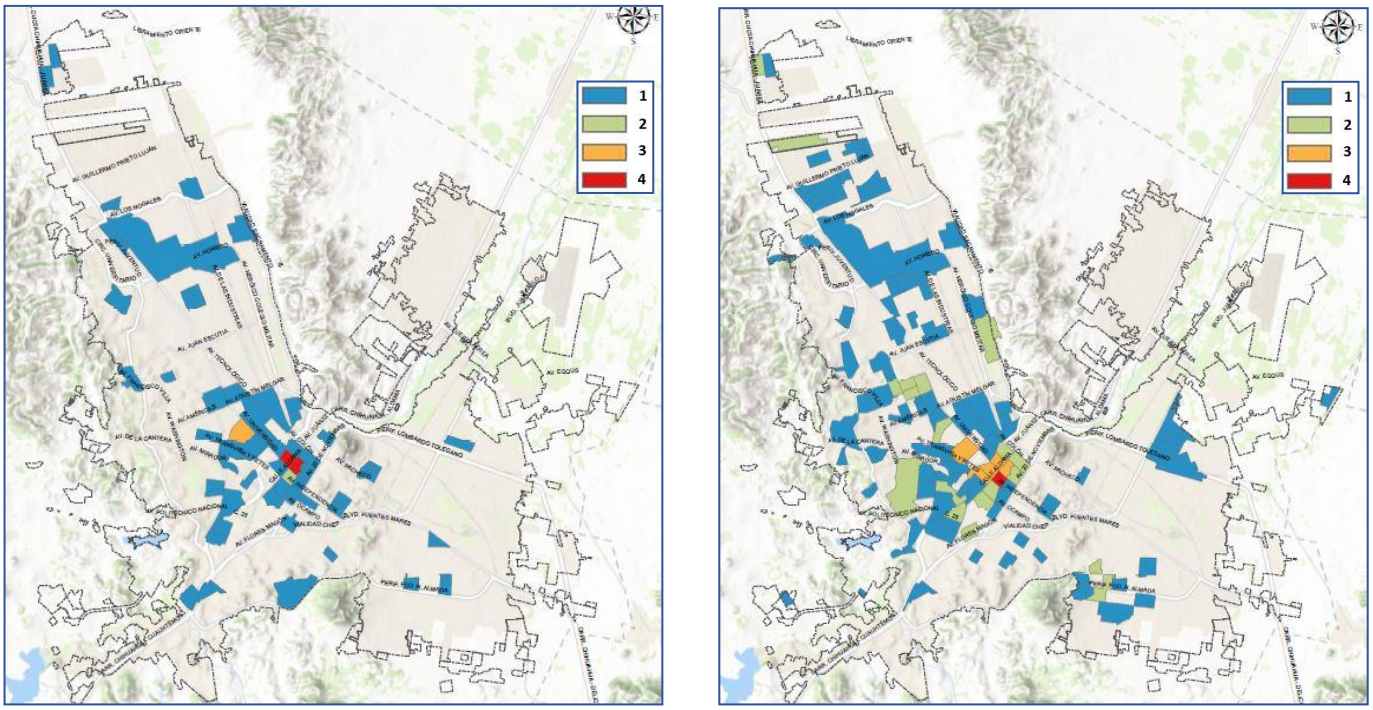
La encuesta se realizó durante un día entre semana (30 de mayo de 2019), entre las 6 AM y las 10PM. En total se recabaron 635 encuestas, de las cuales 338 en sentido norte, y 297 en sentido sur.





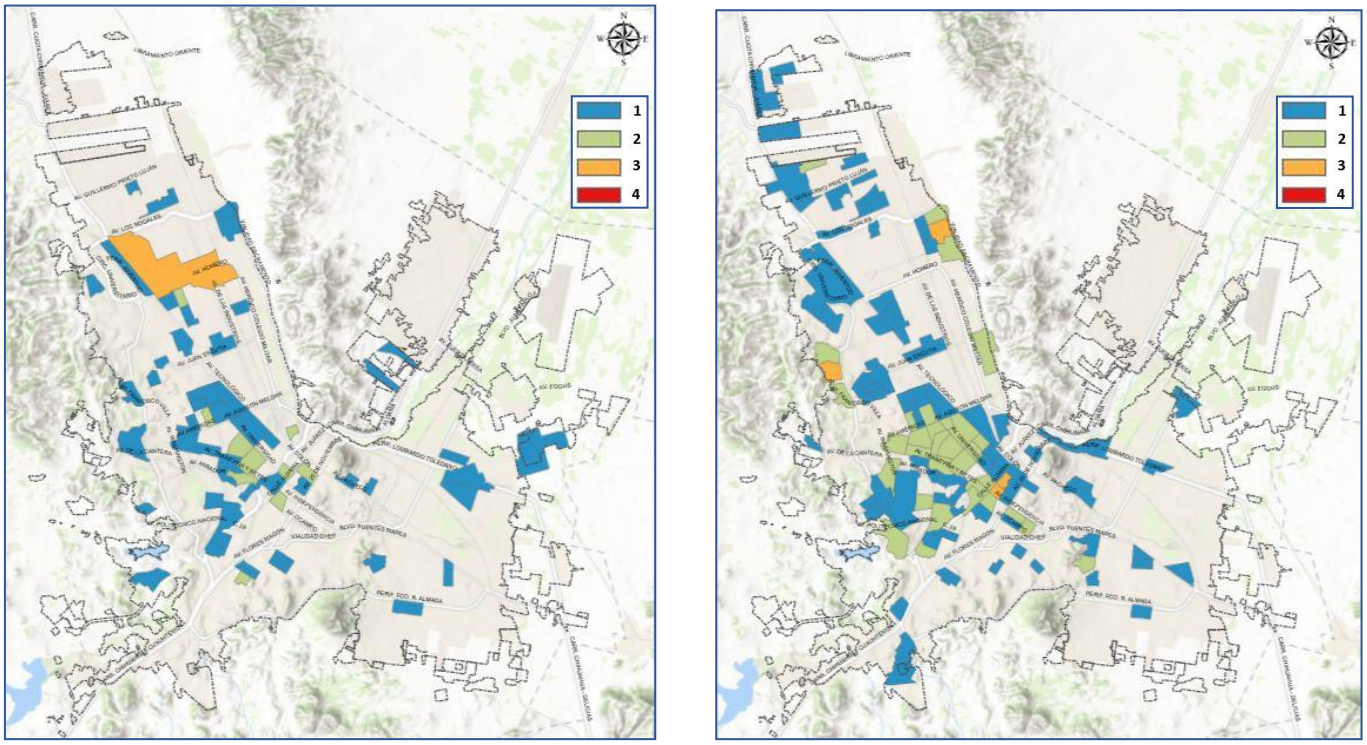
Figura I.6. Levantamiento de encuestas / Sacramento

Como resultado de las encuestas en la caseta Sacramento, las figuras I.7a y I.7b muestran las zonas de destino AM y PM detectadas dentro de la zona urbana de Chihuahua; similarmente las figuras I.8a y I.8b muestran las zonas de origen. En todos los casos puede apreciarse una mayor concentración en áreas céntricas, y muy baja frecuencia en áreas periféricas.



(a) AM **(b)** PM

Figura I.7. Encuestas de entrada en caseta Sacramento: frecuencia de respuestas sobre zonas destino de viaje



(a) AM **(b)** PM

Figura I.8. Encuestas de salida en caseta Sacramento: frecuencia de respuestas sobre zonas origen de viaje

Como resumen de la encuesta se ha podido detectar que al rededor del 73% de los vehículos que entran a la ciudad de Chihuahua por este acceso norte, tiene destino al interior de la zona urbana, mientras que el restante 27% se dirige a otros destinos fuera de la ciudad de Chihuahua. Cabe señalar que solo un 3% de los vehículos en sentido norte-a-sur en Sacramento se dirige a la carretera a Cuauhtémoc.

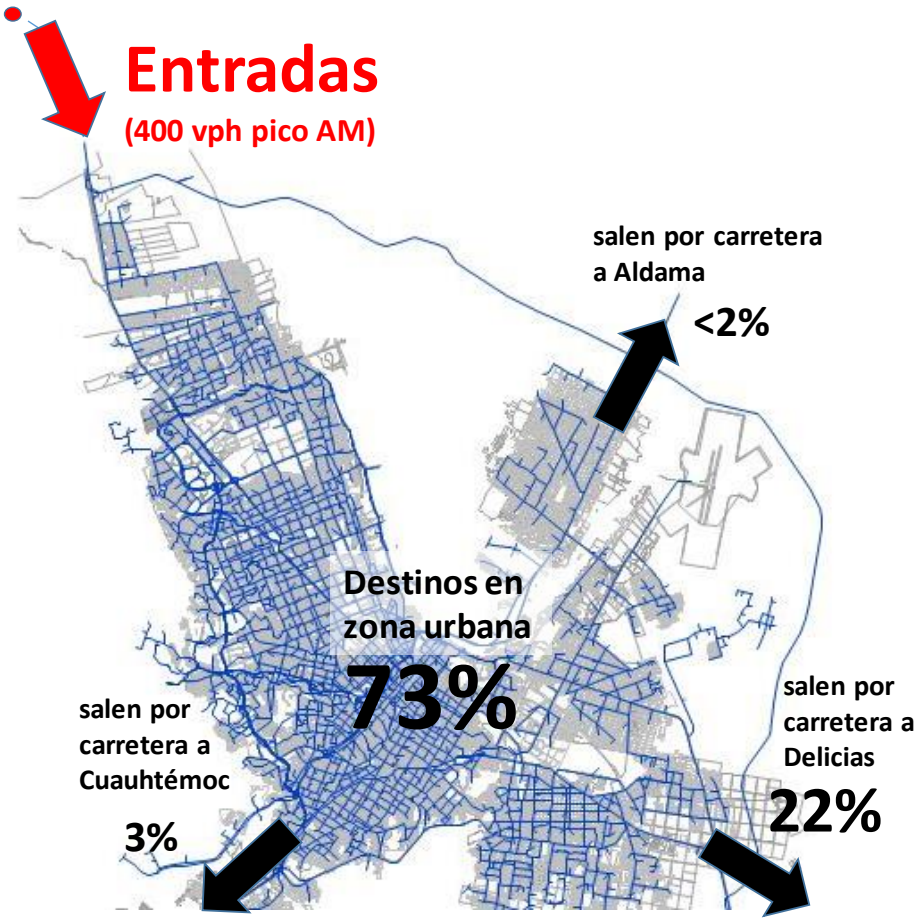


Figura I.9. Distribución de flujos vehiculares que entran en hora pico AM por caseta Sacramento

Un comportamiento similar se detecta en sentido sur-a-norte. Detalles de la encuesta origen-destino de intercepción se muestran en el **apéndice Ic**.

II. Actualización del MDT 2020

Para pronosticar el impacto de proyectos de tal extensión como el eje Poniente 5, o cualquier otra propuesta de transporte a nivel urbano, la herramienta recomendada es un macromodelo de demanda de traslados (MDT) de la zona metropolitana.

MDT para la ciudad de Chihuahua

Un MDT es una herramienta computacional que emplea información demográfica desagregada en el espacio urbano sobre población (ubicación de la actividad residencial) y empleo (ubicación de la actividad económica), para estimar necesidades de traslado y su concentración sobre la red vial y de transporte; usualmente se desarrolla sobre plataforma de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La información demográfica se organiza en una estructura de microzonas también conocidas como ZATs (Zonas de Análisis de Tráfico), las cuales sirven de referencia de los orígenes y destinos de los desplazamientos; la figura II.1. muestra la estructura de ZATs utilizada para la zona urbana de Chihuahua. Originalmente como base se emplearon 664 AGEBs[2] del año 2015, último año en que INEGI[3] reporta población censada. Para actualizar a 2020 se aumentaron las ZATs a 712, y la demografía se ajustó empleando como total de control urbano una población de 939,772 habitantes[4]. Suponiendo que se mantiene el promedio de habitantes por vivienda, se tendrán al 2020 un total de 271,627 viviendas distribuidas en la zona urbana.

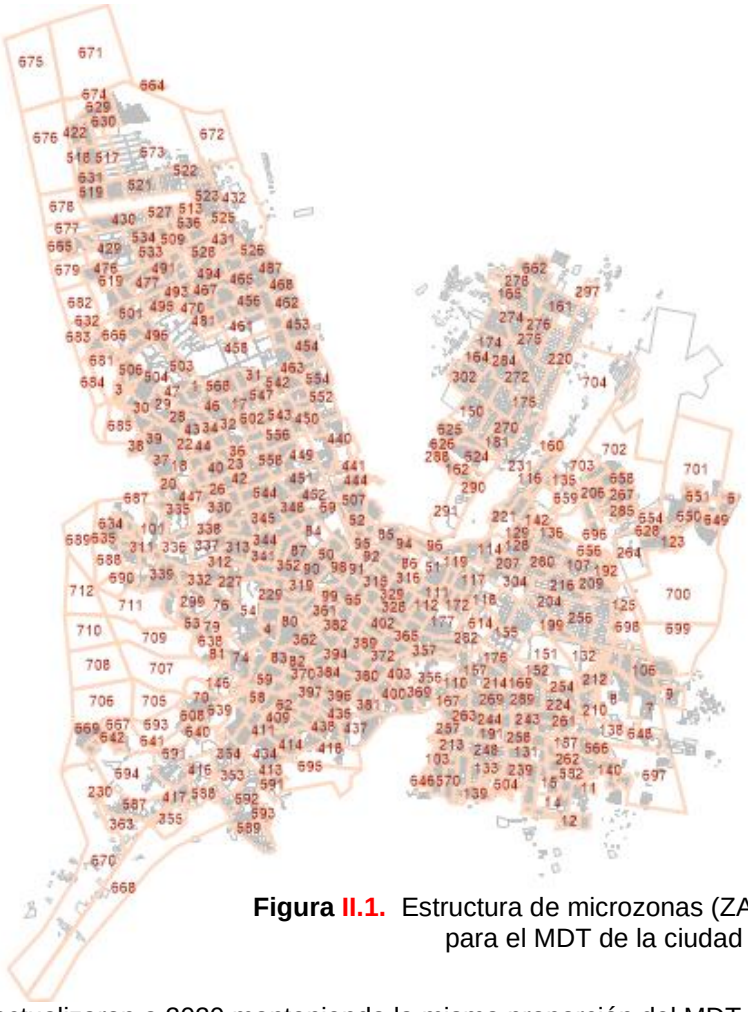


Figura II.1. Estructura de microzonas (ZATs) empleada para el MDT de la ciudad de Chihuahua

Asimismo, los empleos se actualizaron a 2020 manteniendo la misma proporción del MDT 2015, por tanto, sumando un total de 295,543.

[2] Área Geoestadística Básica.

[3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía

[4] Proyecciones de población y vivienda de la Ciudad de Chihuahua: www.implanchihuahua.org. El dato publicado de población urbana a 2020 es de 911,109 habitantes; tal cifra ha sido ajustada por personal autorizado de la institución a 939,772 habitantes e indicada como la correcta para el presente estudio (por reflejarse en el portal).

Una vez proyectada la población total al 2020, ha sido necesario estimar la ubicación del crecimiento en el espacio urbano. Para ello la Dirección de Obras Públicas Municipales proporcionó la ubicación de lotes de vivienda para los cuales se solicitaron permisos de construcción posterior a 2015 (figura II.2), así como la vivienda construida sin permisos (figura II.3) detectada en ese mismo período.

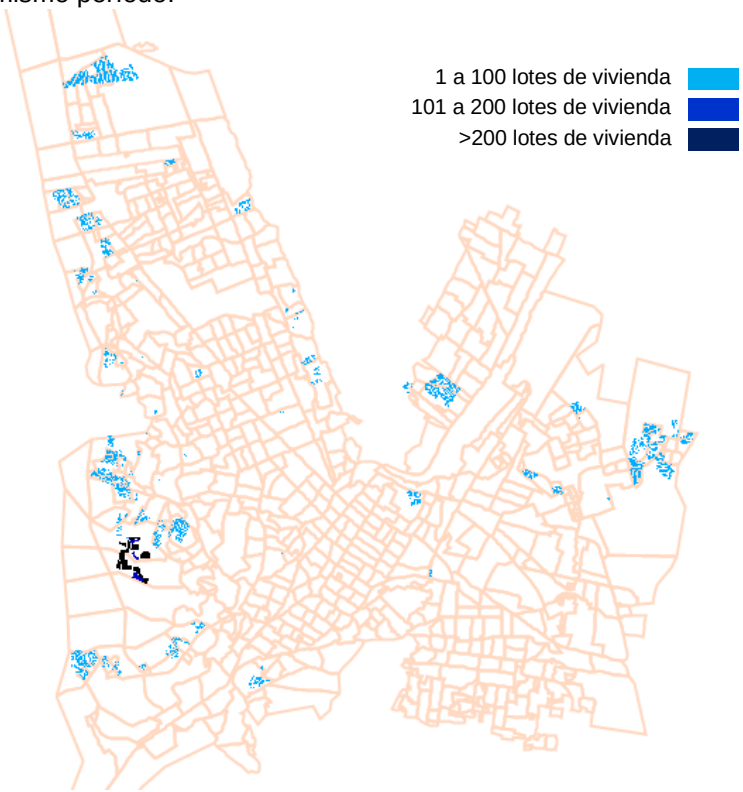


Figura II.2. Permisos para construcción de vivienda posterior a 2015

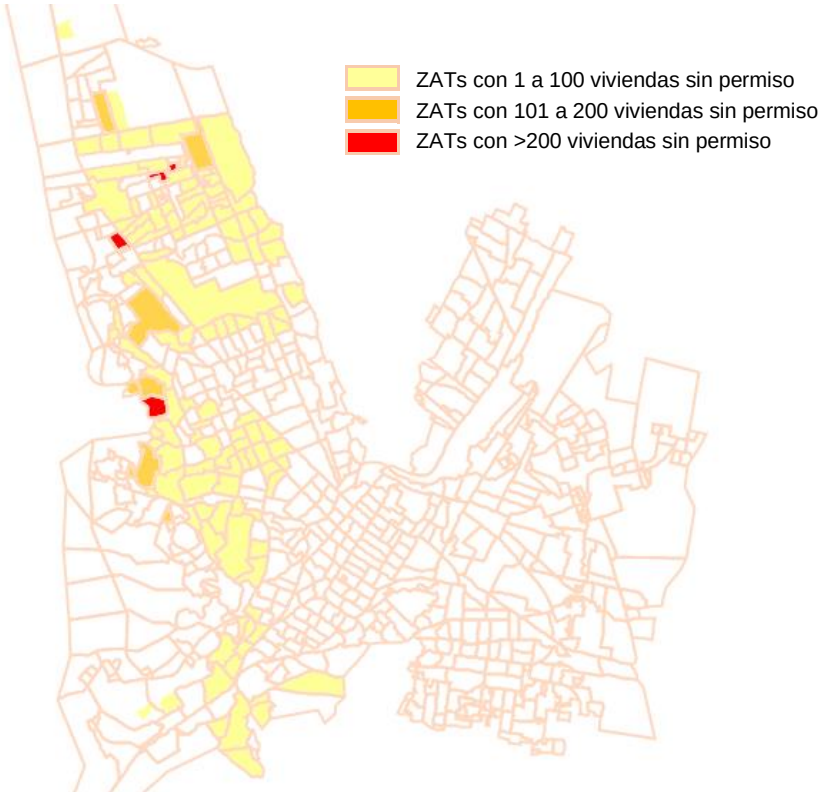


Figura II.3. Vivienda construida sin permisos, posterior a 2015.

Para situar la correcta proporción, cabe destacar que los permisos fueron cerca de 50,000, mientras que las viviendas construidas sin permiso fueron menos de 4,000. Con tal mapeo se puede identificar hacia dónde se ha dado el crecimiento, y con base en ello se ha distribuido a nivel ZAT las proyecciones demográficas al 2020. Como resultado de tal ejercicio, las figuras II.4 y II.5 muestran la densidad de población y de empleo por AGEB respectivamente, y con ello su distribución en el espacio territorial urbano, así como una idea preliminar de las potenciales tendencias de desplazamiento entre zonas de habitación y zonas de actividad.

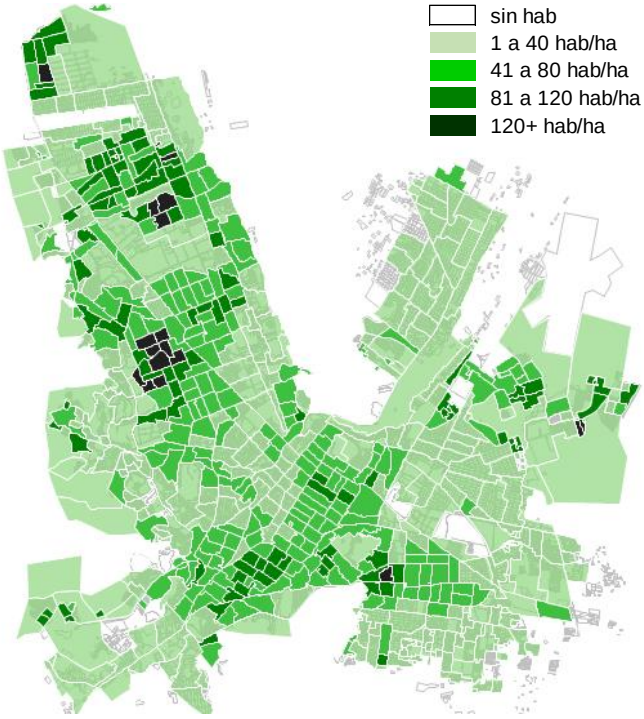


Figura II.4. Densidad de población 2020

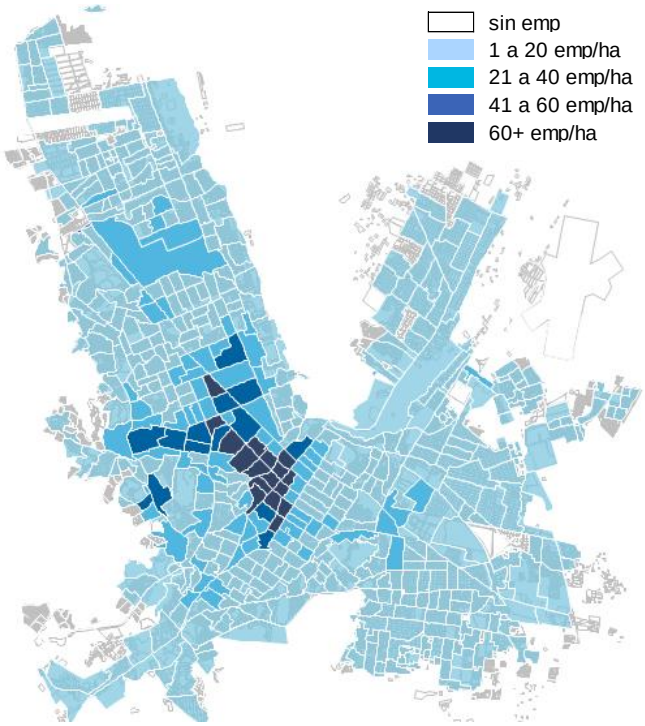


Figura II.5. Densidad de empleo 2020

Las necesidades de traslado convencionalmente se obtienen de encuestas de viaje, y la información recabada se emplea entonces para calibrar complejas relaciones que permitan explicar el comportamiento de traslados en forma de correlaciones estadísticas y algoritmos matemáticos. Para el MDT de la ciudad de Chihuahua estas complejas relaciones se han organizado en los siguientes cuatro sub-modelos:

- Generación de viajes
- Distribución de viajes
- Elección modal
- Asignación de tráfico

Para el MDT original se aprovecharon los sub-modelos desarrollados para Guadalajara (2008) y Ciudad Juárez (2007 y 2014), empleando datos de distintos tipos de encuestas implementadas entonces. Por la condición desagregada de los algoritmos, particularmente de los sub-modelos de generación y de distribución de viajes, es posible transferir y aplicar sus parámetros a información sociodemográfica de Chihuahua. Y mediante un proceso iterativo, se han realizado ajustes menores a parámetros del sub-modelo de elección modal para lograr que finalmente arroje volúmenes vehiculares consistentes con los observados localmente. Validados los resultados del MDT con aforos recientes, es posible entonces aplicar el MDT a escenarios alternativos de la red vial para pronosticar la redistribución de los volúmenes vehiculares.

Generación de viajes

Para su estimación, los viajes se clasifican como mínimo en 4 propósitos genéricos de viaje:

- Viajes con base en el hogar, de trabajo (HBW: del inglés "Home-Based-Work")
- Viajes con base en el hogar, no de trabajo (HBNW: del inglés "Home-Based-Non-Work")
- Viajes sin base en el hogar (NHB: del inglés "Non-Home-Based")
- Viajes para recolección y entrega de bienes (TT: del inglés "Truck-Taxi")

En la fase de generación de viajes, se han estimado el número total de desplazamientos producidos de, y atraídos a cada ZAT, y éstos se han presentado en formato tabular. Este paso provee un estimado grueso del potencial de desplazamientos de cada ZAT, pero no indica el intercambio con otras ZATs. La base de la generación de viajes son los componentes de producciones y atracciones de desplazamientos. El componente de producciones fue calibrado como una clasificación cruzada de dos dimensiones, la cual provee tasas de desplazamientos por hogar, estratificadas por dos variables independientes: habitantes del hogar e ingreso del hogar. Respecto al ingreso del hogar, se elaboró una sectorización preliminar de la ciudad bajo cinco estratos económicos (ver figura II.6):

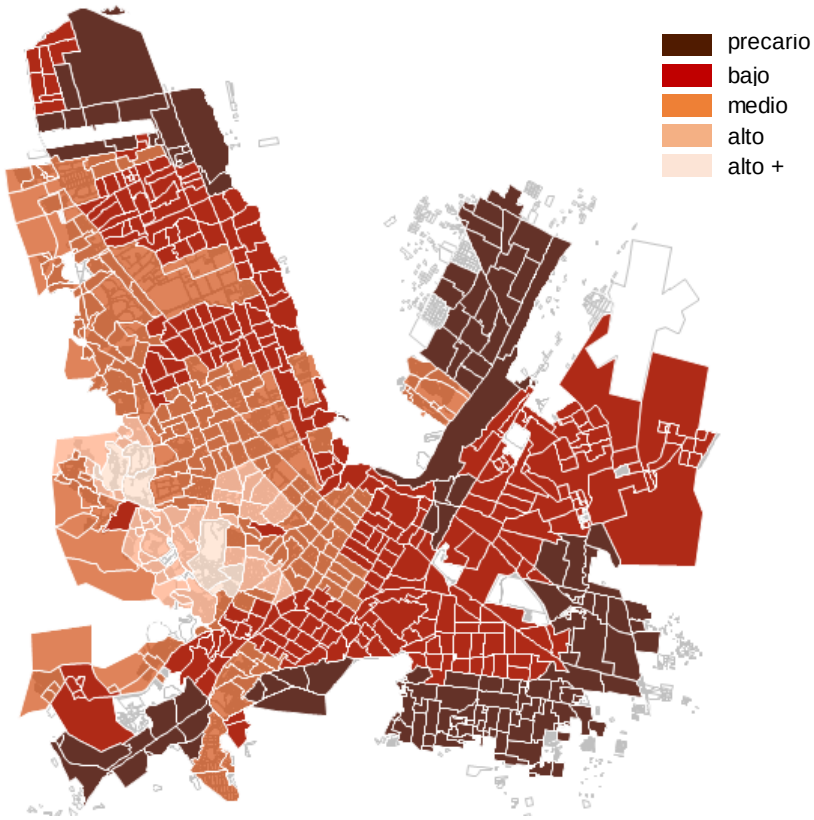


Figura II.6. Sectorización de ZATs por estratos económicos

Cada estrato está asociado a una distribución particular de los primeros 5 niveles de ingreso por hogar, desarrollados para el caso de Juárez y Guadalajara, los cuales se relacionan a las tasas de viajes producidos de la tabla II.1.

El componente de atracciones se calibra como una clasificación cruzada tipo regresión, la cual provee tasas de traslados por cantidad de empleados, estratificada bajo tipo de área y tipo de empleo. Adicionalmente se incluyen tasas de atracción por vivienda. La tabla II.2 muestra las tasas resultantes para el componente de atracciones.

Tabla II.1. Tasas de producciones (viajes-pers/día).

Propósito de viaje	Ingreso hogar	Tamaño hogar					
		1	2	3	4	5	6+
NHB	(1)	0.508	1.156	1.268	1.417	1.474	2.067
	(2)	0.902	1.479	1.705	1.726	2.096	2.400
	(3)	0.875	1.522	1.581	1.698	2.247	2.987
	(4)	1.000	1.708	1.847	1.800	2.438	2.762
	(5)	0.598	1.541	1.559	2.169	2.494	3.259
	(6)	0.801	2.307	2.180	2.119	2.622	3.196
HBW	(1)	2.609	3.761	6.142	9.435	13.264	13.111
	(2)	1.647	3.792	6.005	9.294	12.064	13.730
	(3)	1.933	3.921	5.767	9.221	12.955	13.430
	(4)	2.580	3.143	4.536	11.005	12.653	17.027
	(5)	1.933	4.349	7.240	10.707	10.839	12.742
	(6)	0.769	2.675	4.957	10.475	13.960	11.975
HBNW	(1)	0.435	0.560	1.484	1.252	2.604	2.396
	(2)	0.352	0.820	1.515	1.891	2.479	2.335
	(3)	1.019	0.976	2.301	2.583	2.577	2.314
	(4)	1.230	1.659	1.766	3.550	3.299	3.060
	(5)	1.230	2.167	3.890	3.198	3.587	3.060
	(6)	0.609	1.882	1.726	2.929	5.643	1.995

Tabla II.2. Tasas de atracciones (viajes-pers/día).

Propósito de viaje	Tipo de área	Hogar	Actividad económica		
			Básica	Comercio	Servicios
NHB	Central	0.125	2.000	1.557	1.899
	Urbano	0.125	1.859	3.351	2.953
	Suburbano	0.125	1.932	1.777	2.027
	Rural	0.125	1.497	1.615	2.099
HBW	Central	0.569	0.031	22.417	36.758
	Urbano	0.569	0.084	16.275	28.701
	Suburbano	0.569	0.036	20.086	29.457
	Rural	0.569	0.195	3.423	2.881
HBNW	Central	0.127	0.062	14.438	0.409
	Urbano	0.127	0.505	7.179	3.568
	Suburbano	0.127	0.109	2.681	4.875
	Rural	0.127	0.627	10.485	2.694
TT	Central	0.160	0.002	0.000	0.000
	Urbano	0.170	0.000	0.129	0.000
	Suburbano	0.180	0.012	0.549	0.102
	Rural	0.180	0.087	0.477	0.028

Una vez sumados y balanceados los viajes estimados de todas las ZATs en la ciudad de Chihuahua, el sub-modelo de generación de viajes para el año base 2020 arrojó un total de casi **3.5 millones de viajes-persona** por día, incluyendo todos las modalidades de transportación. Adicionalmente, el sub-modelo de generación de viajes arrojó un total de 216 mil viajes-vehículo comerciales para la transportación local de bienes (TT).

Distribución de viajes

La fase de distribución de viajes se enfoca en el intercambio de desplazamientos entre ZATs, identificando de dónde a dónde se llevan a cabo éstos. El intercambio de desplazamientos entre zonas convencionalmente se presenta como arreglo matricial de dos dimensiones, donde cada celda representa el número de viajes producidos en la microzona **i** (renglón **i**) y atraídos a la microzona **j** (columna **j**), por tanto, la base para la matriz Origen-Destino (O-D) de viajes-persona. Esto se ha aproximado empleando la formulación Gravitacional para emular la distribución de frecuencia de longitudes de viaje (DFLV) observada para los diferentes propósitos de viaje. Las longitudes de viaje se han especificado en minutos. La versión doblemente restringida del modelo gravitacional tradicional presenta la siguiente forma:

$$T_{ij} = \beta_i * P_i * \alpha_j * A_j * f(t_{ij}) \qquad \textbf{(Ec. II.1)}$$

Donde:

- T_{ij}: Viaje producidos en zona i y atraídos a zona j.
- P_i: Viajes totales producidos en zona i.
- β_i: Factor de balance para renglón i (restricción a producciones).
- A_j: Viajes totales atraídos a zona j.
- α_j: Factor de balance para columna j (restricción a atracciones)
- $f(t_{ij})$: Función de impedancia (decreciente), basada en el tiempo de viaje entre la zona i y la zona j.

Las dos restricciones que se requiere que el modelo cumpla son 1) que la sumatoria de viajes en cualquier renglón específico de la matriz debe ser igual al total de viajes producidos en esa zona, y 2) que la suma de viajes en cualquier columna específica corresponda con el número de viajes atraídos a esa zona. Las dos condiciones pueden formularse como:

$$\sum_j T_{ij} = P_i \qquad \textbf{(Ec. II.2)}$$

$$\sum_i T_{ij} = A_j \qquad \textbf{(Ec. II.3)}$$

Las expresiones de los dos factores de balance β_i y α_j pueden por tanto derivarse de simples manipulaciones algebraicas de las ecuaciones II.1 a II.3. Estas tienen la siguiente forma:

$$\beta_i = \frac{1}{\sum_j \alpha_j * A_j * f(t_{ij})} \qquad \textbf{(Ec. II.4)}$$

$$\alpha_j = \frac{1}{\sum_i \beta_i * P_i * f(t_{ij})} \qquad \textbf{(Ec. II.5)}$$

Como se muestra aquí, los factores de balance son interdependientes, lo que significa que los cálculos de uno requieren de los valores de otro, sugiriendo un proceso iterativo hasta alcanzar la convergencia. Por lo tanto, el camino práctico para resolver esta formulación es especificar modelos separados de una sola restricción tanto para producciones (Ec. II.6) como atracciones (Ec. II.7). El primero de estos modelos se obtiene de hacer $\alpha_j = 1$ pues para este caso las columnas no se balancean. Similarmente, el segundo se obtiene de hacer $\beta_i = 1$ pues para este caso los renglones son los que no se balancean.

$$T_{ij} = P_i * \frac{A_j * f(t_{ij})}{\sum_j A_j * f(t_{ij})} \qquad \textbf{(Ec. II.6)}$$

$$T_{ij} = A_j * \frac{P_i * f(t_{ij})}{\sum_i P_i * f(t_{ij})} \qquad \textbf{(Ec. II.7)}$$

Se converge a la solución para el modelo doblemente restringido mediante la aplicación iterativa de la Ec. II.6 para balancear producciones (renglones), y la Ec. II.7 para balancear atracciones (columnas).

Como resultado de este proceso se calibraron los factores de fricción (FF) que se muestran en la tabla II.3.

Tabla II.3. Factores de fricción por propósito genérico de viaje

HBW						HBNW						NHB						TT					
MIN	FF	MIN	FF	MIN	FF	MIN	FF	MIN	FF	MIN	FF	MIN	FF	MIN	FF	MIN	FF	MIN	FF	MIN	FF	MIN	FF
0	70.00	22	14.60	44	3.20	0	1700	22	27.00	44	3.00	0	800.0	22	18.00	44	3.00	0	250.2	22	6.09	44	0.00
1	59.40	23	13.80	45	3.00	1	1219	23	25.01	45	2.50	1	644.9	23	16.00	45	2.50	1	224.9	23	5.70	45	0.00
2	58.40	24	13.00	46	2.90	2	753.0	24	23.00	46	2.00	2	457.0	24	15.00	46	2.00	2	155.7	24	5.19	46	0.00
3	55.00	25	12.20	47	2.70	3	526.6	25	21.00	47	1.50	3	343.0	25	14.00	47	1.50	3	124.4	25	4.78	47	0.00
4	48.51	26	11.74	48	2.70	4	353.9	26	19.50	48	1.00	4	255.0	26	13.00	48	1.00	4	99.47	26	4.46	48	0.00
5	44.30	27	10.90	49	2.70	5	234.2	27	18.00	49	0.75	5	167.3	27	12.00	49	0.75	5	82.90	27	3.99	49	0.00
6	41.13	28	10.40	50	2.70	6	172.2	28	17.05	50	0.50	6	122.0	28	11.00	50	0.50	6	68.05	28	3.65	50	0.00
7	37.83	29	9.90	51	2.49	7	142.0	29	16.00	51	0.25	7	93.71	29	10.50	51	0.25	7	55.84	29	3.25	51	0.00
8	35.60	30	9.30	52	2.50	8	117.6	30	15.00	52	0.00	8	76.00	30	10.00	52	0.00	8	48.29	30	2.95	52	0.00
9	31.97	31	8.54	53	2.50	9	96.35	31	14.00	53	0.00	9	70.00	31	9.50	53	0.00	9	38.93	31	2.63	53	0.00
10	29.50	32	7.70	54	2.40	10	79.20	32	13.00	54	0.00	10	65.00	32	9.00	54	0.00	10	33.17	32	2.30	54	0.00
11	27.70	33	6.90	55	2.30	11	66.00	33	12.00	55	0.00	11	60.00	33	8.50	55	0.00	11	27.20	33	1.96	55	0.00
12	25.80	34	6.40	56	2.30	12	58.00	34	11.00	56	0.00	12	55.00	34	8.00	56	0.00	12	22.28	34	1.12	56	0.00
13	23.70	35	5.70	57	2.20	13	51.83	35	10.00	57	0.00	13	50.00	35	7.50	57	0.00	13	18.62	35	0.80	57	0.00
14	22.20	36	5.50	58	2.00	14	48.00	36	9.00	58	0.00	14	45.00	36	7.00	58	0.00	14	15.78	36	0.67	58	0.00
15	20.80	37	5.00	59	2.00	15	43.00	37	8.00	59	0.00	15	40.00	37	6.50	59	0.00	15	13.46	37	0.51	59	0.00
16	19.80	38	4.69	60	1.80	16	39.50	38	7.00	60	0.00	16	36.00	38	6.00	60	0.00	16	11.38	38	0.27	60	0.00
17	18.80	39	4.30	61	1.80	17	36.00	39	6.00	61	0.00	17	32.00	39	5.50	61	0.00	17	10.08	39	0.00	61	0.00
18	17.80	40	4.00	62	1.50	18	34.00	40	5.00	62	0.00	18	29.00	40	5.00	62	0.00	18	8.83	40	0.00	62	0.00
19	17.20	41	3.80	63	1.40	19	32.00	41	4.50	63	0.00	19	26.00	41	4.50	63	0.00	19	7.67	41	0.00	63	0.00
20	16.30	42	3.60	64	1.30	20	30.00	42	4.00	64	0.00	20	23.00	42	4.00	64	0.00	20	6.75	42	0.00	64	0.00
21	15.50	43	3.30	65	1.30	21	28.57	43	3.50	65	0.00	21	20.00	43	3.50	65	0.00	21	20.00	43	0.00	65	0.00

Empleando los FF calibrados con la formulación Gravitacional, se desarrollaron las figuras II.7 a II.10 que muestra el comparativo de DFLVs observados (sum) vs. modelados (adjusted) para los distintos propósitos de viaje, indicando el grado de similitud obtenido.

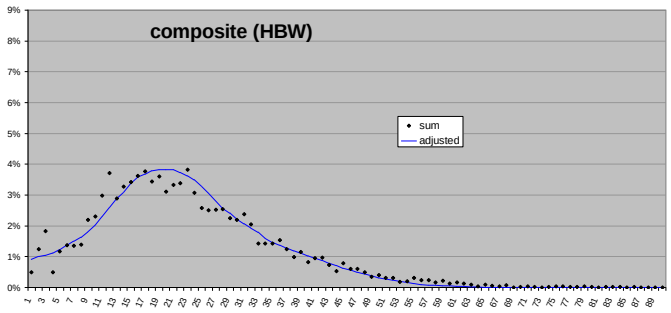


Figura II.7. Comparativo DFLV para propósito HBW

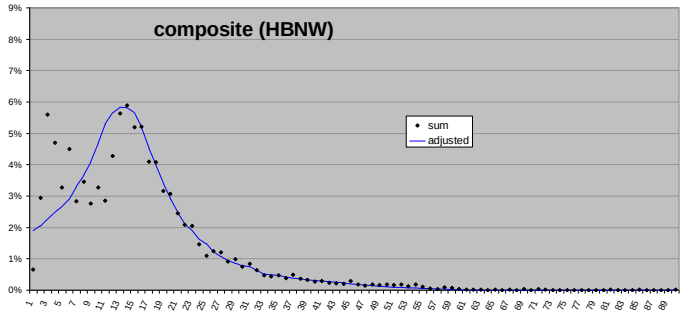


Figura II.8. Comparativo DFLV para propósito HBNW

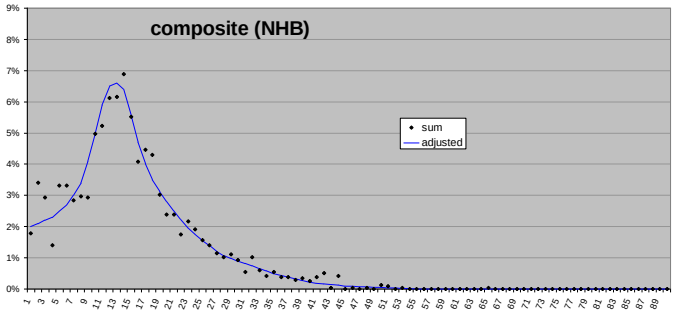


Figura II.9. Comparativo DFLV para propósito NHB

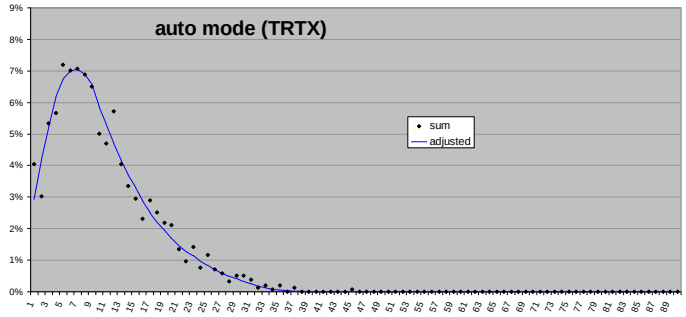


Figura II.10. Comparativo DFLV para propósito TT

De este comparativo de distribución de frecuencias, y diferencias menores a 5% en los correspondientes promedios de tiempos de viajes resultantes, se pueden considerar los FF adecuados para pronóstico.

Elección modal

Este sub-modelo representa una adición importante al MDT 2020, permitiendo estimar la partición modal de la demanda de traslados, en lugar de considerarla fija. Para su desarrollo se aprovecharon encuestas de viaje recientemente realizadas en la ciudad de Chihuahua[5], adaptando al algoritmo Multinomial Logit (MNL):

$$P_{qj} = f(U_1, U_2, \ldots, U_N) = \frac{e^{U_j}}{\sum_{n=1}^{N} e^{U_n}} \qquad \textbf{(Ec. II.8)}$$

Donde:

P_{qj}: Probabilidad que individuo q elija el modo j.
U_j, U_k, U_l: Funciones de utilidad para modos j, k, l,…

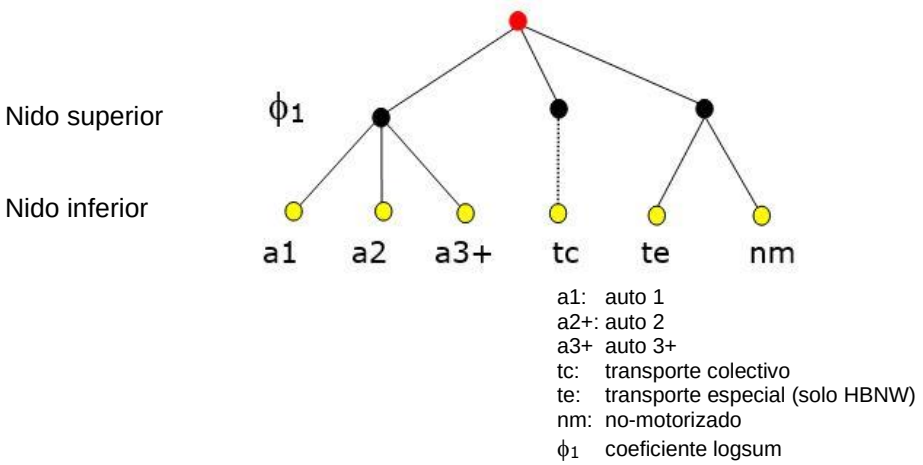
La función de utilidad para cada modo alternativo usualmente depende de las características del individuo y de los atributos de cada modo de traslado. Convencionalmente esta función es lineal en los parámetros de las variables seleccionadas, bajo la siguiente forma:

$$U_j = \beta_0 + \beta_{x1}*X_1 + \beta_{x2}*X_2 + \ldots + \beta_{xn}*X_n + \beta_{s1}*S_1 + \beta_{s2}*S_2 + \ldots + \beta_{sm}*Sm \qquad \textbf{(Ec. II.9)}$$

Donde:

U_j: Función de utilidad para modo j.
$X_1, X_2, \ldots, Xm$: Atributos modales.
$S_1, S_2, \ldots, Sm$: Características del individuo.
β_0: Constante específica de la alternativa.
$\beta_{x1}, \beta_{x2}, \ldots, \beta_{xn}$: Parámetros para atributos modales.
$\beta_{s1}, \beta_{s2}, \ldots, \beta_{sm}$: Parámetros para características del individuo.

Para el componente de elección modal, se planteó la estructura anidada de la figura II.11 y ésta se modeló empleando el método simultáneo.



a1: auto 1
a2+: auto 2
a3+ auto 3+
tc: transporte colectivo
te: transporte especial (solo HBNW)
nm: no-motorizado
ϕ_1 coeficiente logsum

Figura II.11. Estructura anidada empleada para el MNL (método simultáneo).

[5] Encuestas OD realizadas como parte del estudio de Reestructuración del Sistema de transporte para Chihuahua (2019)

La forma funcional resultante con los coeficientes respectivos, por propósito de viaje es la siguiente:

HBW	HBNW	NHB
$U_{a1} = \beta_{01}$*ivtt + β_{02}*opcost + β_{51}*hhsiz + β_{91}	$U_{a1} = \beta_{01}$*ivtt + β_{02}*opcost + β_{51}*hhsiz + β_{91}	$U_{a1} = \beta_{01}$*ivtt + β_{02}*opcost + β_{91}
$U_{a2} = \beta_{01}$*ivtt + β_{02}*opcost + β_{52}*hhsiz	$U_{a2} = \beta_{01}$*ivtt + β_{02}*opcost + β_{52}*hhsiz + β_{92}	$U_{a2} = \beta_{01}$*ivtt + β_{02}*opcost + β_{92}
$U_{a3} = \beta_{01}$*ivtt + β_{02}*opcost + β_{53}*hhsiz	$U_{a3} = \beta_{01}$*ivtt + β_{02}*opcost + β_{53}*hhsiz	$U_{a3} = \beta_{01}$*ivtt + β_{02}*apcost
$U_{tc} = \beta_{01}$*ivtt + β_{07}*ovtt + β_{02}*opcost + β_{06}*hhinclev + β_{94}	$U_{tc} = \beta_{01}$*ivtt + β_{07}*ovtt + β_{02}*opcost + β_{06}*hhinclev + β_{94}	$U_{tc} = \beta_{01}$*ivtt + β_{07}*ovtt + β_{02}*opcost + β_{11}*walkdist
$U_{nm} = \beta_{09}$*walkdist + β_{200}*acd	$U_{nm} = \beta_{09}$*walkdist + β_{61}*hhinclev + β_{96}	$U_{nm} = \beta_{09}$*walkdist + β_{200}*acd
	$U_{te} = \beta_{10}$*ivtt + β_{62}*hhinclev + β_{95}	

nido $U_7 = \beta_{01}$*ivtt + β_{02}*opcost

nido $U_8 = \beta_{200}$*acd

La descripción de atributos modales y sus coeficientes calibrados se detallan en la tabla **II.4.**

Para la estimación de atributos modales que alimentasen el MNL, fue necesario actualizar el SIG de la red vial, y sobre ésta desarrollar la red de transporte colectivo, ambos para el 2020. Las figuras II.12 y II.13 muestran los mapas de la geocodificación respectiva.

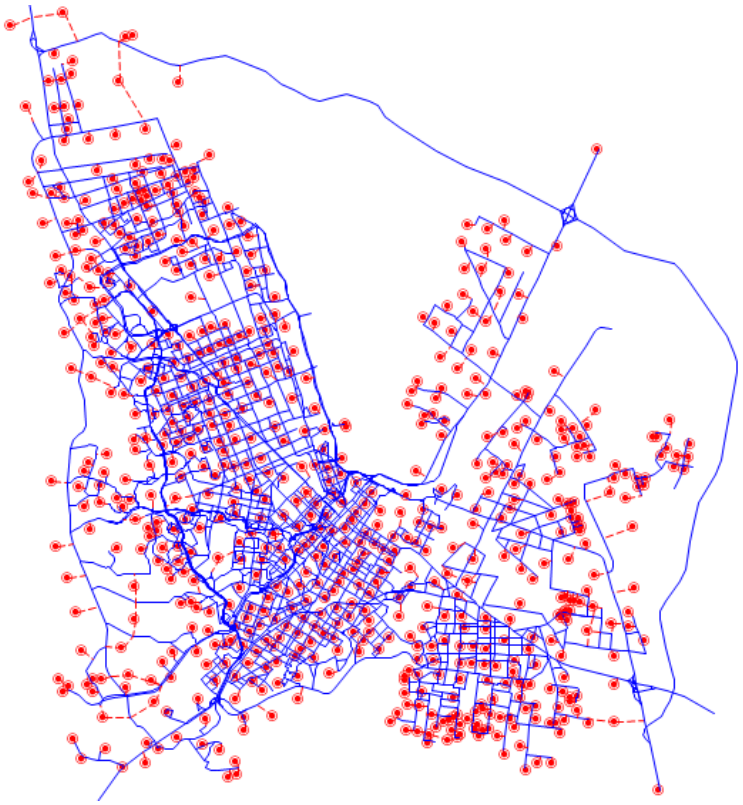


Figura II.12. Modelo de red vial 2020

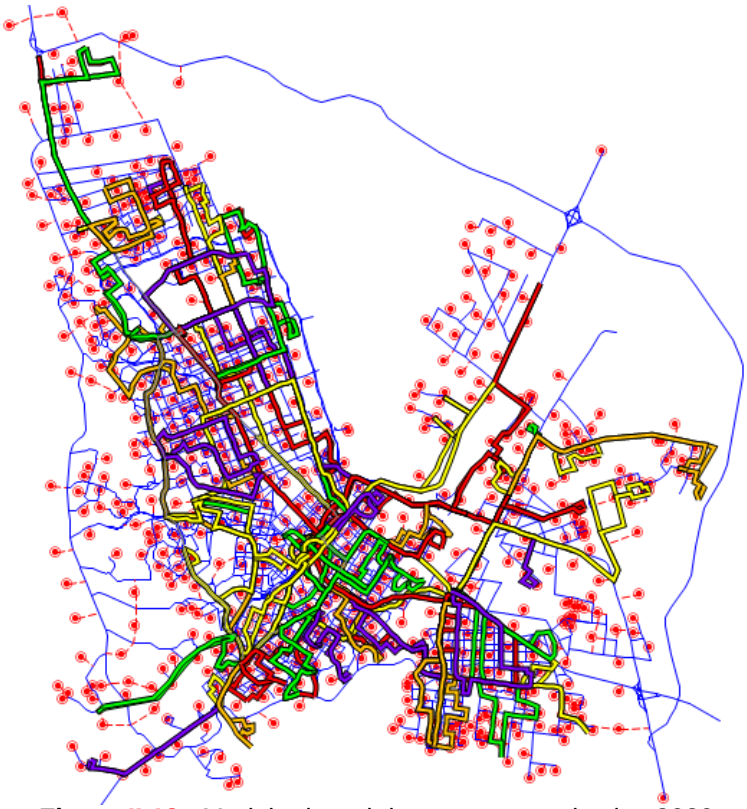


Figura II.13. Modelo de red de transporte colectivo 2020

Tabla II.4. Parámetros calibrados del modelo de elección modal

coef	atributo	descripción atributo	HBW		HBN		NHB	
			valor coef	t-test	valor coef	t-test	valor coef	t-test
β_{01}	ivtt	tiempo de viaje en vehículo	-0.016019	-1.24	-0.028643	-3.12	-0.039616	-1.80
β_{02}	opcost	costo al bolsillo	-0.613910	-2.03	-1.579261	-7.08	-3.065864	-4.28
β_{06}	hhinclev	nivel ingreso vivienda (tc)	-0.627476	-3.56	-0.862349	-7.96		
β_{07}	ovtt	tiempo de viaje fuera vehículo (tc)	-0.049110	-4.17			-0.095380	-4.04
β_{09}	walkdist	distancia caminando (nm)	-0.928169	-6.87	-2.020338	-23.53	-2.681372	-7.60
β_{10}	ivtt	tiempo de viaje en vehículo (te)			-0.033802	-9.44		
β_{11}	walkdist	distancia caminando (tc)					-0.229755	-1.55
β_{51}	hhsiz	hab/viv (a1)	-0.368991	-6.05	-0.677903	-19.78		
β_{52}	hhsiz	hab/viv (a2)	-0.166434	-2.79	-0.494422	-14.85		
β_{53}	hhsiz	hab/viv (a3+)	-0.234631	-3.55	-0.121298	-3.83		
β_{61}	hhinclev	nivel ingreso vivienda (nm)			-0.256616	-5.01		
β_{62}	hhinclev	nivel ingreso vivienda (te)			-0.115739	-1.89		
β_{91}		ASC (a1)	2.044922	17.40	1.139767	13.87	0.694101	19.56
β_{92}		ASC (a2)			0.943751	12.13	0.241098	6.24
β_{94}		ASC (tc)	0.730697	1.53	2.105737	7.47		
β_{95}		ASC (te)			-0.782227	-4.72		
β_{96}		ASC (nm)			2.525807	16.83		
β_{200}	acd	densidad de actividad ZAT	0.000006	2.19			0.000011	6.12
ϕ_1		logsum	0.834615	7.50	0.636937	16.46	0.693914	10.17
		valor tiempo	$ 1.57		$ 1.09		$ 0.78	
		1st wait/ivtt			1.29			
		2d wait/ivtt			2.72			
		ovtt/ivtt	3.07				2.41	
		"Rho-Squared" w.r.t. Zero	0.5239		0.2455		0.2573	

Una vez aplicado el sub-modelo de elección modal para 2020, arroja la siguiente partición genérica de los traslados:

AUTO	57%	(1.98 millones de traslados-persona/día: 66% a1, 22% a2 y 12% a3+)
T. COLECTIVO	10%	(0.35 millones de traslados -persona/día)
T. ESPECIAL	5%	(0.17 millones de traslados -persona/día)
NO-MOTOR	28%	(0.97 millones de traslados -persona/día)

En el caso del modo AUTO, los 1.79 millones de traslados-persona estimados equivalen a 1.45 millones de traslados-auto; tal volumen diario resultante sumado al volumen de viajes comerciales (TT) arrojan un total de 1.6 millones de viajes-vehículo/día en la ciudad de Chihuahua para el año 2020. Para propósitos de evaluación operacional crítica, los flujos diarios fueron convertidos a hora pico aplicando un factor k de 10.0% a la matriz OD diaria, con base en el patrón observado de la distribución horaria del tráfico obtenida de los conteos diarios.

Asignación de tráfico y validación

La fase final del MDT consiste en "cargar" los viajes-vehículo de la matriz O-D en la infraestructura vial. Para esta tarea se actualizaron los atributos de la red vial emulando las condiciones de infraestructura del año base 2020.

Cabe insistir que la red vial para el MDT es una versión simplificada de la traza de calles, donde solo se incluye arterias principales, desde viaductos a calles colectoras. Las calles locales se modelan a través de arcos artificiales conocidos como conectores, los cuales permiten la canalización de flujos entre microzonas (centroides). La red codificada un en un SIG vial ha sido revisada en sus atributos para actualizar a condiciones 2020. La figura II.14 muestra detalles de la codificación y de los atributos.

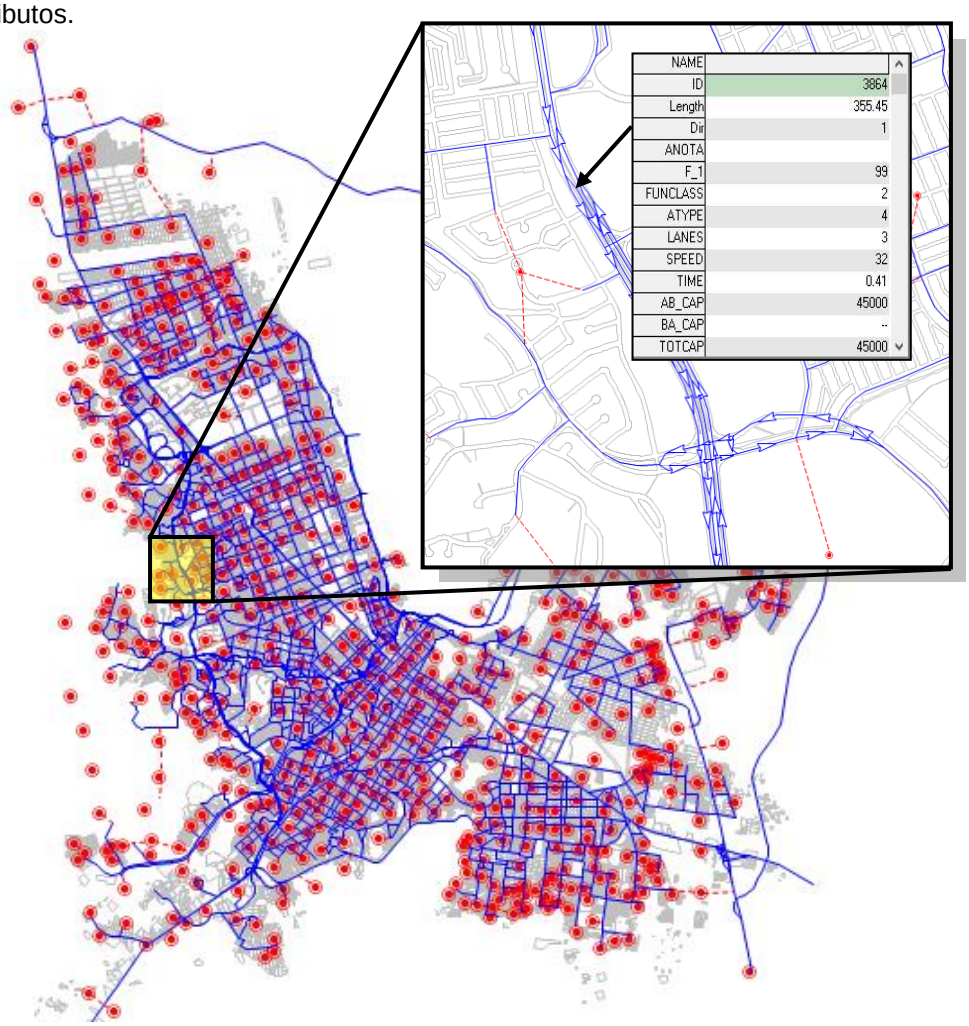


Figura II.14. Ejemplo de atributos metadatos para la red vial codificada

La matriz OD se cargó a la red empleando el algoritmo de Usuario-en-Equilibrio (UE); los flujos resultantes de arcos seleccionados se compararon a flujos observados de conteos para validar el MDT. La red cargada se muestra en la figura II.15 e incluye el comparativo de los conteos diarios y los flujos obtenidos del MDT. Para el uso inmediato y primordialmente vial que se ha planteado para el MDT, tales diferencias se consideran aceptables en tanto que son significativamente menores a la capacidad equivalente de un carril en hora pico (<2,000 vph, considerando factor de hora pico de 10%).

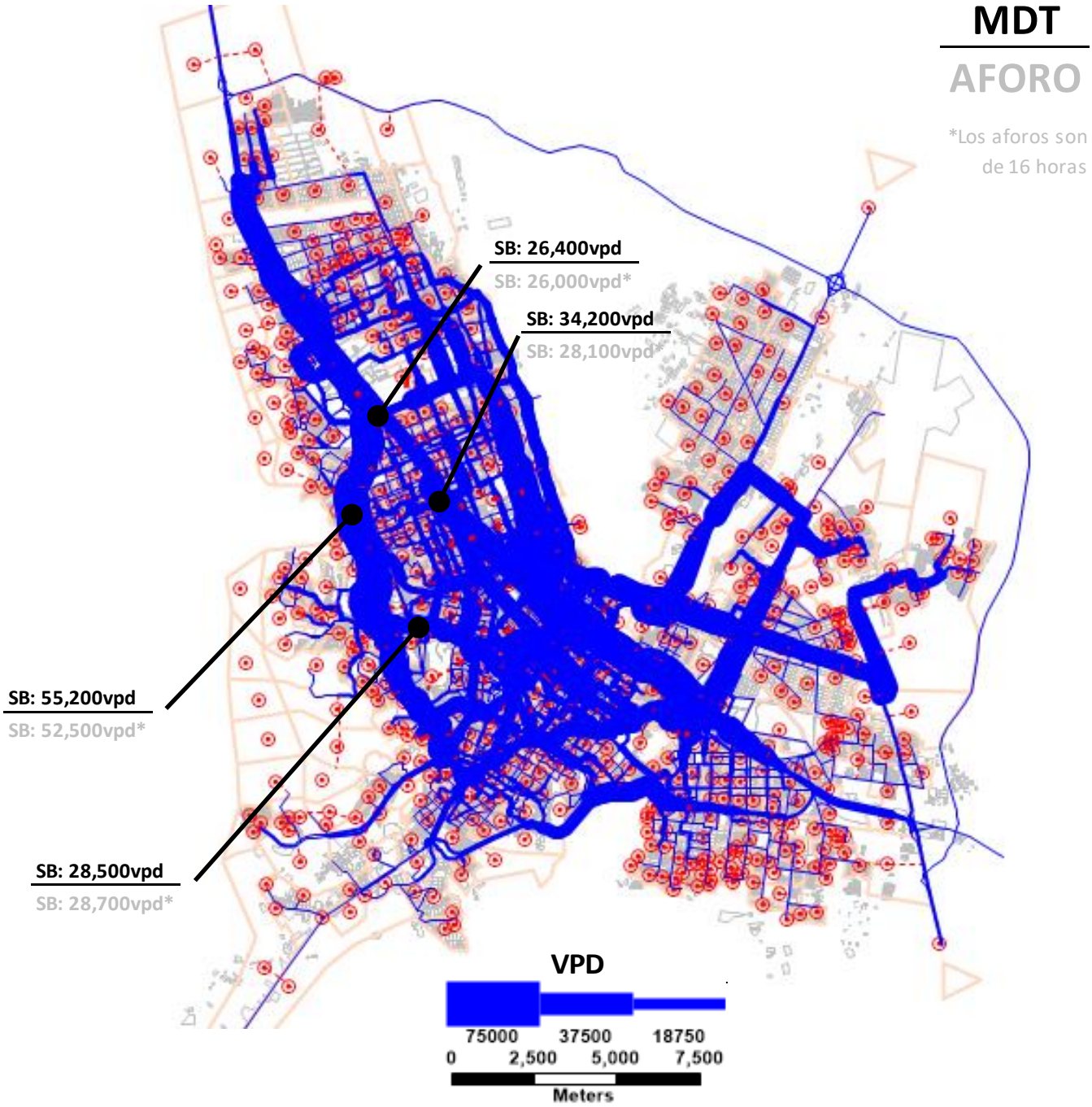


Figura III.15. Red vial de Chihuahua cargada con flujos vehiculares diarios (año base 2020)

Este comparativo inicial permite emplear el MDT de Chihuahua como herramienta preliminar de pronóstico; un primer esfuerzo para evaluar políticas y proyectos viales. Gradualmente, es recomendable contar con una muestra de aforos diarios más amplia, que permitan mejorar la validación.

III. MDT bajo escenarios de proyecto

Una vez actualizado el MDT para el año base 2020, es posible emplearle para otros escenarios, tanto de infraestructura de transportación como de crecimiento demográfico.

Alternativas de alineamiento Poniente 5

En cuanto a infraestructura, un objetivo inicial ha sido el evaluar el impacto de posibles alineamientos para el eje Poniente 5. Para ello, la Dirección de Obras Públicas Municipales proporcionó información para las tres alternativas que se muestran gráficamente en la figura III.1.

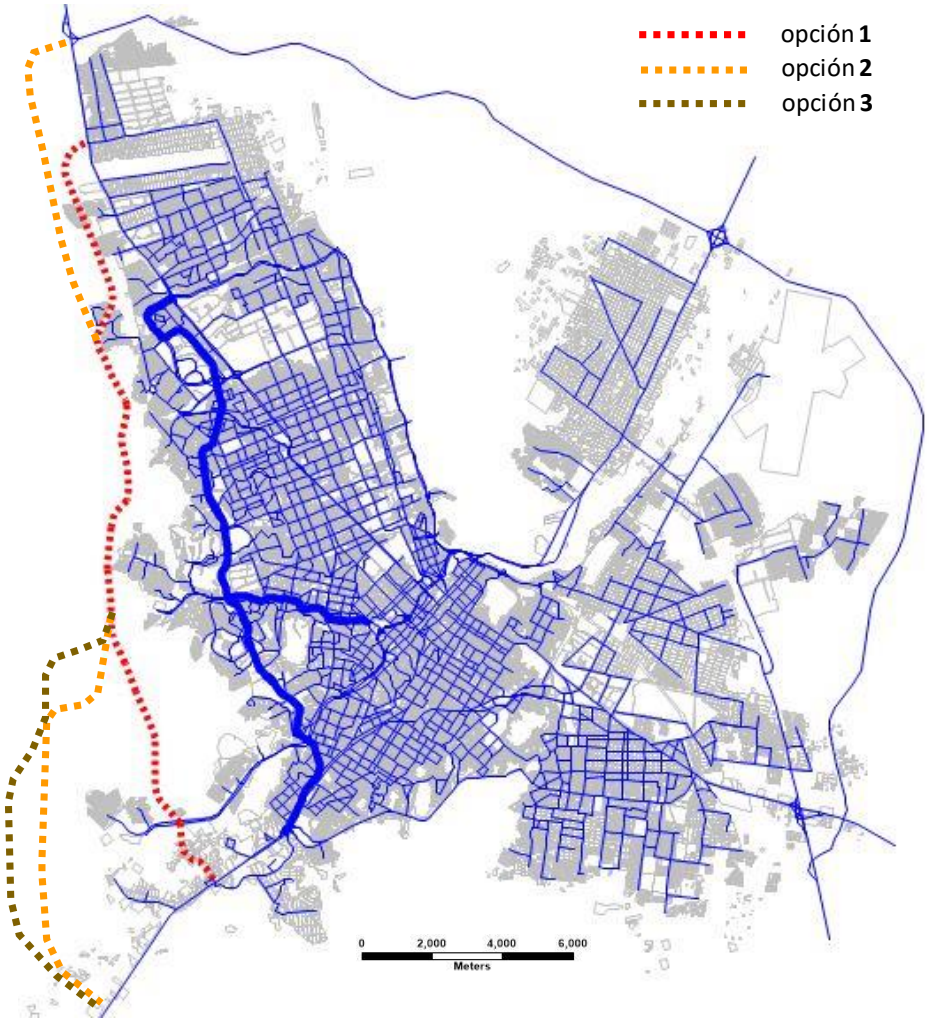


Figura III.1. Opciones de Poniente 5 respecto Periférico de la Juventud y Av. de la Cantera

La opción 1 es la más corta en longitud con 23 km que van desde el extremo norte en el entronque de Av. Tecnológico y la antigua carretera a Juárez (Curvas del Perico), hasta el sur conectando con la carretera a Cuauhtémoc, aproximadamente a 3 km al poniente de Periférico Francisco Almada. Este alineamiento corre paralelo al Periférico de la Juventud, en promedio a 4 km de separación.

La opción 2 tendría una longitud total de 30 km; inicia al norte en el entronque de Av. Tecnológico con el libramiento Oriente, y termina en el sur también conectando con carretera a Cuauhtémoc, pero a 8 km al poniente del Periférico Francisco Almada. Coincide con el alineamiento de la opción 1 en su tramo medio, pero en su tramo sur se aleja hasta 9 km del Periférico de la Juventud.

La opción 3 es una variante de la opción 2 en el tramo sur, distanciándose alrededor de 0.5 km hacia el poniente.

De las tres alternativas de alineamiento, la opción 1 es la más cercana al Periférico de la Juventud, y por tanto la que potencialmente pudiera atraer (desfogar) más de su tráfico. En cuanto al tráfico externo, los aforos y encuestas OD en caseta Sacramento indican que es aún muy bajo el flujo vehicular que utilizaría la Poniente 5 como libramiento entre carretera a Juárez y carretera a Cuauhtémoc (figura I.9). Siendo entonces que atraerá más tráfico interno que externo, el alineamiento de la opción 1 es el que se percibe con mejor ubicación para ello, y por tanto el que se seleccionó para una primera evaluación. La figura III.2 muestra el alineamiento de la opción 1 y la red para su conectividad vial[6] que deberán geocodificarse en el MDT.

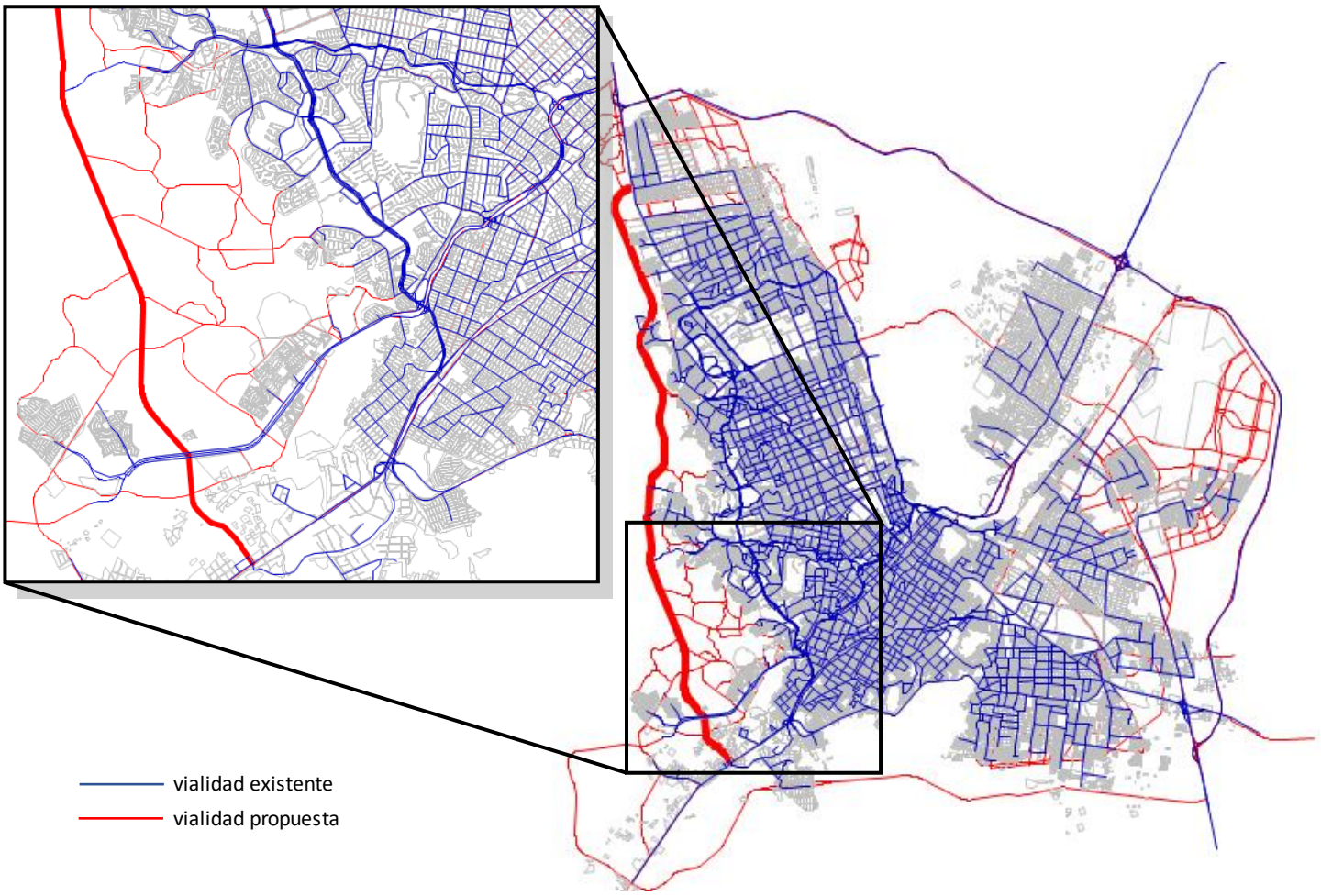


Figura III.2. Red vial para la conectividad de la Poniente 5 (opción 1)

La ubicación geográfica de la opción 1 así como de la red vial propuesta requirió de agregar nuevos ZATs, así como nuevos centroides y conectores virtuales.

La figura III:3 muestra la geocodificación del alineamiento de la Poniente 5 y de su conectividad al resto de la red, así como la estructura de ZATs modificada para incluir nuevas zonas periféricas. Tales modificaciones a los SIGs del MDT permitirán correrlo para escenarios al año 2030.

[6] Propuesta de vialidad futura proporcionada por la Dirección de Obras Públicas Municipales

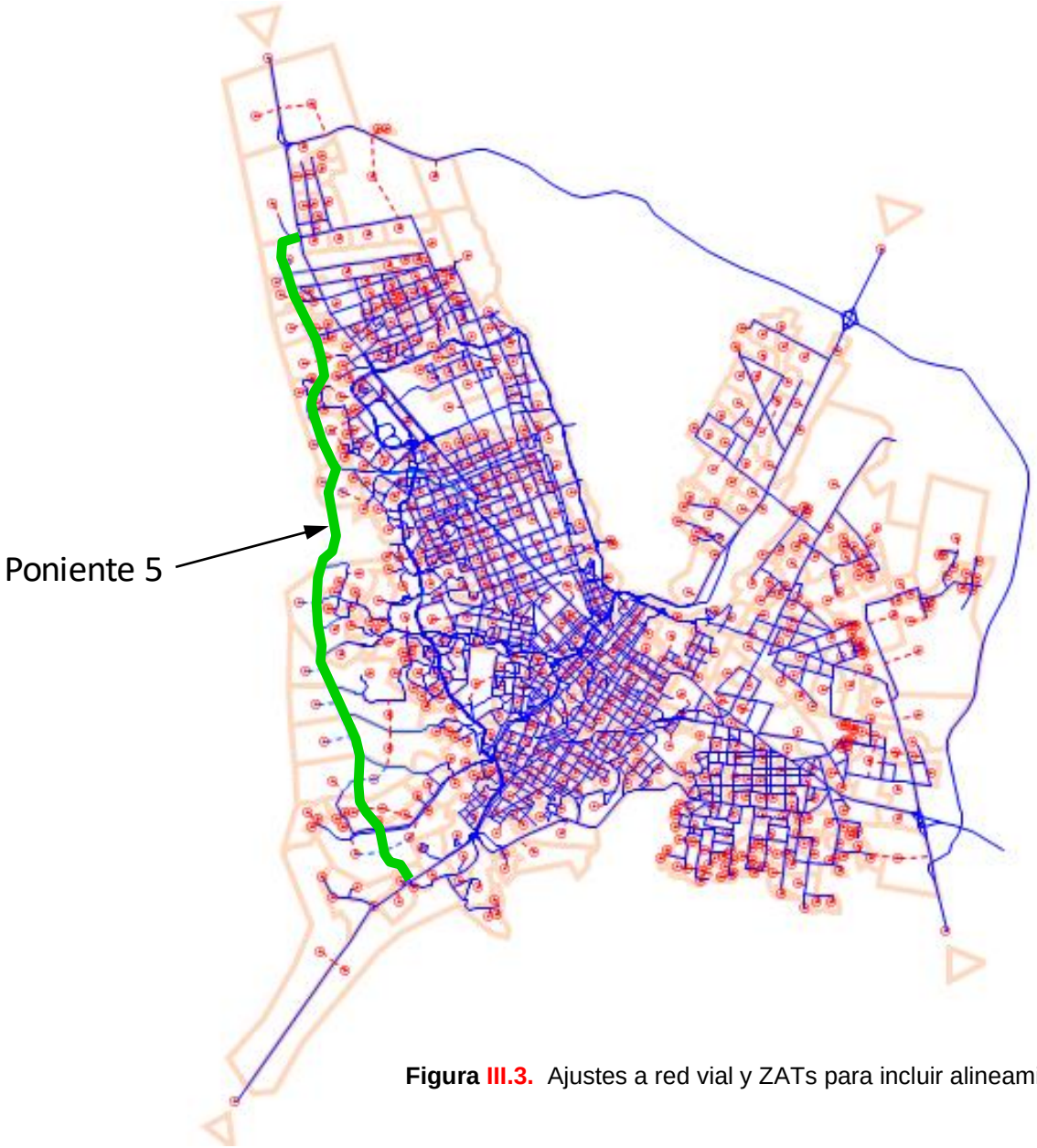


Figura III.3. Ajustes a red vial y ZATs para incluir alineamiento de Poniente 5

Proyecciones de crecimiento poblacional

Para evaluar el impacto de la Poniente 5 a plazos al 2025 y al 2030, requirió de establecer totales poblacionales a nivel urbano para tales años. La tabla III.1 muestra los totales de control reportados por el IMPLAN, así como el incremento respecto al año 2015.

Tabla III.1. Proyecciones de crecimiento poblacional en zona urbana de la ciudad de Chihuahua[7]

AÑO	POBLACIÓN	Δ respecto 2020
2020	939,772	
2025	970,162	30,390
2030	993,554	53,782

[7] Proyecciones de población y vivienda de la Ciudad de Chihuahua: www.implanchihuahua.org. Los datos publicados de población urbana a 2025 y 2030 son de 948,706 y de 977,517 habitantes respectivamente; tales cifras han sido ajustadas por personal autorizado de la institución a lo mostrado en la tabla, e indicadas como las correctas para el presente estudio (por reflejarse en el portal).

Escenario demográfico 1: inercial

Un primer escenario de crecimiento demográfico es el que se observa históricamente en la ciudad de Chihuahua, y que obedece a las leyes del mercado ante una oferta de suelo periférico vasto y barato, en conjunto con limitados controles a la dispersión urbana; la figura II.2 (capítulo II) da muestra de este comportamiento en los últimos cinco años; se le ha denominado escenario demográfico inercial. La figura III.4 muestra los sectores de la ciudad donde se estima que se daría el crecimiento demográfico al año 2030, así como la red vial a modelar.

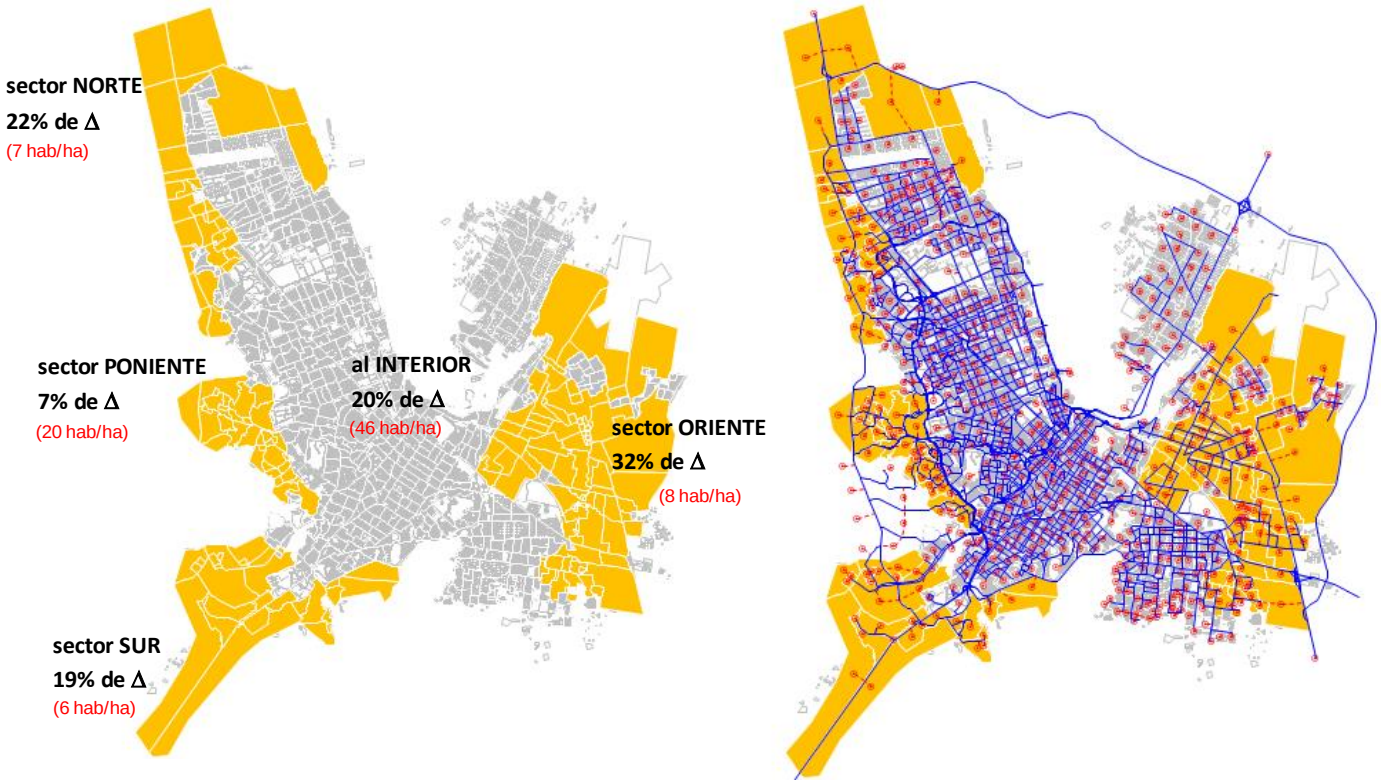


Figura III.4. Escenario demográfico 1 (inercial) al año 2030 y red vial correspondiente

Finalmente, la figura III.5 muestra los volúmenes diarios resultantes del MDT para este escenario al 2030.

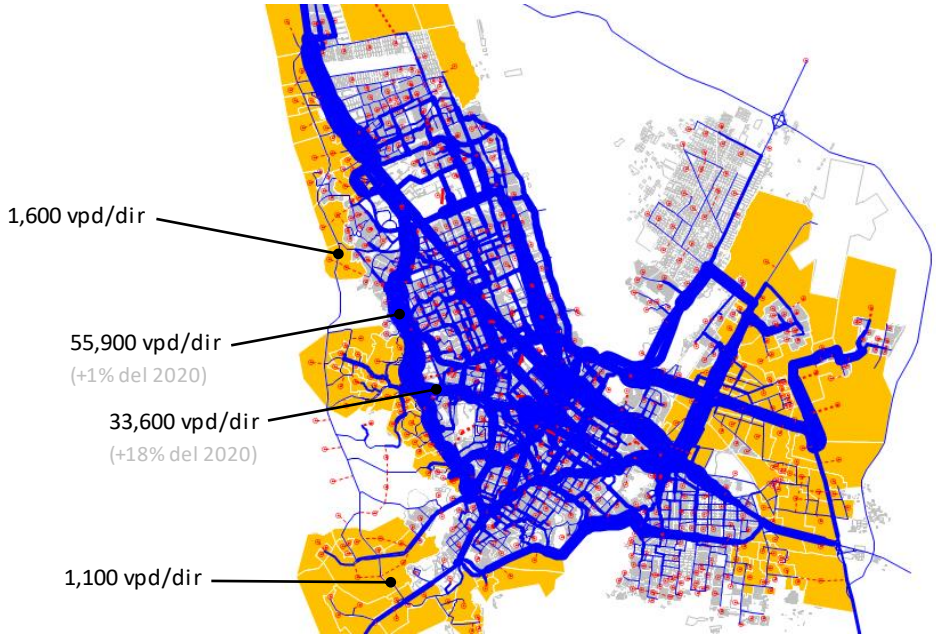


Figura III.5. Volúmenes diarios 2030 asignados a la red vial bajo escenario demográfico 1 (inercial)

De la figura III.5 cabe destacar que el escenario demográfico 1 al año 2030 aumentaría el volumen vehicular sobre Av. de la Cantera hasta en un 18% comparado con el flujo en 2020, aún con la implementación del eje vial Poniente 5. En su tramo más crítico al 2030 el eje vial Poniente 5 atrae un volumen de 1,600 vehículos diarios en cada dirección, equivalente a 160 vehículos/sentido en hora pico. Tal flujo apenas requiere de un carril vehicular.

Escenario demográfico 2: compacto

En contraparte al escenario inercial de crecimiento disperso, el IMPLAN solicitó considerar un segundo escenario en el que se pudiera evaluar el impacto de concentrar el crecimiento urbano en corredores con infraestructura de alta capacidad de transporte colectivo BRT, dentro de un polígono que ha denominado Ciudad Cercana. Para ello se estarían aprovechando lotes baldíos y promoviendo en ellos desarrollos habitacionales verticales de alta densidad. La figura III.6 muestra la ubicación de tales corredores y los ZATs a densificar.

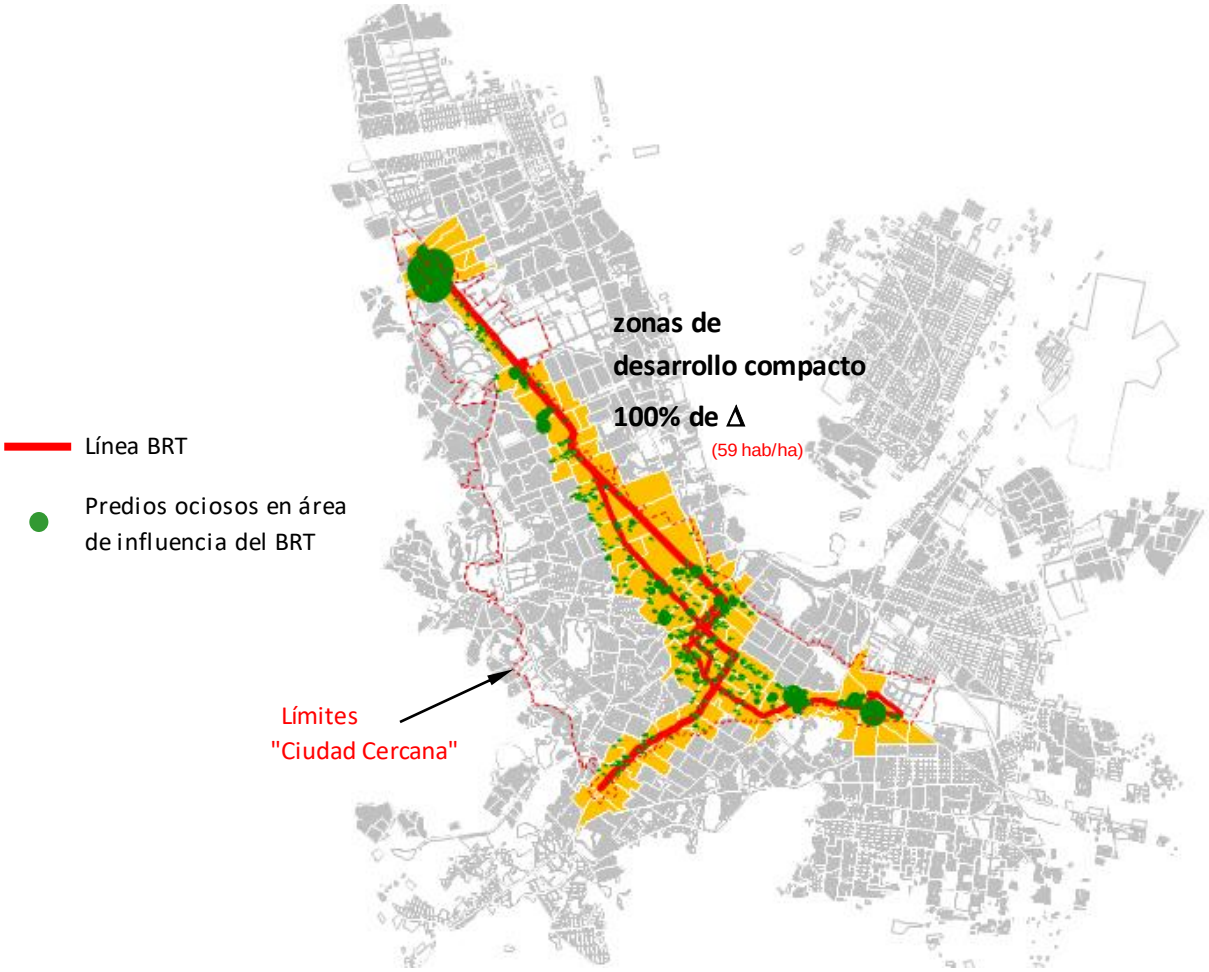


Figura III.6. Escenario demográfico 2 (compacto) al año 2030 y líneas BRT en las que se desarrolla

Para el escenario 2, además de agregar la demografía en los ZATs respectivos, fue necesario geocodificar las rutas BRT así como la red de alimentación a éstos. La figura III.7 muestra la red de transporte colectivo geocodificada para 2030, y el resultado de correr el MDT, indicando gráficamente los volúmenes de pasajeros asignados a la red de transporte colectivo; para este escenario el MDT muestra un aumento de partición modal en transporte colectivo del 9%.

La figura III.8 muestra similarmente el resultado de la asignación de vehículos motorizados a la red vial. De esta asignación se puede apreciar que para 2030 la Poniente 5 atrae un volumen menor que en el escenario anterior, pero aun así la reducción en Periférico de la Juventud y Av. de la Cantera puede llegar a 8%. En Av. Tecnológico se reduce el volumen vehicular (aumenta el de pasajeros de transporte colectivo). Es importante indicar, sin embargo, que para este escenario, la sección de Av. Tecnológico se codificó con reducción de dos carriles por sentido, anticipando dar espacio suficiente para carriles dedicados del BRT.

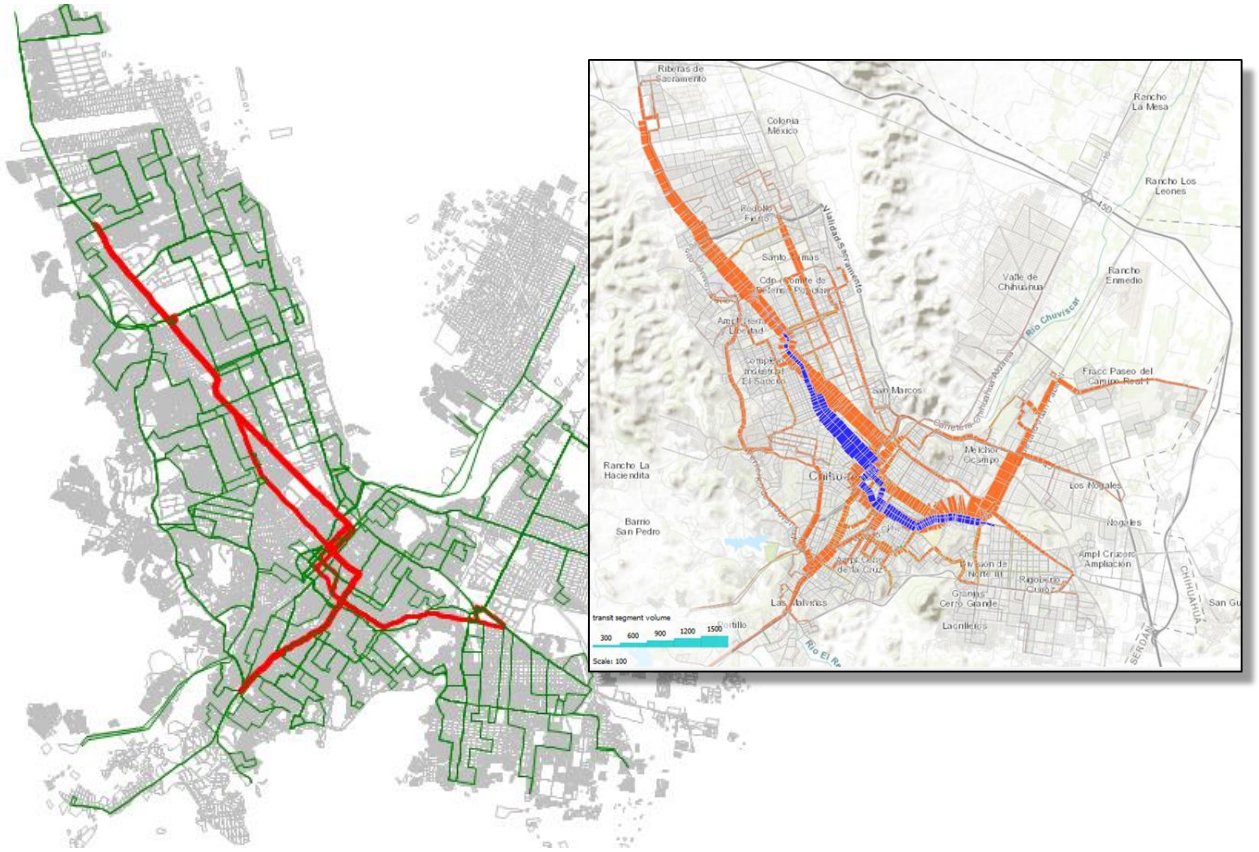


Figura III.7. Red de transporte colectivo agregada al MDT 2030 y su asignación resultante

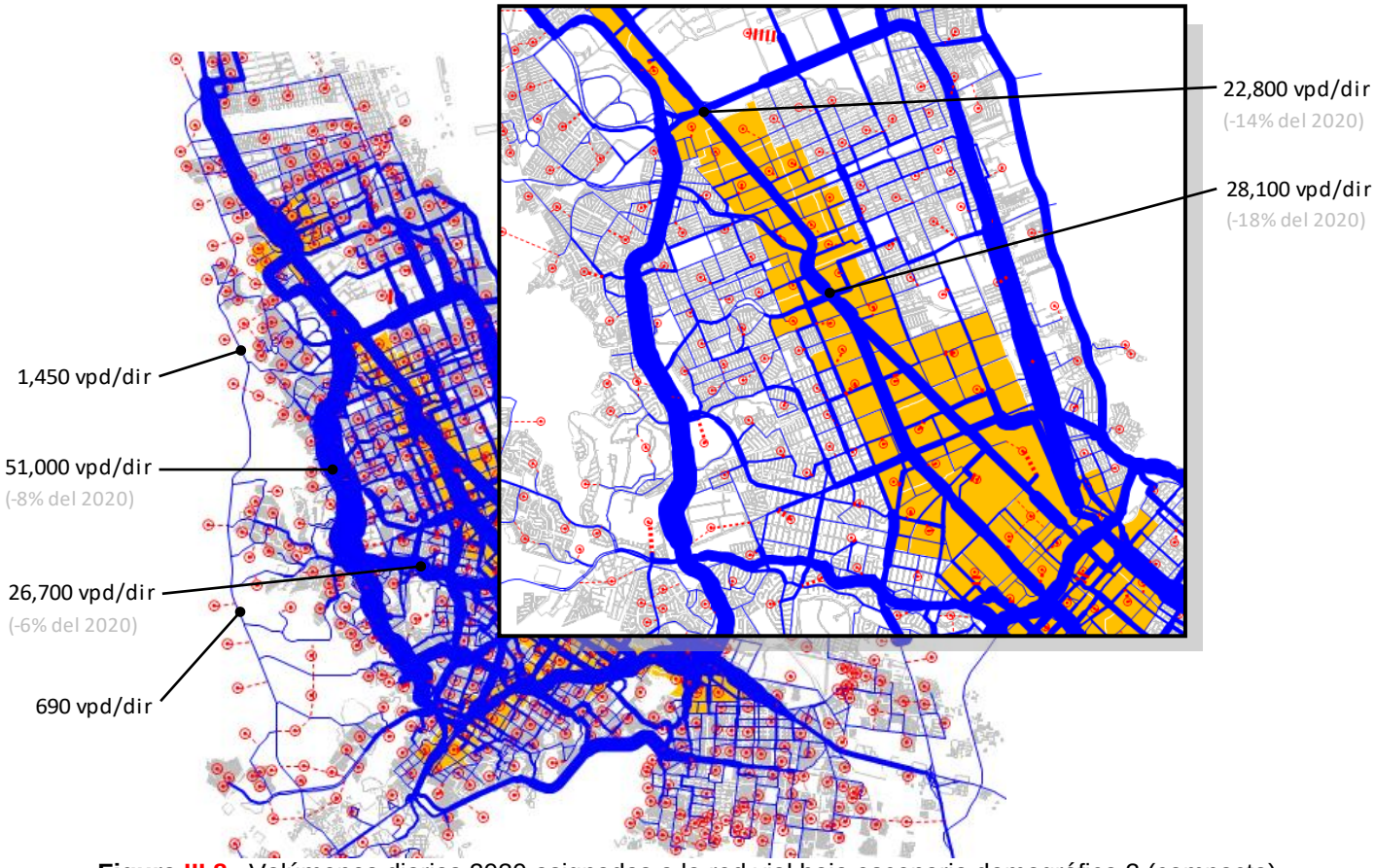


Figura III.8. Volúmenes diarios 2030 asignados a la red vial bajo escenario demográfico 2 (compacto)

Escenario demográfico 3: surponiente

El tercer escenario se evaluó por sugerencias de la Dirección Municipal de Desarrollo Urbano, ubicando el crecimiento al año 2030 en la zona surponiente de la ciudad que se muestra en la figura III.9.

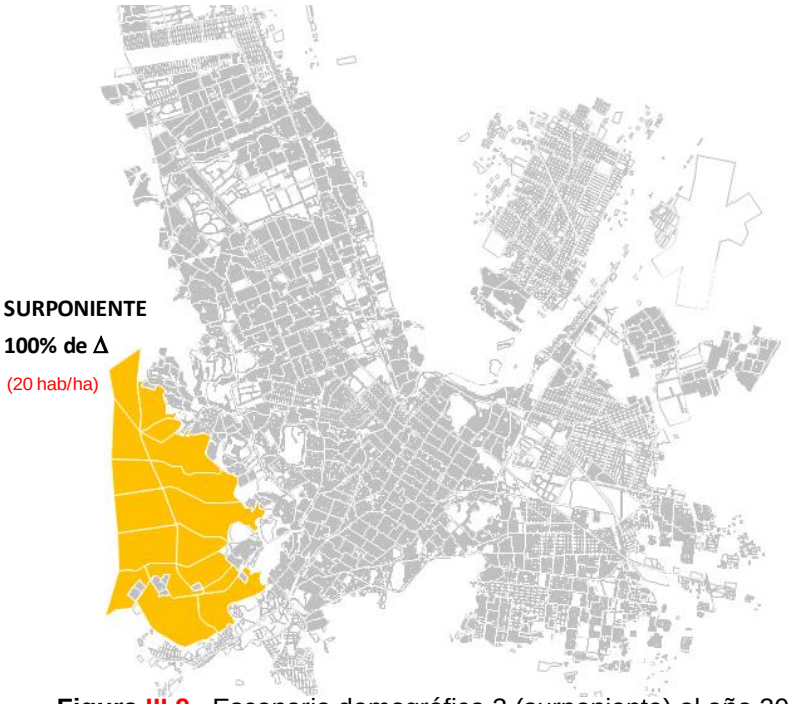


Figura III.9. Escenario demográfico 3 (surponiente) al año 2030

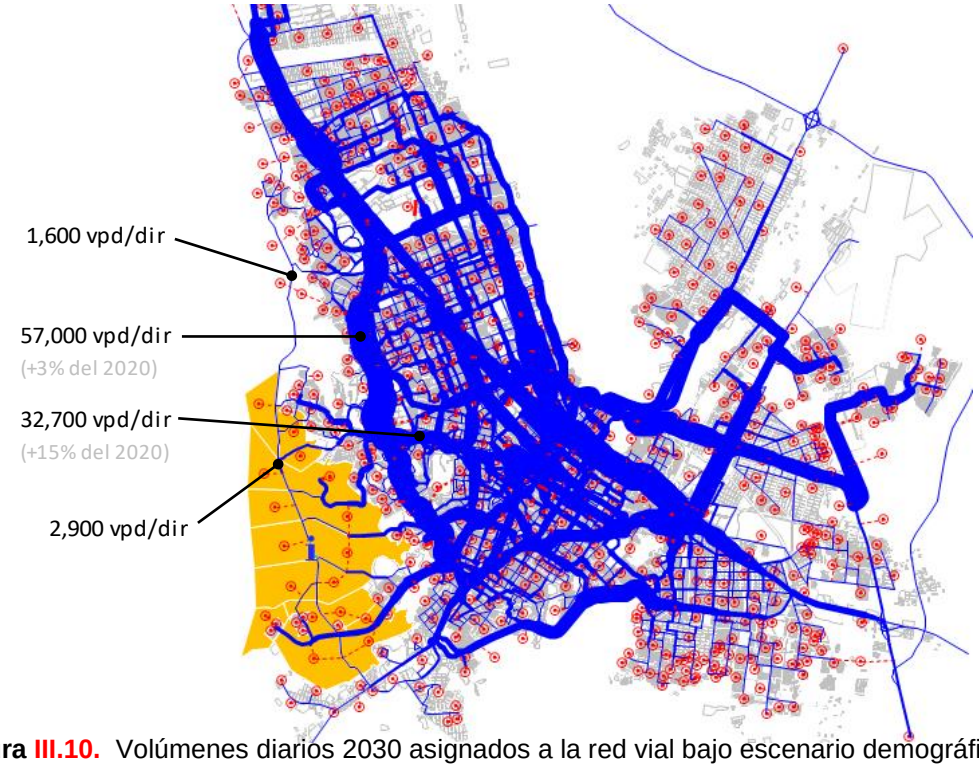


Figura III.10. Volúmenes diarios 2030 asignados a la red vial bajo escenario demográfico 3 (surponiente)

Una vez aplicado el MDT, los volúmenes 2030 muestran (figura III.10) que el mayor aumento se de en tramos oriente-poniente que conectan con el sector de crecimiento; particularmente Av. de la Cantera aumenta su volumen 15% con respecto a 2020. Sobre Poniente 5 el alineamiento al sur es donde se muestra el mayor volumen, que apenas llega a 2,900 vpd/direccción (290 vph/dirección) el cual podría acomodarse con un carril por sentido.

Escenario demográfico 4: transición

Con base en los escenarios anteriores, se acordó evaluar un cuarto escenario demográfico a manera de mediación entre futuros deseables del crecimiento y la inercia histórica observada. Se consideró que este escenario es el más probable al 2030 ante los retos en la aplicación de nuevas políticas para el desarrollo urbano sostenible.

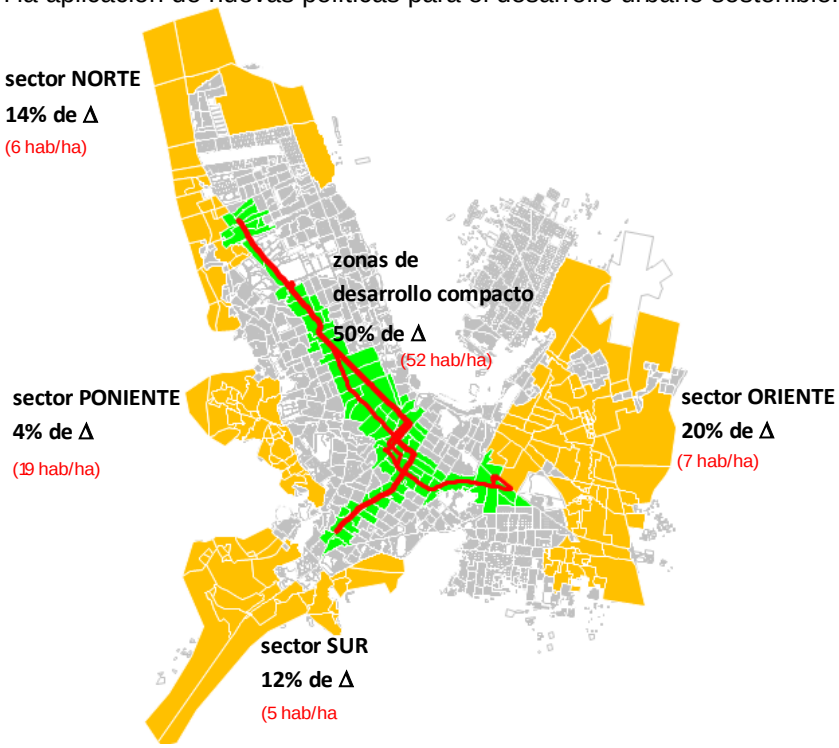


Figura III.11. Escenario demográfico 4 (viable) al año 2030

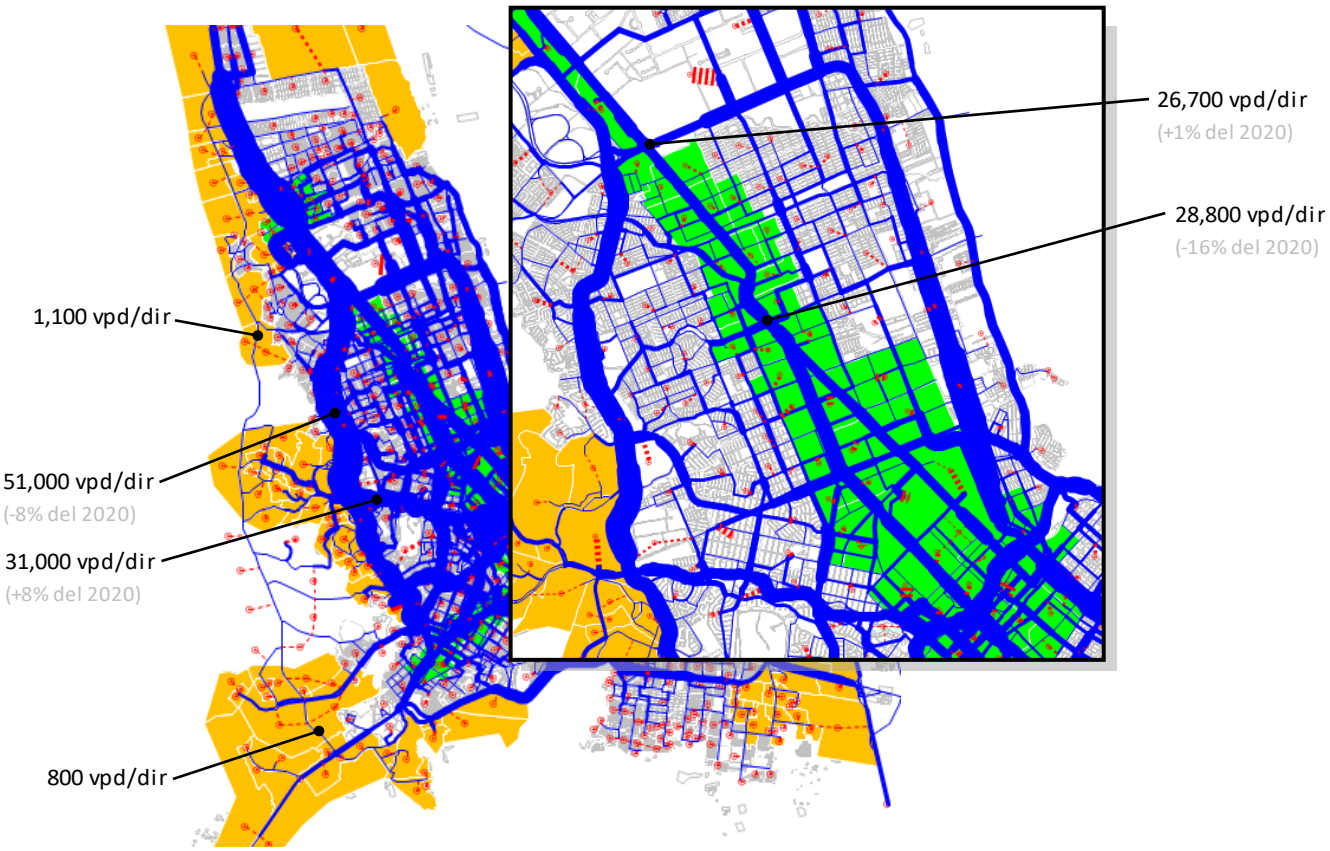


Figura III.12. Volúmenes diarios 2030 asignados a la red vial bajo escenario demográfico 4 (viable)

Como resultado de correr el MDT 2030 para el escenario demográfico 4, la figura III.12 muestra la red vial cargada, con reducción de volumen en Periférico de la Juventud (-8%) pero incremento en Av. de la Cantera (+8%), con respecto a volúmenes actuales. Se debe destacar que en este caso, el MDT arroja un aumento en la partición modal del transporte colectivo del 4% (asociada a una reducción en la del automóvil de 3%). En cuanto a Poniente 5, su flujo de hora pico en el caso más crítico puede llegar a 1,100 vehículos diarios por dirección, en su mayoría alimentado por la demografía del sector, más que por atracción de flujos de Periférico.

En cuanto a Av. Tecnológico, y tras un análisis cuidadoso de su sección transversal, bajo este escenario se codificó con tres carriles de circulación por sentido (utilizando el cuarto carril para el BRT con rebase). El MDT arroja como resultado un ligero aumento del flujo vehicular al año 2030 a la altura de Homero, comparado con el volumen actual, pero más al sur (J. Escutia) se detecta una reducción de hasta un 16%. Calles paralelas como Barragán, e Industrias también muestran reducciones en sus volúmenes vehiculares al año 2030 respecto al modelo para 2020, más por las reducciones de la partición modal del auto, que por una redistribución de flujos.

Resumen de impactos por escenarios demográficos

Una vez que se ha aplicado el MDT a los cuatro escenarios demográficos y de infraestructura, la tabla III.2 resume comparativamente los flujos vehiculares máximos estimados para el año 2030, en Periférico de la Juventud, Av. de la Cantera y el eje Poniente 5.

Tabla III.2. Comparativo de volúmenes máximos en arterias clave,

escenario	Perif. de la Juventud		Av. de la Cantera		Poniente 5
	MAX veh/día/dir	Δ_{2020}	MAX veh/día/dir	Δ_{2020}	MAX veh/día/dir
1 (inercial)	55,900	+1%	33,600	+18%	1,600
2 (compacto)	51,000	-8%	26,700	-6%	1,450
3 (surponiente)	57,000	+3%	32,700	+15%	2,900
4 (viable)	51,000	-8%	31,000	+8%	1,100

Siendo que uno de los objetivos del presente estudio es encontrar soluciones que ayuden a reducir el congestionamiento en el Periférico de la Juventud y en Av. de la Cantera, se puede establecer que los escenarios 1 y 3 son los menos efectivos pues al año 2030 tienden a aumentar su flujo vehicular, de un 15% (escenario 3) hasta un 18% (escenario 1) comparado con volúmenes del 2020. Particularmente, estos dos escenarios tienden a favorecer los desplazamientos vehiculares oriente-poniente, agregando flujo a vialidades como Francisco Villa, Politécnico Nacional, Teófilo Borunda, y particularmente Av. de la Cantera.

En ninguno de los casos el eje Poniente 5 logra atraer flujos de Periférico o Cantera, canalizando tan solo traslados locales; el ejemplo más notorio de este efecto es el escenario 3. Aún con el alineamiento más cercano posible (opción 1/ figura III.1) el congestionamiento en Periférico y Cantera tendría que aumentar, en duración (extensión de períodos pico) y longitud de tramos (extensión a otros tramos) para que el eje Poniente 5 se convirtiera en una alternativa y empezara a atraer flujos de otras vialidades importantes; bajo las premisas del presente estudio, tal condición no se prevé antes del año 2030. Definitivamente los flujos externos de la zona urbana (carreteras a Juárez y a Cuauhtémoc) son demasiado bajos como para justificar por si solos la implementación de la Poniente 5 como libramiento.

En contraste, los escenarios 2 y 4 resultan ser los más efectivos en la reducción del congestionamiento vial, que se explica en gran medida por concentrar la mayor parte del crecimiento alejado del alineamiento del Periférico al mismo tiempo que se implementa el BRT de alta eficiencia para canalizar sus traslados. De estos dos, el escenario 1 es el más eficiente, aunque el escenario 4 se aprecia como el más factible para implementar, por lo que se acordó llevar este escenario a las tareas de microsimulación y análisis de secciones transversales.

IV. Microsimulación de escenario óptimo

Habiendo acordado en el escenario demográfico 4 como el óptimo, se procedió a refinar sus condiciones de operación congruentes con los atributos codificados en el MDT. Para ello se seleccionó la Av. Tecnológico como eje principal, acotando su longitud a 10 km, desde Av. Los Arcos hasta Av. División del Norte.

Características generales

Conforme a lo evaluado en el MDT, por Av. Tecnológico se ha planteado la operación de un BRT (Bus Rapid Transit) con servicio parador (min 20 km/hr) y servicio expreso (min 30 km/hr). Esto implica la necesidad de proveer un carril exclusivo por sentido para el BRT, pero adicionalmente contando con un carril de rebase en las estaciones para que siga circulando el servicio expreso.

A lo largo de la longitud seleccionada, Av. Tecnológico cuenta con una sección transversal mínima de 31 m, lo que permite alojar 3 carriles de circulación vehicular por sentido (de 3m c/u), y una sección central de 13 m para alojar carriles y estaciones BRT. La figura IV. 1 muestra un prototipo de sección transversal que se ha planteado para Av. Tecnológico.

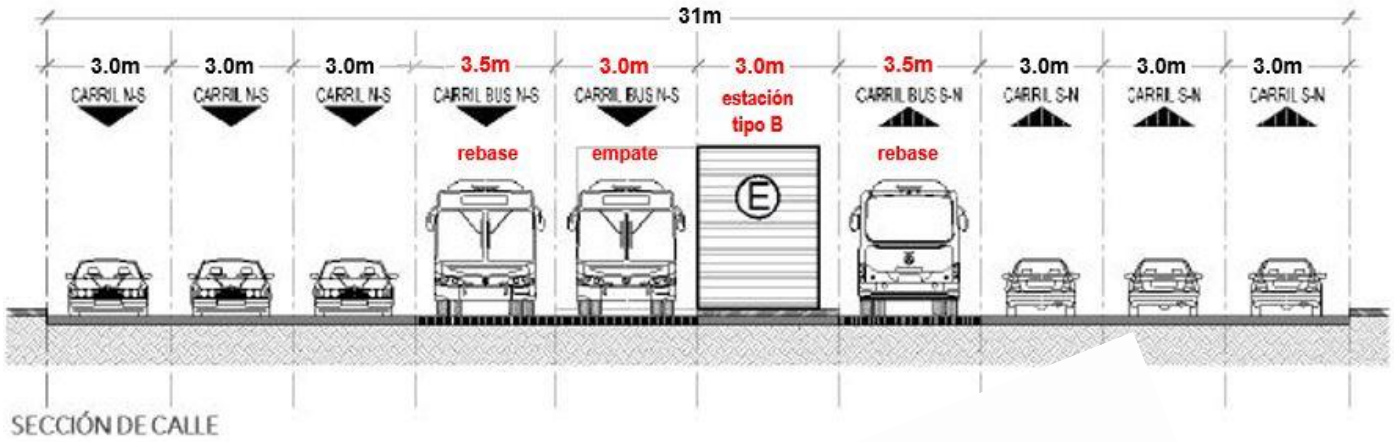


Figura IV.1. Sección transversal mínima para alojar BRT con rebase en Av. Tecnológico

Tal sección transversal hace uso de estaciones de tipo sesgado, que permite el rebase en un ancho de dimensión limitada, tal como se muestra en la figura IV.2.

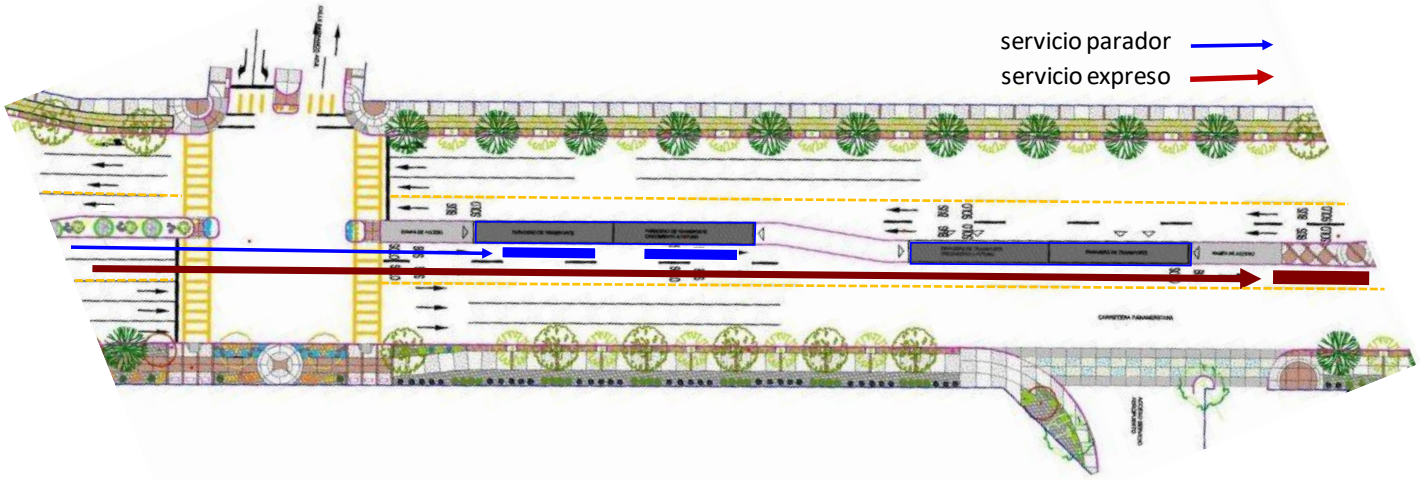


Figura IV.2. Operación del BRT en estación sesgada, para permitir el rebase del servicio expreso

Ubicación de estaciones y retornos

Importante en la eficiente operación de un corredor BRT, es la óptima ubicación de estaciones para el ascenso-descenso de pasajeros. En este sentido se ha procurado que la distancia entre estaciones parador sea entre los 400 y 600 m, y particularmente las estaciones expreso estén separadas un mínimo de 2,000 m para garantizar su mayor velocidad. La figura IV.3 muestra la ubicación propuesta de estaciones parador y expreso de Av. Tecnológico.

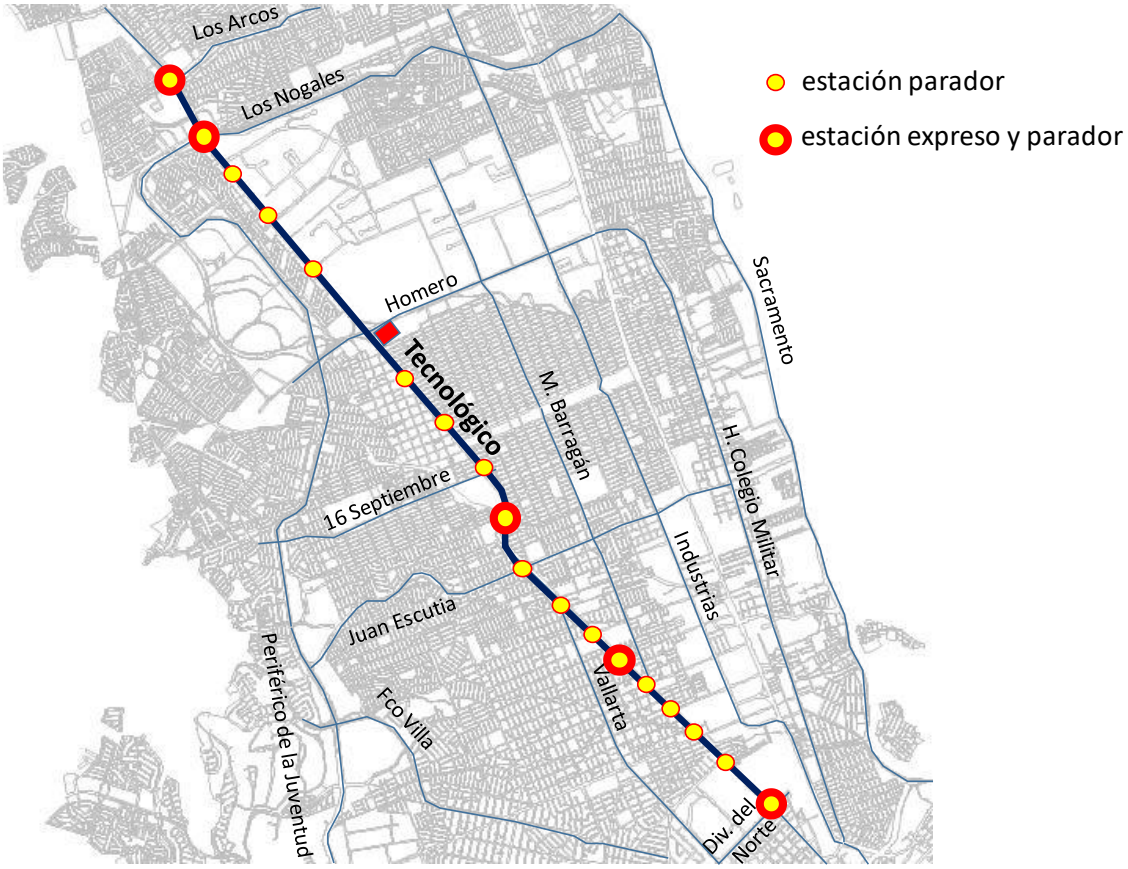


Figura IV.3. Estaciones BRT propuestas para Av. Tecnológico

Entre Av. Los Arcos y Av. División del Norte se tendrían 13 estaciones para servicio parador y 6 estaciones para servicio parador y expreso mezclado.

Relacionado con la geometría de carriles exclusivos BRT y un tema que requiere especial atención es la identificación de soluciones para las vueltas izquierdas sobre el corredor troncal. Sin la presencia de infraestructura BRT, estos movimientos direccionales comúnmente se resuelven con fases de semáforo dedicadas e incluso habilitando carriles adicionales en las intersecciones. Sin embargo, en corredores BRT, los carriles exclusivos centrales y principalmente la ubicación de estaciones centrales en las inmediaciones de cruceros semaforizados requieren de reducir carriles de uso general y sobre todo eliminar bahías de vuelta izquierda. Para mantener la fluidez en los carriles restantes, la solución convencional ha sido la de reducir fases de semáforo, eliminando las de las vueltas izquierdas, y en todo caso canalizando estos movimientos en forma indirecta a través de “loops” de cuadra.

Una revisión cercana de cada intersección semaforizada del troncal BRT en Av. Tecnológico muestra dos condiciones que pueden generar fricción con el público: 1) cuadras de tamaño excesivo (desvíos mayores a 500m), y 2) desvíos a través de zonas residenciales. La frecuencia con que se presenta una de estas dos, o las dos condiciones para los loops de cuadra es considerablemente alta (mayor al 90% de los casos). Reconociendo esta dificultad latente, en su gran mayoría se ha buscado sustituir los loops de cuadra por el concepto de vueltas izquierdas a través de retornos (loops de camellón).

En término generales, la propuesta para AV. Tecnológico ubica estos retornos aproximadamente a la mitad de la separación entre estaciones y para los dos sentidos de circulación, además de semaforizarlos (dos fases). Esto abre la

oportunidad para colocar en ellos cruces peatonales seguros aprovechando las fases semaforizadas. La figura IV.4 muestra un ejemplo típico de la solución desarrollada en la propuesta actualizada.

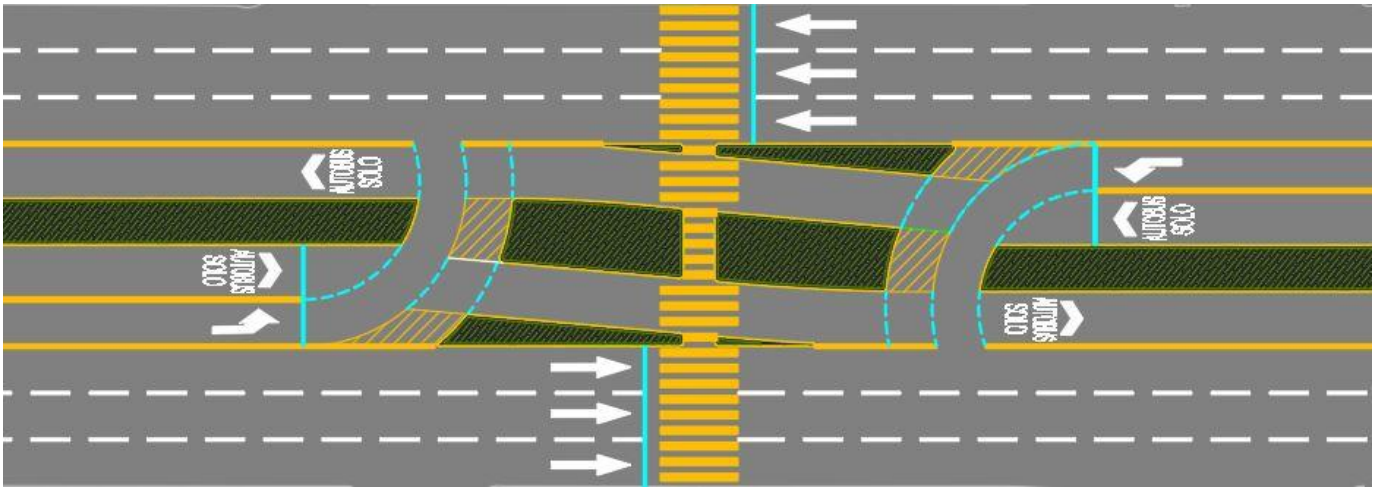


Figura IV.4. Vueltas izquierdas mediante retorno doble con cruce peatonal semaforizado

En una primera fase se da el verde a los movimientos de frente, es decir, tanto a los dos carriles del BRT (carriles SOLO AUTOBUS) como a los 6 carriles de uso general, y en esa misma fase se mantiene detenidos con rojo tanto a los retornos vehiculares como al cruce peatonal. En la segunda fase se pone el rojo para todos los movimientos de frente, y se da el verde a los retornos simultáneamente con el cruce peatonal.

Una óptima coordinación de los semáforos del corredor puede ofrecer continuidad de verdes y con ello, fluidez, tanto para el BRT como para vehículos en los carriles de uso general. Pero además esta solución duplica los cruces peatonales seguros del corredor, además de habilitarle al peatón espacios para el acceso posterior a las estaciones del BRT.

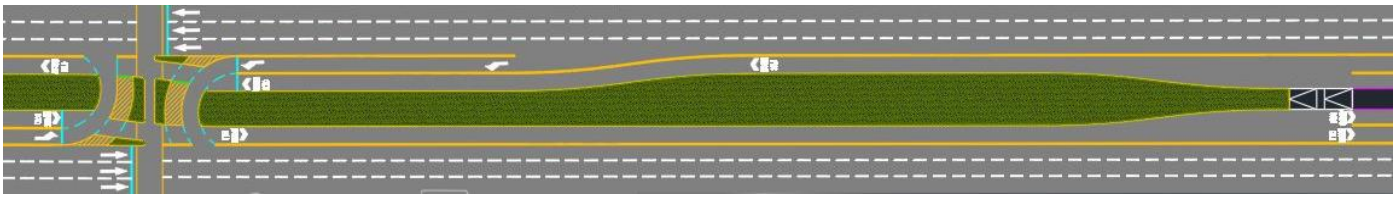


Figura IV.5. Conexión peatonal de retornos a estación BRT

Geométricamente, los retornos presentan radios para poder ser utilizados por automóviles desde el primer carril. Vehículos de carga los pueden emplear desde el segundo o tercer carril para lograr el radio de giro correspondiente, por lo que es recomendable reglamentar que vehículos de carga utilicen estos retornos en horas valle.

Estimación de matriz sintética OD de hora pico

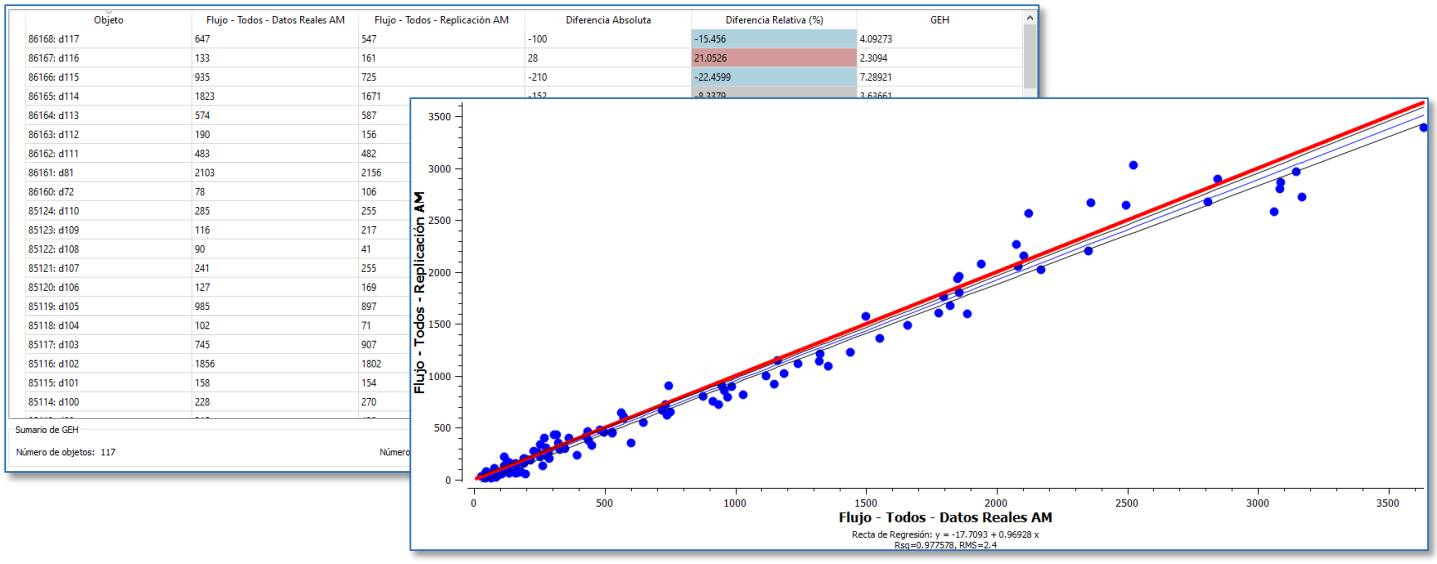
Para realizar la microsimulación se utilizó el software AIMSUN, que reúne capacidades de modelos macro de demanda en un microsimulador de tráfico. Ello hizo posible importar la red EMME del MDT a nivel urbano, incluyendo centroides y conectores virtuales, para posteriormente pulir la geocodificación con parámetros de microsimulación de una banda de hasta 1000m alrededor del eje troncal BRT. Tales parámetros incluyen detalles de geometría de carriles y datos de semaforización. Asimismo, este pulido requirió de la codificación de detectores en las intersecciones para validar la asignación de flujos a la red.



Figura IV.6. Construcción de red AIMSUN para microsimulación a partir de macromodelo EMME

A diferencia de los microsimuladores tradicionales que usan directamente los flujos codificados en las intersecciones, esta nueva generación de microsimuladores utilizan los flujos de las intersecciones para calibrar matrices OD de hora pico. Esto con el fin de emular las redundancias de conectividad que se tienen en las redes urbanas, y con ello permitir la redistribución de flujos en el microsimulador.

En un proceso iterativo similar al utilizado en macromodelos, los flujos microsimulados van alimentando la matriz OD mediante el algoritmo de Usuario en Equilibrio, hasta que los datos observados en campo convergen con los generados por la matriz. La correlación final se puede apreciar en la figura IV.7.



Objeto	Flujo - Todos - Datos Reales AM	Flujo - Todos - Replicación AM	Diferencia Absoluta	Diferencia Relativa (%)	GEH
86168: d117	647	547	-100	-15.456	4.09273
86167: d116	133	161	28	21.0526	2.3094
86166: d115	935	725	-210	-22.4599	7.28921
86165: d114	1823	1671	-152	-8.3379	3.63661
86164: d113	574	587			
86163: d112	190	156			
86162: d111	483	482			
86161: d81	2103	2156			
86160: d72	78	106			
85124: d110	285	255			
85123: d109	116	217			
85122: d108	90	41			
85121: d107	241	255			
85120: d106	127	169			
85119: d105	985	897			
85118: d104	102	71			
85117: d103	745	907			
85116: d102	1856	1802			
85115: d101	158	154			
85114: d100	228	270			

Sumario de GEH

Número de objetos: 117

Figura IV.7. Datos reales vs. modelados en intersecciones tras calibración matricial

La matriz calibrada para los flujos vehiculares del corredor troncal BRT, logra emular los datos observados en campo con un índice R^2>0.98. Con ello la propuesta actualizada logra una alta confiabilidad para modelar la operación vial con proyecto. Esto se refleja en volúmenes direccionales de modelo muy cercanos a los observados en campo, tal como se ejemplifica en la figura IV.8.

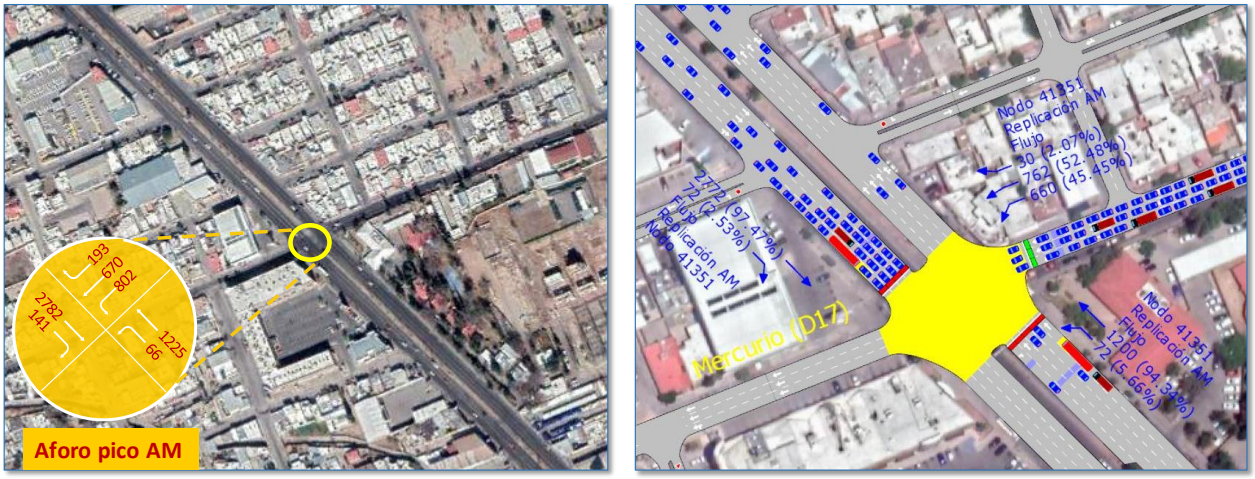


Figura IV.8. Datos reales vs. modelados en intersecciones particulares

Asignación de hora pico en microsimulador

La matriz OD una vez calibrada se asignó al microsimulador siguiendo un mismo patrón aleatorio (no uniforme), bajo dos escenarios: 1) estado actual ("no build"), y 2) estado propuesto (con proyecto BRT).

El nuevo enfoque de asignar la matriz de hora pico a una amplia red con conexiones redundantes, permite identificar la canalización de vehículos a distintas vialidades, conforme aquellas que inicialmente ofrecen menor tiempo de viaje se van saturando, emulando comportamientos más cercanos a la realidad. Para el caso particular del corredor troncal BRT en Av. Tecnológico, este enfoque permite observar y cuantificar el impacto de tráfico, no solo sobre el eje vial del troncal, sino el efecto en otras vialidades ante medidas como la reducción de carriles de uso general en el corredor BRT, la eliminación de vueltas izquierdas directas y el efecto de retornos (loops de camellón) para canalizar en forma indirecta las vueltas izquierdas.

Bajo el estado actual, el corredor Tecnológico cuenta con un total de 20 intersecciones semaforizadas, de las cuales 5 son de cuatro fases, 8 son de tres fases, y 7 son de dos fases. Con la implementación del BRT (estado propuesto), tales intersecciones se mantienen semaforizadas, y se agregan otras 13 intersecciones semaforizadas para los retornos y cruces peatonales, tal como se indica en la tabla IV.1.

Tabla IV.1. Intersecciones semaforizadas del corredor BRT 2

	calle transversal	fases estado actual	fases estado propuesto
1	Fernando Baeza	n/a	2
2	Los Arcos	4	2
3	RET/PEA	n/a	2
4	Los Nogales	4	4
5	RET/PEA	n/a	2
6	RET/PEA	n/a	2
7	Miguel Cervantes	4	2
8	RET/PEA	n/a	2
9	P. de Bachíniva	3	2
10	RET/PEA	n/a	2
11	RET/PEA	n/a	2
12	Cd. Guerrero	2	2
13	Eusebio Báez	2	2
14	Jiménez	2	2
15	Elías Muller	2	2
16	16 de Septiembre	2	2
17	Paracaidistas	2	2
18	Tomochic	2	2
19	Juan Escutia	4	4
20	Vallarta	3	2
21	RET/PEA	n/a	2
22	Zaragoza	3	2
23	RET/PEA	n/a	2
24	Sicomoro	3	2
25	Pino	3	2
26	RET/PEA	n/a	2
27	Mercurio	3	2
28	RET/PEA	n/a	2
29	Agustín Melgar	3	2
30	RET/PEA	n/a	2
31	Pascual Orozco	3	2
32	RET/PEA	n/a	2
33	División del Norte	4	2

Como se podrá observar, la mayoría de las intersecciones quedarán con 2 fases en el estado propuesto: al 40% de las intersecciones semaforizadas existentes se les elimina una fase de semaforización, mientras que al 15% se les eliminan dos fases. Como resultado, la microsimulación muestra que las acumulaciones vehiculares no incrementan por la eliminación de un carril vehicular, incluso en algunas se reducirían considerablemente, y sin necesidad que el sistema redirija tráfico a vías alternas. Pasar a dos fases reduce el número de conflictos en las intersecciones, favoreciendo particularmente el cruce peatonal. Las figuras IV.9 y IV.10 muestra ejemplos de estas reducciones de acumulaciones vehiculares en algunas de las intersecciones semaforizadas de Av. Tecnológico.



Figura IV.9. Crucero Vallarta: acumulaciones pico AM bajo estado actual y propuesto 2020



Figura IV.10. Crucero Sicomoro: acumulaciones pico AM bajo estado actual y propuesto 2020

Estimación de impactos

Una vez asignados los volúmenes de la matriz OD de hora pico, mediante el microsimulador se han podido establecer importantes indicadores de desempeño y por tanto establecer el impacto del proyecto propuesto durante la hora pico. Los indicadores estimados por el microsimulador y reportados son:

- ✓ Retraso promedio por intersección semaforizada
- ✓ Nivel de servicio (bajo criterio de Highway Capacity Manual)
- ✓ Velocidad promedio del auto
- ✓ Velocidad promedio del Transporte Colectivo
- ✓ Consumo de combustible
- ✓ Emisiones de CO2

El retraso promedio por intersección lo calcula el microsimulador midiendo el tiempo que toma a cada vehículo (tiempo que se detiene) para cruzar una intersección semaforizada durante la hora pico.

El rango de este retraso recibe una calificación conocida como Nivel de Servicio (NdeS), la cual se apega a estándares ampliamente aceptados[8] y que se presentan en la tabla IV.2.

Tabla IV.2. Criterio para Nivel de Servicio de intersecciones semaforizadas

Nivel de Servicio	Retraso [seg/veh]	Descripción general
A	≤10	Flujo libre
B	>10 a 20	Flujo estable (retraso mínimo)
C	>20 a 35	Flujo estable (retraso aceptable)
D	>35 a 55	Cercano a flujo inestable (retraso tolerable)
E	>55 a 80	Flujo inestable (retraso poco tolerable)
F	>80	Flujo forzado (congestionado y filas sin dispersar)

Para cada intersección en el estado propuesto se busca que el retraso y NdeS como mínimo sea igual, si no mejor, que en el estado actual. Al respecto las tabla IV:3 muestra un comparativo de retraso y NdeS en hora pico AM para todas las intersecciones existentes del corredor de Av. Tecnológico.

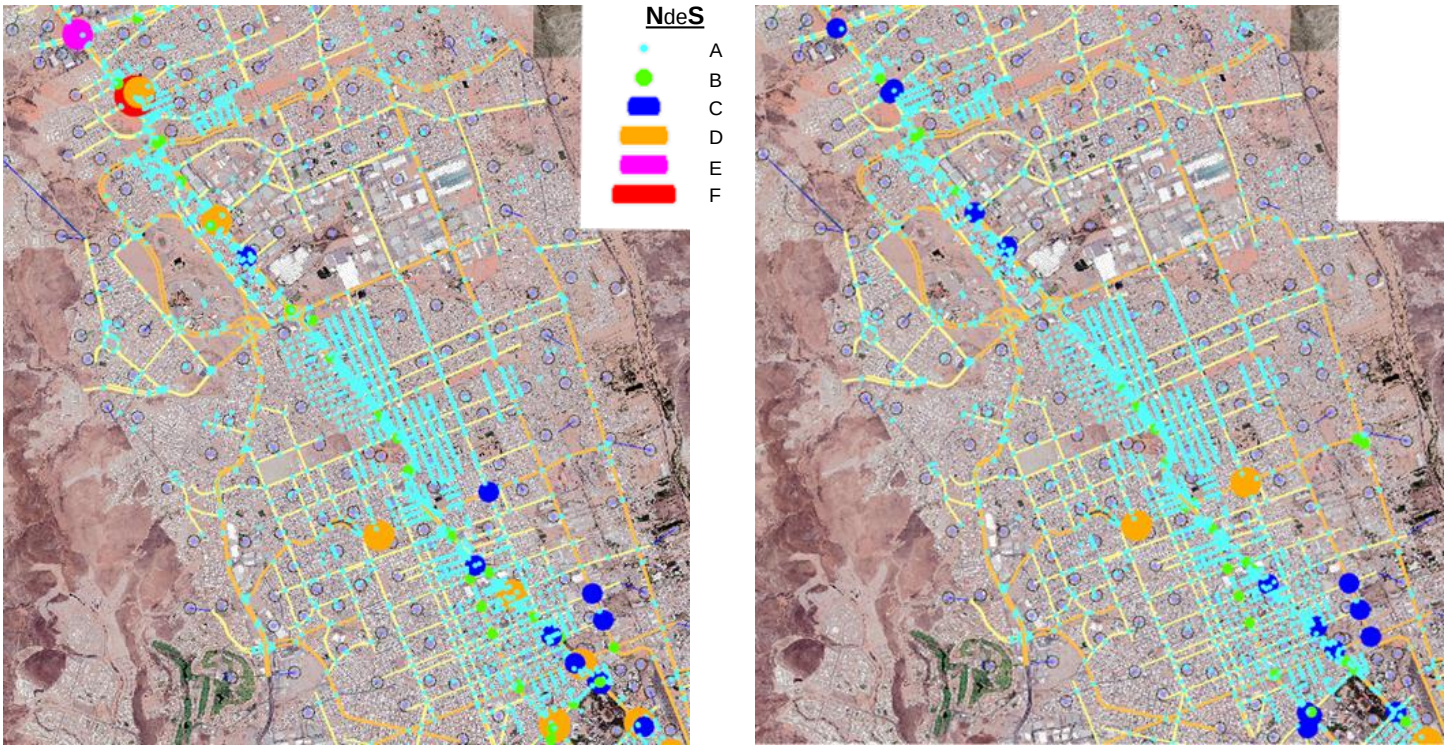
Tabla IV.3. Estado actual vs. estado propuesto 2020: comparativo de retraso y NdeS por intersección

Intersección		AM actual	AM Proy2020
D01	Los Arcos	E	C
D02	Los Nogales	B	B
D03	Miguel Cervantes	D	C
D04	Paseo Chínipas	C	B
D05	Ciudad Guerrero	B	B
D06	Eusebio Báez	B	B
D07	Ciudad Jiménez	B	B
D08	Enrique Muller	B	B
D09	16 de Septiembre	B	B
D10	Tomochi	C	B

Intersección		AM actual	AM Proy2020
D11	Juan Escutia	C	B
D12	Vallarta	B	B
D13	Broadway	B	B
D14	Ignacio Zaragoza	C	B
D15	Sicomoro	D	C
D16	Pino	B	B
D17	Mercurio	C	B
D18	Agustín Melgar	D	C
D19	Pascual Orozco	D	B
D20	División del Norte	E	B

[8] Highway Capacity Manual 2010, Transportation Research Board

En la figura IV.10 se aprecia el comparativo para el conjunto de intersecciones para toda la red microsimulada. Se puede apreciar que para el estado propuesto 2020 se reduce los tonos rojos y magentas (niveles de servicio F y E). Esto es indicativo que el estado prop uesto ofrece una mejoría general no solo para el transporte colectivo, sino para la circulación vehicular en general.



(a) Estado actual AM **(b)** Estado propuesto 2020 AM

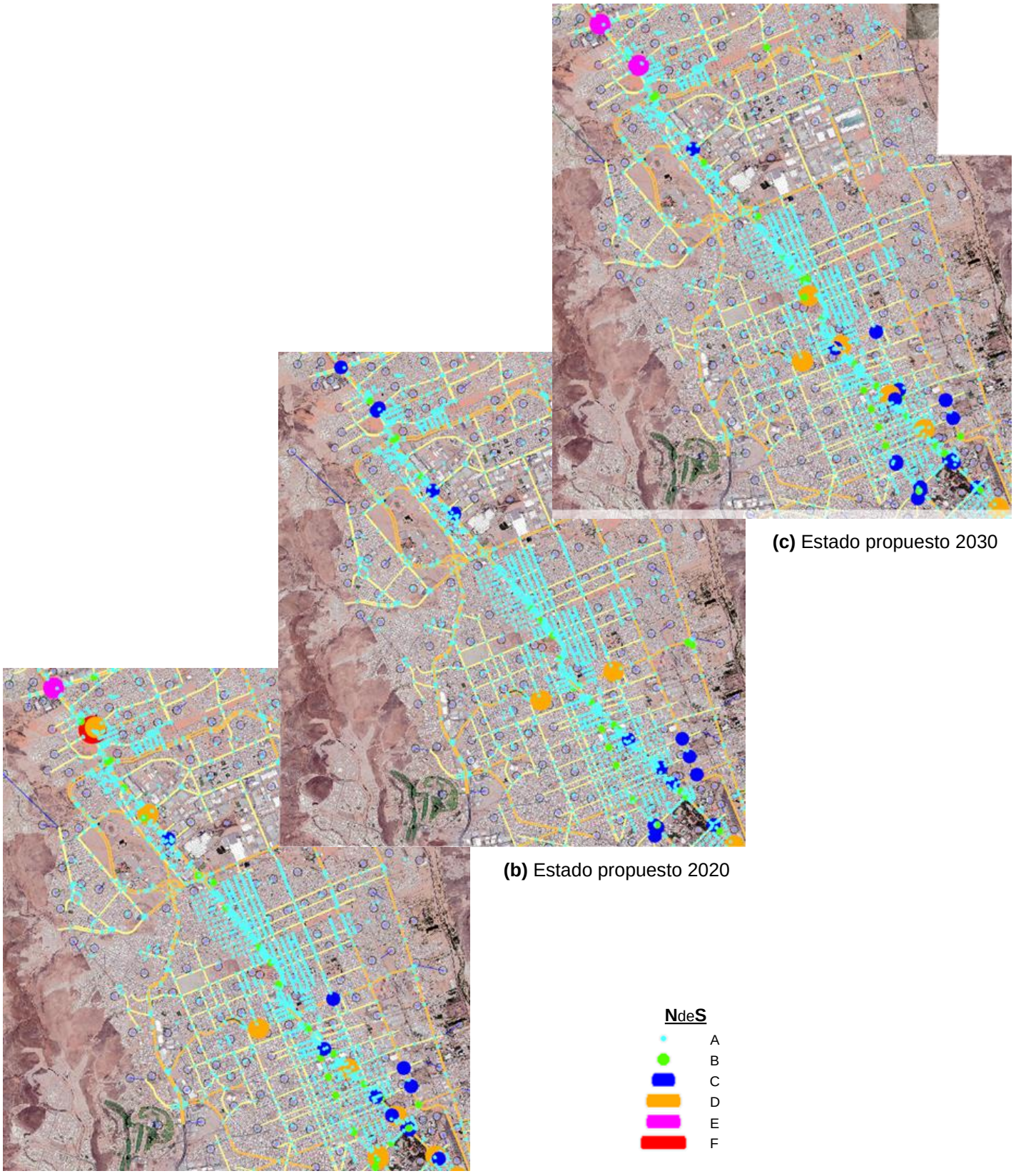
Figura IV.10. Comparativo de niveles de servicio para las redes en conjunto

Todo el proceso de microsimulación, desde la generación de la matriz sintética hasta su asignación a la red, se repitió para estado propuesto 2030. La tabla IV.4 y la figura IV.11 reflejan el comparativo para condiciones actuales, estado propuesto 2020 y estado propuesto 2030.

Tabla IV.4. Estado actual vs. estado propuesto 2020 y 2030: comparativo de retraso y nivel de servicio por intersección

Intersección		actual	Proy2020	Proy2030
D01	Los Arcos	E	C	C
D02	Los Nogales	B	B	B
D03	Miguel Cervantes	D	C	C
D04	Paseo Chínipas	C	B	B
D05	Ciudad Guerrero	B	B	B
D06	Eusebio Báez	B	B	B
D07	Ciudad Jiménez	B	B	B
D08	Enrique Muller	B	B	B
D09	16 de Septiembre	B	B	B
D10	Tomochi	C	B	B

Intersección		actual	Proy2020	Proy2030
D11	Juan Escutia	C	B	D
D12	Vallarta	B	B	B
D13	Broadway	B	B	B
D14	Ignacio Zaragoza	C	B	C
D15	Sicomoro	D	C	B
D16	Pino	B	B	D
D17	Mercurio	C	B	B
D18	Agustín Melgar	D	C	C
D19	Pascual Orozco	D	B	C
D20	División del Norte	E	B	C



(c) Estado propuesto 2030

(b) Estado propuesto 2020

(a) Estado actual

Figura IV.11. Comparativo de niveles de servicio para las redes en conjunto

Resumen de impacto ambiental

Finalmente, el microsimulador arroja indicadores preliminares de desempeño que se resumen en las tablas IV.5 y IV.6 para la hora pico.

Tabla IV.5. Velocidades promedio con y sin proyecto

	V_{AUTO}	V_{TC}
actual	23.4 kph	17.3 kph
proyecto 2020	28.5 kph	33.6 kph
proyecto 2030	23.4 Kph	33.6 Kph

Tabla IV.6. Comparativo de impactos con y sin proyecto

	demoras	combustible	CO2
actual	1,230 hr-pers	13,337 lts	4.0 Tm
proyecto 2020	580 hr-pers	7,669 lts	2.3 Tm
proyecto 2030	1,310 hr-pers	14,338 lts	4.3 Tm

De tales resúmenes se puede establecer que la propuesta de corredor troncal BRT por Av. Tecnológico es congruente con los resultados del MDT en cuanto a parámetros de operación, pero además muestra potencial para mejorar las condiciones de tráfico, y para el movimiento de personas en transporte colectivo.

V. Conclusiones y recomendaciones

Conforme al análisis y resultados desarrollados en el presente estudio, se concluye y recomienda lo siguiente:

- Bajo ninguno de los escenarios demográficos evaluados se justificada la implementación del eje Poniente 5 en el mediano plazo (año 2030). Tal infraestructura no alcanza a atraer flujos de Periférico de la Juventud o de Av. de la Cantera, como para aliviar su congestionamiento.

- Para que el eje Poniente 5 empezara a atraer flujos de Periférico de la Juventud, el modelo indica que tendrían que aumentar considerablemente sus retrasos (aumentar su congestionamiento). Requeriría que en Periférico de la Juventud aumentaran los tramos congestionados en hora pico, y que la misma hora pico se extendiera. Tal condición no se percibe en el mediano plazo.

- Definitivamente los flujos externos de la zona urbana (carreteras a Juárez y a Cuauhtémoc) son demasiado bajos como para justificar por sí solos la implementación de la Poniente 5 como libramiento.

- La implementación del eje Poniente 5 en el mediano plazo canalizaría primordialmente flujos locales de nuevos desarrollos.

- Se recomienda por tanto no invertir recursos públicos en el eje Poniente 5 en el corto o mediano plazos. Su alineamiento sin embargo se puede dejar indicado en planes de desarrollo, y en dado caso, sea inversión privada de desarrolladores interesados con la que se vayan construyendo las etapas que necesiten para la circulación local.

- Un mejor uso de recursos públicos es la inversión de infraestructura de vialidad y transporte en Av. Tecnológico. Bajo las premisas de operación desarrolladas en el presente estudio, como lo es el incentivar el desarrollo vertical en corredores BRT, esta inversión redituaría en reducciones de congestionamiento, mejoras de la calidad del transporte colectivo, reducciones en emisiones contaminantes e incluso en reducción de consumo energético. Todos estos beneficios públicos incluyentes.

- Para su mejor funcionamiento y calidad, el BRT deberá contar con carril de rebase, además de carriles exclusivos convencionales.

- Para mantener e incluso mejorar los niveles de servicio en carriles de uso general, se recomienda la implementación de vueltas izquierdas en camellón (retornos semaforizados).

Finalmente, en función de tiempos y costos de implementación, se sugieren los siguientes pasos y plazos a manera de plan preliminar de acción:

Impacto: alto
Costo ($): bajo
Plazo: inmediato

Impacto: alto
Costo ($): medio
Plazo: corto

Impacto: alto
Costo ($): alto
Plazo: mediano

I. Extensión de línea BRT 1 de terminal Norte a Pistolas Meneses:

- ✓Adecuación a Plan de Desarrollo Urbano para incentivar desarrollos verticales en corredores BRT
- ✓Construcción 5 de estaciones sesgadas con rebase
- ✓Construcción de retornos en estación Pistolas Meneses

II. Adecuación de estaciones BRT 1 entre Homero y Vallarta, para incluir rebase:

- ✓Adecuación de 6 estaciones para implementar rebase
- ✓Construcción de retornos semaforizados entre Los Arcos y Vallarta
- ✓Introducción de semaforización con fases optimizadas
- ✓Implementación de carriles exclusivos de Fernando Baeza a Homero

III. Construcción de BRT en Av. Tecnológico entre Vallarta y División del Norte:

- ✓Pavimento de concreto para carriles BRT entre Vallarta y División del Norte
- ✓Construcción de 7 estaciones BRT entre Vallarta y División del Norte
- ✓Construcción de retornos semaforizados entre Los Arcos y Vallarta
- ✓Introducción de semaforización con fases optimizadas

Glosario de siglas y abreviaciones

siglas o abreviación	significado	
DFLV	Distribución de frecuencia de longitudes de viaje	
EB	Eastbound	/dirigiéndose al Este
EBL o EB_{iz}	Eastbound-Left movement	/dirigiéndose al Este, sigue a la izquierda
EBR o EB_{de}	Eastbound-Right movement	/dirigiéndose al Este, sigue a la derecha
EBT o EB_{fr}	Eastbound-Thru movement	/dirigiéndose al Este, sigue de frente
EBU o EB_{u}	Eastbound-U movement	/dirigiéndose al Este, sigue en U
HBW	Home-Based-Work	/base-hogar, trabajo
HBNW	Home-Based-Non-Work	/base-hogar, no-trabajo
HMD	hora de máxima demanda	
MDT	Macromodelo de demanda de traslados	
MNL	Multinomial Logit	/logista multinomial
NB	Northbound	/dirigiéndose al Norte
NBL o NB_{iz}	Nortbound-Left movement	/dirigiéndose al Sur, sigue a la izquierda
NBR o NB_{de}	Nortbound-Right movement	/dirigiéndose al Sur, sigue a la derecha
NBT o NB_{fr}	Nortbound-Thru movement	/dirigiéndose al Sur, sigue de frente
NBU o NB_{u}	Nortbound-U movement	/dirigiéndose al Sur, sigue en U
NHB	Non-Home-Based	/sin base-hogar
SB	Southbound	/dirigiéndose al Sur
NdeS	Nivel de Servicio	
SBL o SB_{iz}	Southbound-Left movement	/dirigiéndose al Sur, sigue a la izquierda
SBR o SB_{de}	Southbound-Right movement	/dirigiéndose al Sur, sigue a la derecha
SBT o SB_{fr}	Southbound-Thru movement	/dirigiéndose al Sur, sigue de frente
SBU o SB_{u}	Southbound-U movement	/dirigiéndose al Sur, sigue en U
SIG	Sistema de Información Geográfica	
TT	Truck-Taxi	/carga (recolección) y entrega de bienes
vpd	Vehículos por día	
vph	Vehículos por hora	
WB	Westbound	/dirigiéndose al Oeste
WBL o WB_{iz}	Westbound-Left movement	/dirigiéndose al Oeste, sigue a la izquierda
WBR o WB_{de}	Westbound-Right movement	/dirigiéndose al Oeste, sigue a la derecha
WBT o WB_{fr}	Westbound-Thru movement	/dirigiéndose al Oeste, sigue de frente
WBU o WB_{u}	Westbound-U movement	/dirigiéndose al Oeste, sigue en U
ZAT	Zona de análisis de tráfico	